



## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

#### Les carabes en tant que bioindicateurs de la qualité écologique au niveau de berges aménagées

Richir, Charlotte

*Award date:*  
2000

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



---

**FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX  
NAMUR**

**Faculté des Sciences**

**LES CARABES EN TANT QUE BIOINDICATEURS DE LA QUALITÉ  
ÉCOLOGIQUE AU NIVEAU DE BERGES AMÉNAGÉES**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de  
licencié en Sciences biologiques**

Charlotte RICHIR

Septembre 2000

**Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix**  
**FACULTE DES SCIENCES**  
Secrétariat du Département de Biologie  
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR  
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18 - Téléfax: + 32(0)81.72.44.20  
E-mail: joelle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

## **Les carabes en tant que bioindicateurs de la qualité écologique au niveau de berges aménagées**

RICHIR Charlotte

### Résumé

Les peuplements de carabes ont été étudiés sur les berges naturelles et aménagées de la Lesse afin de voir si ces insectes pouvaient être considérés comme bioindicateurs d'une qualité écologique.

Sur une période de deux mois, un dispositif de piégeage a permis d'échantillonner 15 stations (5 berges aménagées par des techniques minérales, 5 berges aménagées à l'aide de techniques du génie végétal et 5 berges naturelles) situées à Lessive, Villers-sur-Lesse, Hour et Furfooz. La répartition des carabes a été étudiée en relation avec la mesure de différentes variables : la distance entre le cours d'eau et le piège, le pH du sol, la pente de la berge, les degrés stationnels (luminosité, richesse du sol et humidité), le pourcentage de recouvrement de la strate arbustive, la richesse en espèces végétales et les aménagements.

Différentes méthodes statistiques (analyse canonique des correspondances, méthodes des groupements et d'ordination) ont été utilisées pour analyser la biodiversité, la répartition spatiale, l'évolution temporelle, l'impact des aménagements et des facteurs environnementaux. Les échantillonnages ont permis de recenser 53 espèces la plupart eurytopes. Une espèce, *Platyderus ruficollis*, n'a jamais été observée en Belgique; 4 sont relativement rares pour notre pays. Parmi les variables environnementales, trois prédominent: la distance eau-piège, la richesse spécifique des végétaux ainsi que les aménagements de type minéral. Le nombre moyen d'espèces recensées sur les berges aménagées par techniques végétales (25) et sur les berges naturelles (23) est plus élevé que pour les berges aménagées par techniques minérales (17). On ne peut conclure au rôle bioindicateur des carabes.

Mémoire de licence en Sciences biologiques

Septembre 2000

**Promoteur:** J-C Micha

## Remerciements

*A l'heure où je termine mon travail de fin d'études, je tiens à faire part de mes plus vifs remerciements à quelques personnes qui par leurs aides, leurs gestes ou leurs simples présences, m'ont permis de rendre mes études et la réalisation de ce mémoire plus agréables.*

*Je remercie mon promoteur, le professeur Jean-Claude Micha, pour m'avoir accueillie au sein de l'unité d'écologie et pour m'avoir permis de réaliser ce travail,*

*Je remercie également Madame Gisèle Verniers qui, tout au long de mon mémoire, m'a aidé et encouragé pour mener à bien ce travail,*

*Merci à François Darchambeau pour sa continuelle disponibilité, son aide et sa gentillesse dont il a fait preuve,*

*J'exprime toute ma reconnaissance au Professeur Ph. Lebrun pour m'avoir initié à la détermination, aux nombreuses vérifications ; ses conseils, ses encouragements m'ont permis d'être plus sereine durant ce mémoire,*

*Merci à Monsieur Konjev Desender pour ses conseils et sa disponibilité, à Monsieur Stijn Vanacker pour les nombreux moments passés à déterminer les carabes *Bembidium*,*

*Pour le travail sur le terrain, je remercie Pierre de m'avoir aidé lors de l'installation du dispositif de piégeage; Thierry pour les nombreuses prises photos ; Jean-Marc pour son aide lors des relevés ; et André pour ses petits coups de mains*

*Merci à Serge Rouxhet pour les journées à relever la végétation,  
Merci à Muriel pour les profils de berges, les cartes, ... ,*

*Je n'oublierai pas cette année passée en compagnie des autres mémorants : Sofia, Cédric, Geoffroy, Cédric et Iñigo ; merci à vous pour les nombreux moments passer ensemble, à la fac et en dehors ... Marc, Gersande, Delphine, Claude, Yannick, Patricia, Christelle, Bruno, Mike, Laurent, Robert, je vous remercie pour la disponibilité dont vous faites preuve envers les étudiants-mémorants ... ,*

*Pour terminer, je tiens à remercier mes parents sans lesquels je n'aurais pu réaliser mes études. Vous êtes toujours présents et je tiens à vous remercier pour l'éducation que vous m'avez inculquée. Je tiens à associer à ces mots, mes grands-parents ; ma sœur, Virginie, Olivier, et mon frère, David qui ont toujours su rendre mes études un peu plus distrayantes. Merci à Colette pour ces nombreuses relectures...*

# Sommaire

<b>Présentation générale .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
1.1. LES BERGES DE COURS D'EAU.....	3
1.1.1 <i>Définition</i> .....	3
1.1.2 <i>Fonctions des berges</i> .....	4
1.1.2.1 A l'échelle du bassin versant.....	4
1.1.2.2 A l'échelle de la vallée.....	4
1.1.2.3 A l'échelle du cours d'eau.....	5
1.1.3 <i>Causes de dégradation</i> .....	6
1.1.3.1 Erosion .....	7
1.1.3.2 Batillage .....	7
1.1.3.3 Etres vivants .....	8
1.1.3.4 Glace .....	8
1.1.4 <i>Aménagements</i> .....	8
1.1.4.1 <i>Techniques minérales</i> .....	9
1.1.4.1.1 Enrochements .....	9
1.1.4.1.2 Murs.....	10
1.1.4.1.3 Perrés.....	10
1.1.4.1.4 Gabions .....	10
1.1.4.2 <i>Génie végétal</i> .....	12
1.1.4.2.1 <i>Techniques directes</i> .....	13
• Plantations .....	13
• Boutures.....	13
• Ensemencements .....	13
• Caissons.....	14
• Fascines .....	15
• Géotextile.....	15
1.1.4.2.2 <i>Techniques indirectes</i> .....	16
• Epis .....	16
1.1.4.3 <i>Techniques combinées</i> .....	16
1.1.4.4 <i>Conclusions</i> .....	16
1.1.5 <i>Qualité écologique des berges</i> .....	18
1.1.5.1 <i>Définition</i> .....	18
1.1.5.2 <i>Mise en évidence de la qualité par des bioindicateurs</i> .....	19
1.2. LES CARABIDES .....	21
1.2.1 <i>Description générale</i> .....	21
1.2.2 <i>Reproduction</i> .....	22
1.2.3 <i>Régime alimentaire</i> .....	22
1.2.4 <i>Utilisation des carabes comme bioindicateurs</i> :	22
1.2.5 <i>Facteurs de répartition</i> .....	24
1.2.5.1 <i>Facteurs chimiques</i> .....	24

1.2.5.2 Facteurs édaphiques.....	24
1.2.5.3 Autres facteurs.....	24
1.2.6 Facteurs biotiques.....	25
1.2.7 Répartition et biodiversité en Belgique.....	25
1.2.8 Carabes caractéristiques des milieux rivulaires.....	27
1.3. LE MILIEU ÉTUDIÉ : LA LESSE.....	28
1.3.1 Géographie et géologie.....	28
1.3.2 Biocénose de la Lesse.....	28
<b>2. MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>30</b>
2.1 PLAN DE TRAVAIL.....	30
2.2. DESCRIPTION DES BIOCÉNOSES.....	32
2.2.1 Méthode de piégeage et relevés.....	32
2.2.2 Détermination.....	34
2.3 FACTEURS ÉCOLOGIQUES MESURÉS.....	35
2.3.1 Relevés phytosociologiques.....	35
2.3.2 Luminosité, gradient trophique et gradient hydrique.....	36
2.3.3 Facteurs pédologiques.....	37
2.3.4 Hauteur d'eau.....	37
2.4. DESCRIPTION DES STATIONS.....	38
2.4.1 Site de Lessive.....	39
2.4.1.1 Station avec enrochements.....	39
2.4.2 Site de Villers-sur-Lesse.....	39
2.4.2.1 Station naturelle.....	39
2.4.2.2 Stations plantées.....	40
2.4.3 Site de Hour.....	41
2.4.3.1 Station avec ancien perré.....	41
2.4.3.2 Station avec enrochements.....	41
2.4.3.3 Station naturelle.....	42
2.4.4 Site de Furfooz.....	42
2.4.4.1 Stations naturelles.....	43
2.4.4.2 Stations plantées.....	44
2.4.4.3 Caisson.....	45
2.4.4.4 Stations avec enrochements.....	45
2.5. MÉTHODE DE TRAITEMENT DES DONNÉES.....	47
2.5.1 Types de traitement.....	47
2.5.2 Similarité.....	47
2.5.3 Groupement hiérarchique.....	47
2.5.4 Groupement par réallocation.....	48
2.5.5 Méthode d'ordination.....	48
2.5.6 Analyse canonique des correspondances.....	49
<b>3. RESULTATS.....</b>	<b>50</b>
3.0. INTRODUCTION.....	50
3.1. CARACTÉRISATION DES STATIONS.....	51

3.1.1	<i>Etude des communautés végétales</i> .....	51
3.1.1.1	Similarité.....	51
3.1.1.2	Groupement hiérarchique.....	51
3.1.1.3	Groupement non hiérarchique.....	53
3.1.1.4	Méthode d'ordination.....	55
3.1.1.5	Conclusions.....	56
3.1.2	<i>Etude des variables environnementales</i> .....	57
3.1.2.1	Présentation des paramètres environnementaux.....	57
3.1.2.2	Similarité.....	57
3.1.2.3	Groupement hiérarchique.....	58
3.1.2.4	Groupement non hiérarchique.....	59
3.1.2.5	Méthode d'ordination.....	61
3.1.2.6	Conclusions.....	62
3.2.	BIODIVERSITÉ ET RÉPARTITION SPATIALE.....	63
3.2.1	<i>Exhaustivité</i> .....	63
3.2.2.	<i>Biodiversité et abondance des stations</i> .....	64
3.2.2.1	Espèces recensées.....	64
3.2.2.2	Abondance des espèces dans les stations.....	66
3.2.2	<i>Diversité et équitabilité des stations</i> .....	70
3.2.4	<i>Répartition spatiale des carabes</i> .....	72
3.2.5	<i>Répartition temporelle des carabes</i> .....	76
3.2.6	<i>Conclusions</i> .....	76
3.3.	ASSOCIATION DES CARABES À UN TYPE DE MILIEU.....	77
3.3.1	<i>Similarité</i> .....	77
3.3.2	<i>Groupement hiérarchique</i> .....	77
3.3.3	<i>Groupement non hiérarchique</i> .....	78
3.3.4	<i>Méthode d'ordination</i> .....	80
3.3.4.1	Peuplements de carabes par aménagements.....	80
3.3.4.2	Peuplements de carabes par stations.....	81
3.3.5	<i>Conclusions</i> .....	84
3.4	L'ANALYSE CANONIQUE DES CORRESPONDANCES.....	85
3.4.1	<i>Introduction</i> .....	85
3.4.2	<i>Résultats</i> .....	85
3.4.3	<i>Caractère bioindicateur des espèces de carabes</i> .....	88
4.	DISCUSSION.....	89
4.1	BIODIVERSITE.....	89
4.2	REPARTITION SPATIALE.....	90
4.3	EVOLUTION TEMPORELLE.....	90
4.4	FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX.....	90
4.5	AMENAGEMENTS.....	91
4.6	CARACTERE BIOINDICATEUR DES CARABES.....	91
5.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	92
BIBLIOGRAPHIE		

*Présentation générale*

## Présentation générale

Les berges de nombreux cours d'eau sont dégradées par les activités humaines et d'autres agents tels que l'érosion, le batillage et le bétail.

Différents types d'aménagements sont effectués pour remédier à ces altérations et dans une moindre mesure, pour rétablir une certaine biodiversité. Parmi ceux-ci, nous distinguerons les techniques minérales (enrochements, murs, perrés) et les techniques du génie végétal (plantations, fascines, épis, caissons) qui commencent à se développer au sein du Service des Cours d'Eau non-Navigables de la Région Wallonne. Soulignons que le choix de l'aménagement se fera en fonction des caractéristiques propres au type de berge, à sa localisation par rapport au cours d'eau, aux possibilités de navigation, à l'occupation de ses rives.

Actuellement, il n'existe que très peu de moyens et d'actions de contrôle du rétablissement de la biodiversité et de l'hétérogénéité des microhabitats au sein du milieu riverain après travaux. Comme pour étudier la qualité écologique des eaux où différents indices existent (diatomées, mousses, macroinvertébrés, poissons...), l'utilisation d'un bioindicateur pour évaluer la qualité écologique des berges aménagées serait intéressant à développer dans le cadre du suivi des chantiers de techniques végétales. Jusqu'à présent, seul un suivi floristique basé sur l'abondance, la structure, la présence des espèces peut être réalisé.

Ainsi que nous l'avons évoqué auparavant, les aménagements effectués sur les berges sont de deux types. Actuellement, les travaux du génie végétal sont en développement par rapport aux techniques minérales. Il est donc essentiel de mettre en place une méthode standardisée, fiable pour réaliser le suivi de ces aménagements.

Les Carabidae, insectes appartenant à l'ordre des Coléoptères, sont des organismes très répandus à travers le monde : Thiele (1977) en compte au moins 40 000 espèces et d'autres entomologistes comme Stock (*in* Dufrene, 1992) en dénombrent jusqu'à 60 000. Certaines sont caractéristiques des milieux forestiers, d'autres plus typiques des milieux ouverts et plus spécifiquement des milieux rivulaires.

La présence-absence des carabes, la rareté de certaines espèces, leur association à certains types de milieux tels que les berges sont autant de procédés pouvant être utilisés de façon à apprécier valablement la qualité écologique des berges aménagées.

Pour réaliser cette étude, nous choisirons donc un certain nombre de stations où différentes techniques d'aménagements, minérales et/ou végétales, ont été appliquées. Pour se faire, le travail comprendra un certain nombre d'étapes :

- installation d'un dispositif de piégeage à insectes (pitfall traps),
- déterminations précises en laboratoire,
- mise en relation par traitement statistique des données de terrain comme l'abondance de végétation, les espèces floristiques présentes, les facteurs microclimatiques et pédologiques par rapport aux espèces de Carabes recensées.

L'objectif de ce mémoire sera donc triple :

- améliorer la connaissance de la biodiversité et de la répartition géographique des peuplements des Carabes rivulaires, plus particulièrement sur la Lesse,
- mettre en évidence l'intérêt de ce groupe faunistique en tant que bioindicateur de la qualité écologique des berges,
- analyser quelques situations types d'aménagements de berges.

La bibliographie abordera les points suivants : les berges de cours d'eau avec leurs fonctions, les causes de leur dégradation, les aménagements et enfin, un intérêt particulier sera porté à la qualité écologique des berges. Nous poursuivrons par la présentation de la famille des Carabidae : leur répartition et biodiversité en Belgique, leur utilisation en tant que bioindicateurs caractéristiques des milieux rivulaires.

La Lesse, milieu où nous réalisons notre étude sera décrit sous ses différents aspects : sa géologie, aussi bien que sa géographie que ses principales biocénoses .

La deuxième partie, le matériel et méthodes, aura pour objectif de présenter l'ensemble des méthodes utilisées lors de ce travail : méthode d'échantillonnage, mesures des facteurs floristiques, climatiques et pédologiques, méthodes statistiques jugées les plus intéressantes pour atteindre les objectifs du travail.

Les données récoltées sur le terrain à savoir le recensement des espèces de carabes présentes sur chaque site, les mesures des paramètres stationnels retenus, les relevés de végétation seront analysés statistiquement de façon à émettre des hypothèses quant aux facteurs déterminants de la répartition des carabes, à l'association de certaines espèces à un type de milieu spécifique ou bien encore de possibles similarités entre les peuplements de carabes dans différentes stations.

L'ensemble des résultats obtenus nous permettra de répondre aux objectifs de départ à savoir si utiliser les carabes comme bioindicateurs pour l'ensemble des milieux rivulaires et envisager d'étendre cette méthode de suivi à d'autres chantiers d'aménagement de berges est pertinent.

I. Introduction

# 1. Introduction

## 1.1. Les berges de cours d'eau

### 1.1.1 Définition

La **berge** est la zone de transition (figure 1-1) entre le milieu aquatique et le milieu terrestre (Verniers, 1995). Elle est subdivisée en deux parties: le **pie** de talus, qui est la zone soumise à l'action quasi permanente du courant et qui est située sous le niveau de l'étiage ; le **talus**, proprement dit, qui n'est qu'occasionnellement en contact avec le courant et qui est situé au-dessus du niveau d'étiage (GIREA, 1987).

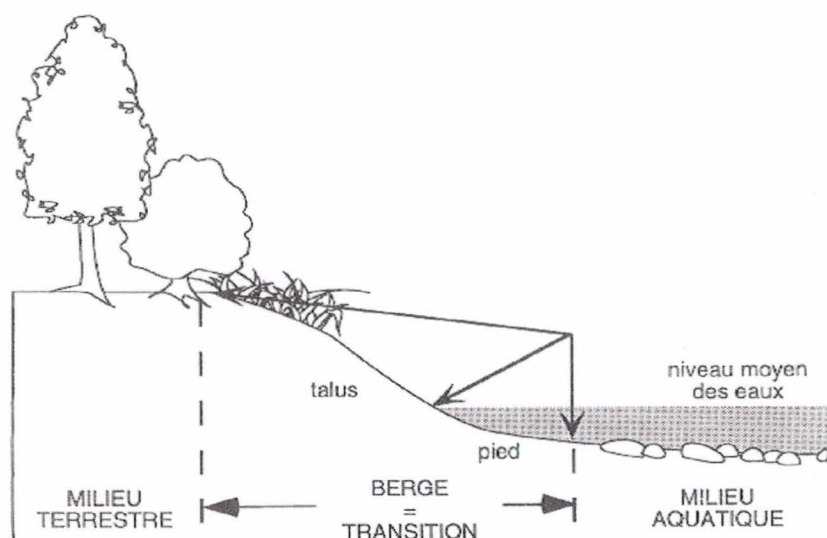


Fig 1-1: Berge (Verniers 1995)

Vu sa localisation, la berge est un milieu où la biodiversité est importante par rapport aux milieux environnants. Elle héberge à la fois des espèces typiquement terrestres, d'autres aquatiques, mais aussi toute une série de plantes ou d'animaux liés aux zones de transition entre ces milieux (Direction de la Nature et des forêts, 1995). C'est pourquoi la berge doit présenter autant que possible :

- un linéaire important qui favorise le contact terre-eau,
- une pente sous l'eau faible qui permet un réchauffement rapide du bord de l'eau au printemps, cette pente peut correspondre à une risberme,
- une végétation aquatique importante pour les exigences d'habitats, de nourriture, de reproduction,
- des abris plus importants utilisés comme refuges ou comme postes d'affût : berge sous cavée, racines d'arbres... (Verniers, 1995).

### 1.1.2 Fonctions des berges

La situation de la berge, entre le milieu terrestre et aquatique, lui confère une série de fonctions que ce soit à grande ou à petite échelle. Les activités humaines, les altérations engendrées par les inondations, les animaux peuvent affecter les différents rôles remplis par ces interfaces.

#### 1.1.2.1 A l'échelle du bassin versant

La végétation permet de réguler le microclimat : en freinant l'évapotranspiration, en maintenant l'humidité. La présence d'arbres réduit les écarts de température défavorables aux cultures et aux élevages. Elle a également des effets de régulation et d'assainissement des eaux, donnant aux pluies le temps de s'infiltrer dans le sol (pompage végétal) et limitant les risques de crues dans les cours d'eau. Ceci conduit à une diminution des pertes par ruissellement et à un ameublissement du sol en profondeur ainsi qu'à une augmentation de la capacité de rétention en eau de celui-ci (GIREA, 1985).

#### 1.1.2.2 A l'échelle de la vallée

Les cultures et autres terrains proches des berges sont protégés contre le vent et les précipitations. Le bétail profite fréquemment de la présence des berges boisées pour se protéger contre de mauvaises conditions climatiques. En effet, la végétation et la typologie des rives permet de freiner l'action du vent et donc de ralentir l'érosion. Lors des inondations, il a été démontré que les espèces végétales jouent le rôle de temporisateur dans les flux transversaux.

La végétation forme des corridors utiles lors de la migration des oiseaux. Les berges permettent donc le mouvement d'espèces et constituent à ce titre des " couloirs de liaison ".

La végétation retient également les particules sédimentaires ; celles-ci peuvent aussi s'infiltrer dans le sol ou se déposer sur le sol. Une augmentation de la charge sédimentaire engendre des dépôts d'alluvions et donc une succession de végétaux supérieurs, un colmatage des frayères et une réduction de la lumière peuvent aussi être observés. La qualité de l'eau, de la faune et de la flore sont fortement diminuées. De nombreuses études montrent que les sédiments peuvent être piégés par la zone tampon riveraine à concurrence de 60 à 90 %. (GIREA, 1999).

### 1.1.2.3 A l'échelle du cours d'eau

Les berges sont des éléments essentiels du point de vue de la rivière elle-même.

De par l'enracinement de certaines espèces ligneuses telles que les saules (*Salix* spp) et les aulnes (*Aulus* spp), de par la présence d'espèces herbacées, l'érosion est ralentie et les berges sont stabilisées.

La végétation présente sur les berges crée des zones d'ombre sur la rivière ; cela permet de réguler, par exemple, la présence de la faune locale. En effet, les poissons s'y réfugient lors des périodes où un climat chaud persiste ; ceci nous montre bien l'importance que peuvent jouer ces végétaux pour les salmonidés. Ceux situés en pied de talus peuvent aussi servir comme support de ponte pour différentes espèces de poissons comme le brochet. De plus, la végétation est aussi une source de nourriture pour les organismes aquatiques.

Aussi, pour les insectes aquatiques, les végétaux aquatiques et semi-aquatiques des berges servent de lieu d'émergence pour le passage du stade larvaire aquatique au stade adulte terrestre. Les nombreux spécimens recueillis lors des échantillonnages nous le démontrent. Pour les populations piscicoles, la végétation riveraine (plantes, racines,...) joue un rôle d'abri lors de conditions défavorables (crues) ou pour protéger des prédateurs. De nombreuses espèces d'oiseaux sont liées également au milieu riverain. Certaines parce qu'elles nichent dans les berges hautes en terre, c'est le cas du martin-pêcheur ou de l'hirondelle de rivage. D'autres parce qu'elles préfèrent les berges riches en végétation (les canards, les poules d'eau) ou les plages de gravier (les bergeronnettes des ruisseaux). Enfin, différents mammifères fréquentent les berges : le campagnol aquatique, le ragondin, le rat musqué peu apprécié pour les galeries qu'il construit (Verniers, 1995).

Le rôle de filtre que jouent les interfaces est très important. Les filtres physiques, chimiques et biologiques sont les trois types d'actions réalisés par la végétation (Amoros et Petts, 1993).

Au niveau physique, la végétation arbustive peut freiner l'eau de ruissellement et réduire la vitesse et la force érosive du courant.

Le filtre chimique joué par la bande riveraine est non-négligeable. En effet, des quantités importantes d'azote (annexe 1) et de phosphore peuvent être réduites au niveau des milieux rivulaires. L'azote est soit éliminé par dénitrification, soit stocké par les végétaux. Une rétention ou élimination ou rétention de 90 % peut être observée mais selon les conditions, elle peut être de 60 à 70 %. En ce qui concerne le phosphore, il est aussi stocké mais n'est pas éliminé comme peuvent l'être des nitrates par dénitrification. Les rétentions obtenues varient entre 50 et 90 % dans les meilleurs des cas (GIREA, 1999). Les zones tampons riveraines peuvent donc réduire significativement la concentration en substances nutritives et influencer la qualité de l'eau passant des systèmes agricoles aux systèmes aquatiques.

L'effet de filtre biologique dépend non seulement du contraste entre les conditions du milieu, mais aussi de la capacité de chaque espèce à supporter ces différentes conditions. En effet, seules les espèces ayant de telles capacités pourront franchir l'interface et exploiter les deux unités contiguës. Pour les espèces qui ne possèdent pas ces capacités, l'interface jouera le rôle de barrière infranchissable. Par exemple, la plupart des animaux terrestres ne peuvent pénétrer dans les milieux aquatiques mais d'autres sont tout à fait capables d'exploiter les deux types de milieux tels les batraciens, les canards, les castors et les loutres (Amoros et Petts, 1993).

### 1.1.3 Causes de dégradation

Les dégradations observées au niveau des berges peuvent être causées par plusieurs agents ; parmi ces derniers, citons l'eau, les animaux et l'homme qui en sont les principaux.

L'eau est, sans conteste, l'agent ayant l'action la plus importante (Verniers, 1995). En effet, l'eau peut agir soit de manière mécanique ou soit de façon chimique. Dans le premier cas, quelques phénomènes peuvent intervenir, parfois simultanément, à savoir l'affouillement, le ravinement et le glissement (figure 1-2). La dissolution et le lessivage sont, quant à eux, des réactions chimiques observées sur les berges.

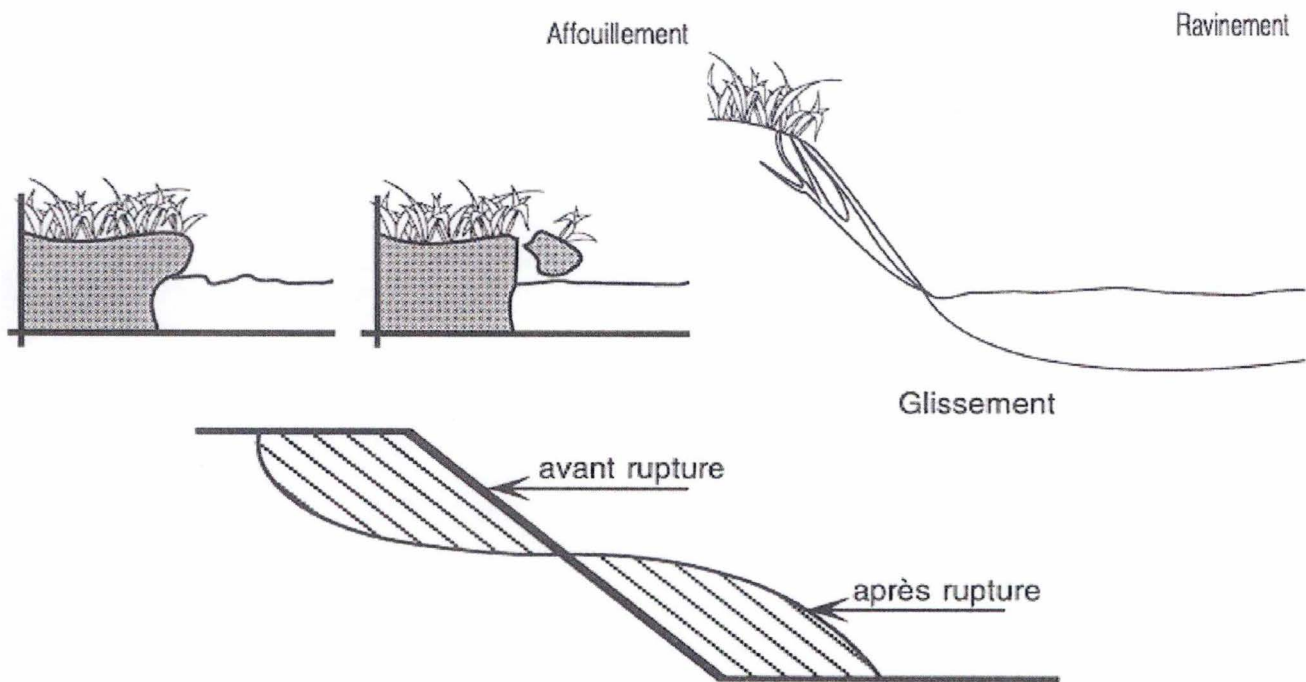
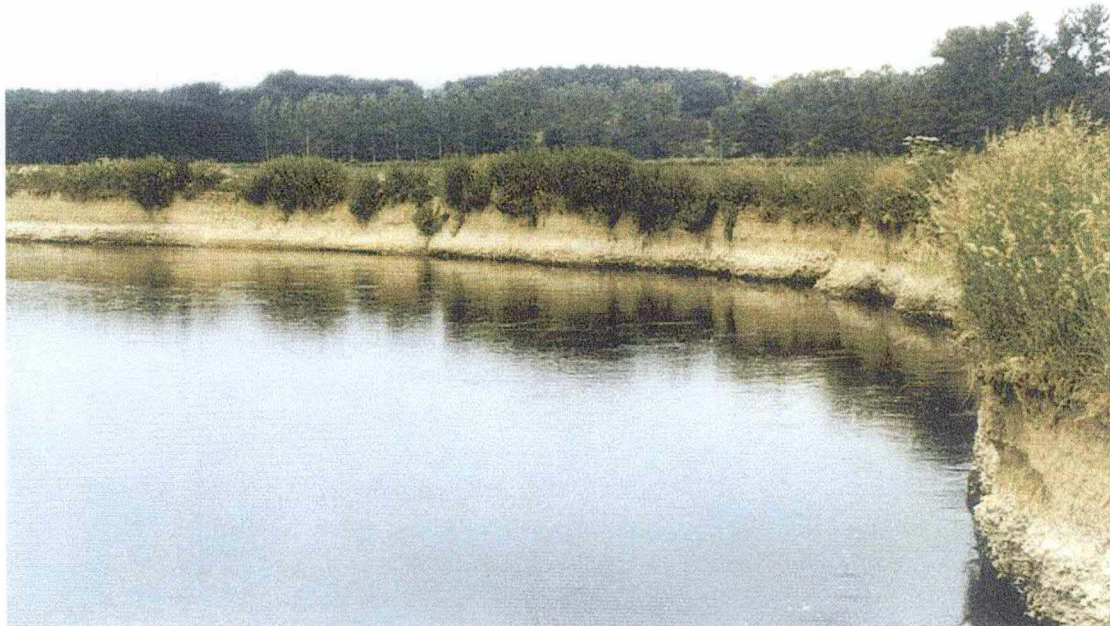


Figure 1-2: Mécanismes de dégradation (Verniers 1995)

### 1.1.3.1 Erosion

L'érosion est de loin le mécanisme le plus actif au niveau des berges (figure 1-3). D'une manière générale, l'érosion est le phénomène de dégradation résultant de la friction occasionnée par l'écoulement de l'eau et des matériaux qu'elle transporte (Verniers, 1995).



**Figure 1-3: Erosion régressive à Villers-sur-Lesse 1997 (Legrand 1997)**

La possibilité d'érosion de berge dépend en grande partie de la nature de la communauté végétale qui occupe la partie terrestre de la berge. En effet, s'il s'agit d'une ripisylve âgée, à bois durs, dominée par le frêne (*Fraxinus excelsior*) ou le chêne (*Quercus robur*), dans des régions plutôt méditerranéennes, les racines des arbres profondément enfoncées dans le sol constituent un obstacle à la force érosive du cours d'eau (Amoros et Petts, 1993).

Il faut souligner que le terme "érosion" englobe une série de processus naturels, qui ne sont pas toujours néfastes pour le milieu aquatique, à condition qu'ils ne soient pas amplifiés par des interventions artificielles. Ainsi le processus de transport des matériaux et ceux de sédimentation permettent l'établissement dans un cours d'eau d'un dépôt alluvionnaire limoneux, utile pour l'installation des plantes aquatiques essentielles pour l'avifaune (canards, poules d'eau). Ailleurs, l'érosion peut créer de nombreux habitats différents, ce qui augmente la diversité faunistique (Verniers, 1995).

### 1.1.3.2 Batillage

Le batillage est dû aux vents sur les grands cours d'eau, soit au passage des bateaux (remous des hélices). C'est un phénomène complexe composé de deux phases principales : un abaissement moyen du plan d'eau au passage du bateau, suivi d'un système d'ondes lié aux caractéristiques du bateau. L'action de l'eau sur la berge est fonction de la vitesse moyenne dépendant du courant naturel de la rivière ainsi que du courant de retour provoqué par le passage des bateaux, de l'agitation de l'eau au contact de la berge ainsi que d'éventuelles sous-pressions.

#### 1.1.3.3 Etres vivants

Le bétail peut, par un piétinement excessif des berges, accélérer l'effondrement de celles-ci. De même, les animaux qui creusent leur terrier au sein des berges (rat musqué) peuvent être responsables de dégradations. Il ne faut pas négliger l'action de l'homme qui, par une mauvaise gestion des plantations riveraines, peut déstabiliser les berges.

#### 1.1.3.4 Glace

La glace et les corps flottants créent une abrasion de la rive au niveau de la surface du cours d'eau. Le gel dilate, par des aiguilles de glace, la structure du sol, le décompose et le rend particulièrement sensible au ruissellement.

#### 1.1.4 Aménagements

Selon le type de dégradation des berges, divers types d'intervention sont possibles :

- restauration immédiate par plantation et apport de substrat de comblement,
- restauration différée par plantation servant de moyen de sédimentation (rupture de l'énergie des eaux, diminution de la vitesse du courant et de la force de charriage). L'efficacité se fait déjà sentir dès la plantation, mais elle n'est totale qu'après au moins une période de végétation accomplie. Pour la restauration de la berge, les saules, les aulnes et les herbacées s'avèrent efficaces. Eventuellement, d'autres espèces peuvent venir s'ajouter si la berge doit rester boisée (Verniers, 1995).

#### 1.1.4.1 Techniques minérales

Suivant l'occupation des rives (urbanisation, navigation, ...), ces ouvrages sont préférés aux techniques douces par les pouvoirs publics, les entreprises responsables des travaux. En effet, si les berges dégradées sont situées sur des cours d'eau navigables, au bord de routes très fréquentées, au bord de voies ferrées, alors ce type d'aménagements est privilégié.

##### 1.1.4.1.1 Enrochements

La protection par les **enrochements** (figure 1-4) consiste en un dépôt de blocs de pierres sur un talus régalié. L'épaisseur est variable suivant la qualité du sol et la raideur du talus. L'avantage de cette technique est que la mise en place peut s'effectuer sous eau. Selon la granulométrie du sol, il peut être indispensable de placer un géotextile entre les enrochements et le talus. Cette protection doit être prévue jusqu'au plafond avec aménagement d'un pied sous le niveau de celui-ci.

Au niveau écologique, les enrochements offrent une possibilité de recolonisation par la végétation ce qui est un avantage au niveau écologique et paysager ; les poissons peuvent les utiliser pour se cacher.

Au niveau paysager, les blocs de petites tailles et bien agencés permettent plus facilement la recolonisation par les végétaux.

Les enrochements sont, sans nul doute, les matériaux les moins coûteux et les plus faciles à placer sur le terrain (GIREA, 1989).

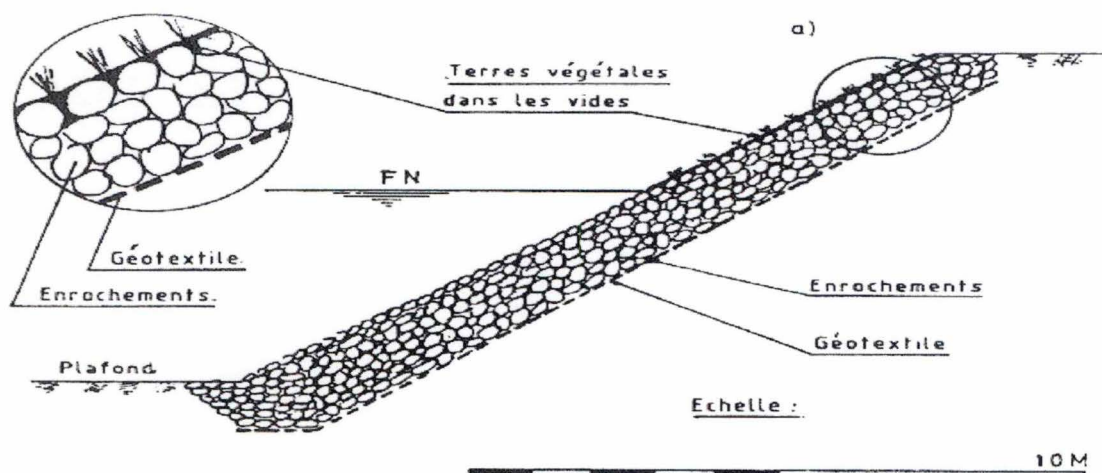


Figure 1-4: Enrochements gros calibres (GIREA 1989)

#### 1.1.4.1.2 Murs

Le **mur** est un autre procédé pouvant être utilisé de façon à freiner l'érosion. Ce sont des ouvrages en béton à parement, vertical ou subvertical (GIREA, 1989). Cette technique est appliquée dans des zones navigables ou non. Toutefois, il est regrettable que cet ouvrage altère le paysage. De plus, le substrat est uniforme et donc la biodiversité y est quasi inexistante.

#### 1.1.4.1.3 Perrés

Les **perrés** (figure 1-5), naturels ou préfabriqués, sont des ouvrages de protection rigides, se présentant sous forme de moellons calibrés ou arrimés. Les épaisseurs et pentes des perrés sont variables, ces dernières étant généralement comprises entre 6/4 et 2/4, suivant la stabilité du sol et la largeur disponible. Pour des questions d'aspects, la partie du parement située au-dessus du niveau de flottaison peut également être constituée de moellons rejointoyés à plat ou maçonnés à joints ouverts (GIREA, 1989). L'uniformité du substrat se traduit, à nouveau, par une faible diversité de la faune (absence d'invertébrés,...) et seules quelques herbacées sont présentes.

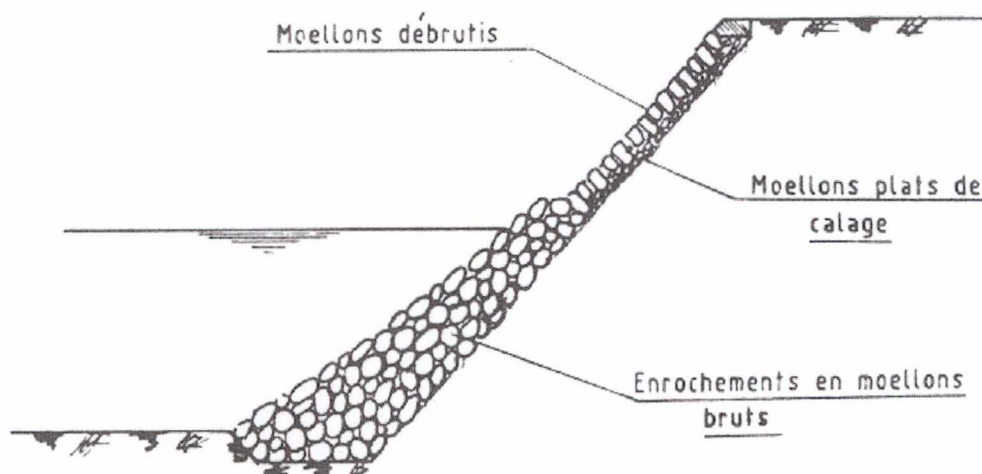


Figure 1-5: Perrés moellonnés (GIREA 1989)

#### 1.1.4.1.4 Gabions

Les **gabions** (figure 1-6), disposés soit en murs ou soit en escaliers, sont des revêtements constitués de paniers parallélépipédiques en treillis métallique solidarisés les uns aux autres par des ligatures et remplis d'enrochements, de refus de classeur, de produits de dragage. Généralement, les dimensions des gabions sont comprises entre 0.3 et 1 m de hauteur, entre 1 et 2 m de longueur et leur largeur est de 1 m. Ils peuvent être posés à même le talus à protéger, préalablement profilé suivant une pente pouvant varier entre 4/4 et 12/4. A même le talus, les gabions recouvrent l'ensemble de ce dernier ou reposent sur un massif d'enrochements mis sous eau jusqu'au niveau de flottaison normal. Lorsque le sol contient des éléments fins capables de traverser les gabions, il peut être nécessaire de placer un géotextile entre les gabions et le talus (GIREA, 1989).

La valeur écologique moyenne de la berge est liée aux possibilités de recolonisation par la végétation (très variable en fonction du contexte local). Ce facteur intervient également pour évaluer la qualité paysagère qui sera fonction de la "finition" du chantier (plantations, semis) mais aussi du calibre des blocs utilisés.

D'autres techniques telles que les gabions présentent certains avantages comme les prix relativement réduits, l'installation aisée au-dessus du niveau de flottaison, les valeurs écologiques et paysagères fonction des possibilités de recolonisation par la végétation mais surtout du type de gabion utilisé (gabion cage ou matelas) et de sa mise en place (mur vertical, en escalier ou en pente régulière).

Signalons que chaque technique engendre des problèmes de plus ou moins grandes importances et qu'aucune d'elle n'est, dans les conceptions actuelles, satisfaisante pour l'écologie et l'intégration paysagère des berges (GIREA, 1989).

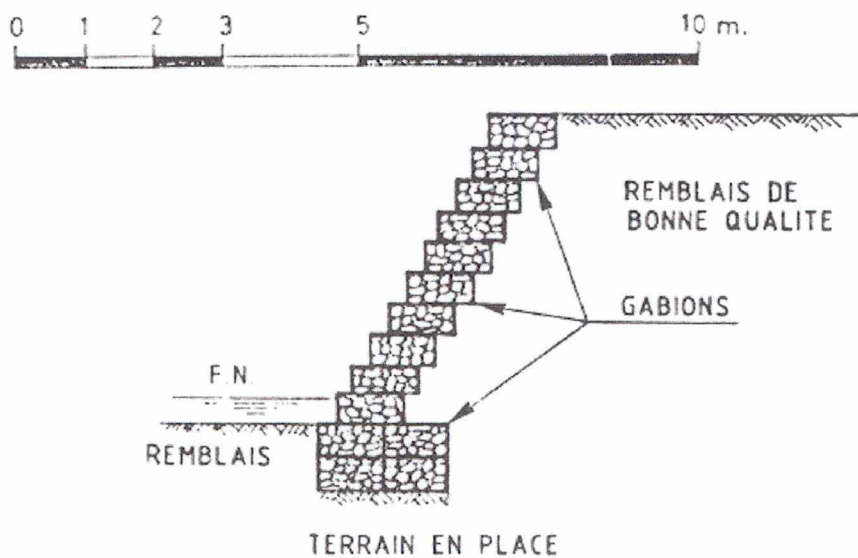


Figure 1-6: Gabions (GIREA 1989)

#### 1.1.4.2 Génie végétal

Avant toute chose, il convient de définir ce que nous entendons par " **génie végétal** ". Sur des modèles naturels de mécanismes de croissance, connus et observés, il développe des procédés qui permettent, parfois à grande échelle, de résoudre des problèmes de protection des sols contre l'érosion. Non seulement il exploite comme modèle les capacités naturelles du végétal, mais il utilise ce dernier comme matériel de base à la construction d'ouvrages. Dans ce type de technique, l'entretien réfléchi et pondéré avec le respect du cours d'eau et de ses caractéristiques morphologiques et écologiques propres doit être prôné.

Dans le même ordre d'idée, le génie végétal exclut de ses principes l'intervention à tout prix ; les berges érodées pouvant offrir des habitats variés pour la faune locale. Un principe de base est de favoriser une protection naturelle des berges, en conservant la végétation existante. L'élimination d'une partie de la végétation est nécessaire si des espèces néfastes et envahissantes sont présentes (Lachat, 1994).

Avant tout aménagement, il est indispensable d'étudier le site à restaurer - morphologie du terrain, conditions climatiques, physiques et biologiques- afin d'employer la technique convenant le mieux aux exigences locales et de voir dans quelle mesure les espèces indigènes ne pourraient pas être utilisées (Lehoux et *al*, 1996).

Le génie végétal est un procédé offrant de nombreux avantages. Les techniques végétales procurent une stabilité dynamique croissante car la protection, souvent faible au début, devient de plus en plus efficace au fur et à mesure de la croissance et du développement des plantes. Ces ouvrages opposent une résistance souple aux forces du courant (car elles sont vivantes) permettant de mieux dissiper l'énergie. D'autres avantages peuvent être cités : la conservation et l'embellissement du paysage naturel et culturel, la conservation ou la restauration du patrimoine génétique d'une région en privilégiant l'utilisation de plantes indigènes, le faible coût des matériaux vu que les espèces sont souvent prélevées sur place.

A côté de ces nombreux points positifs, le génie végétal possède aussi quelques inconvénients. L'entretien à accorder à ces ouvrages, l'encadrement scientifique et technique dont il faut tenir compte, les moyens financiers et techniques à mettre en œuvre sont tant de désavantages pouvant apparaître lors d'aménagements des berges (Lachat, 1994 ; Lehoux, 1996 *in* Legrand, 1997).

#### 1.1.4.2.1 Techniques directes

- Plantations

La technique des **plantations** consiste à mettre en terre des espèces généralement ligneuses pourvues de racines nues ou au contraire contenues en mottes. Cette technique ne s'applique qu'en sommet de berge pour les essences ligneuses de haut port. Des espèces buissonnantes et arbustives peuvent en revanche être plantées jusqu'à mi-pente dans la berge. En pied de berge, il est possible de procéder à la plantation de végétaux héliophytes (Lachat, 1994).

Pour combattre l'érosion, les herbes, les roselières, les arbres sont tant de techniques de plantations pouvant être utilisées. Aussi, la plantation d'un mélange d'espèces, plutôt que d'une seule, conduit plus rapidement à une communauté plus équilibrée avec une réduction dans la probabilité d'avoir une croissance excessive d'une espèce. Le choix des espèces à planter varie en fonction de divers paramètres (Office des ponts et chaussées du canton de Berne *in* Lenoir, 1998). En effet, pour être efficace, les plantes doivent disposer de racines profondes afin de réduire l'érosion de la berge et de résister aux inondations (Lehoux, 1996 *in* Legrand, 1997).

- Boutures

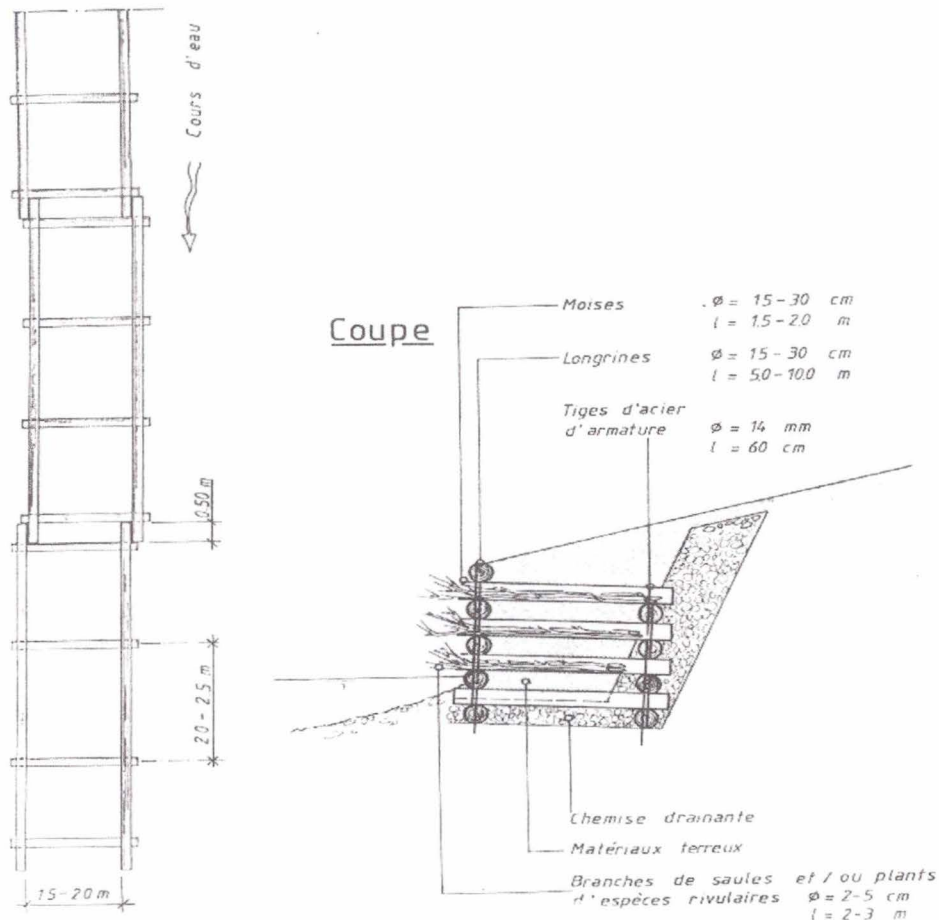
La technique de **bouturage** consiste à planter isolément ou en groupe des branches de végétaux capables de rejeter (ex :saules, etc.) ; ils forment un nouveau buisson, un nouvel arbre qui retiendra le sol et empêchera l'érosion de celui-ci. Cette technique peut être utilisée sur des pentes instables présentant des dangers de glissement. A nouveau, c'est un ouvrage qui devra être accompagné par d'autres techniques comme les fagots, les matelas de branches (Lachat, 1994). Dans nos régions, c'est essentiellement les différentes espèces de saules qui sont utilisées vu leur important pouvoir de régénération.

- Ensemencements

L'**ensemencement** est une technique où différentes graines d'herbacées sont répandues sur la berge. Son action vise à limiter le ruissellement et l'érosion en surface. La plupart du temps, l'ensemencement accompagne d'autres techniques dont les plantations. Parfois, il est simplement destiné à fonctionner le temps que les rejets de boutures ou de branches recouvrent entièrement la surface à protéger (Lachat, 1994). Il existe plusieurs mélanges de semences mis au point par Dethioux (mélange 1, mélange 2, mélange 3 et mélange 4) ; ceux-ci seront utilisés suivant le milieu dans lequel l'aménagement sera réalisé. Il varie en espèces de graminées et autres espèces herbacées.

- Caissons

Le terme de **caisson** (figure 1-7) fait référence à une structure étagée faite de poutres ou de rondins de bois remplie de matériel terreux, dans laquelle sont insérées, dans la partie basse, des branches de saules aptes à rejeter et, dans la partie haute, des plantations protégées lors de leur croissance par les rondins. L'ensemencement est aussi une pratique courante dans la partie supérieure du caisson.

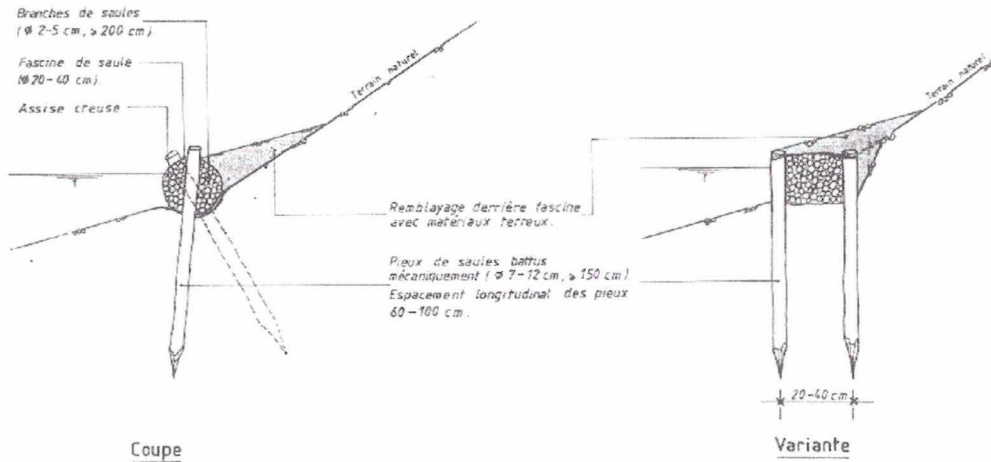


**Figure 1-7: Technique du caisson (Lachat 1994)**

Cette technique est utilisée pour protéger les talus affectés par une érosion sévère et dont la pente ne peut être reprofilée. Elle offre une protection immédiate. Dans certains cas, la structure en bois pourra être remplie de pierres aux étages inférieurs, et de terre aux étages supérieurs. Nous effectuerons alors une végétalisation dans la partie supérieure du caisson (Office des ponts et chaussées du canton de Berne, Lachat et Argus *in* Lenoir, 1998).

- Fascines

Le **fascinage** (figure 1-8) est une protection en pied de berge ; un ou plusieurs fagots de branches vivantes ou mortes (fascines) sont fixés entre deux rangées de pieux (Lachat, 1994).



**Figure 1-8: Technique de fascinage (Lachat 1994)**

Généralement, une seule rangée de fascines est appliquée dans le bas du talus. Cette technique est recommandée pour contrer les problèmes d'érosion moyenne à sévère, elle est efficace et capable de résister immédiatement à de fortes contraintes hydrauliques. Toutefois, elle ne s'applique pas dans le cas de talus très hauts et abrupts soumis aux vagues de vent ou de batillage (Agence de l'eau Rhin Meuse et Ministère de l'environnement du Canada *in* Lenoir, 1998). La fascine est donc régulièrement accompagnée d'autres techniques de protection comme les boutures,... (Lachat, 1994). Cette technique est qualifiée d'indirecte car son action se fait en pied de berge.

- Géotextile

Le **géotextile** est un matériau utile lors des aménagements puisqu'il remplit différentes fonctions : la filtration, la séparation et la protection pendant la croissance de la végétation. Lorsqu'un géotextile est posé, celui-ci a pour but de maintenir la végétation nouvellement placée tout en laissant passer l'eau à travers ses mailles.

#### 1.1.4.2.2 Techniques indirectes

- Épis

Les **épis** (figure 1-9) sont des ouvrages construits en partant de la berge, obliquement au courant comme des jetées. Ils ont pour rôle de recentrer la vitesse du courant et ainsi de créer une zone de sédimentation. Cette technique n'est envisageable que sur des cours d'eau suffisamment larges ( $\pm 10$  mètres) (Office des ponts et chaussées de Berne et Verniers *in* Lenoir, 1998).

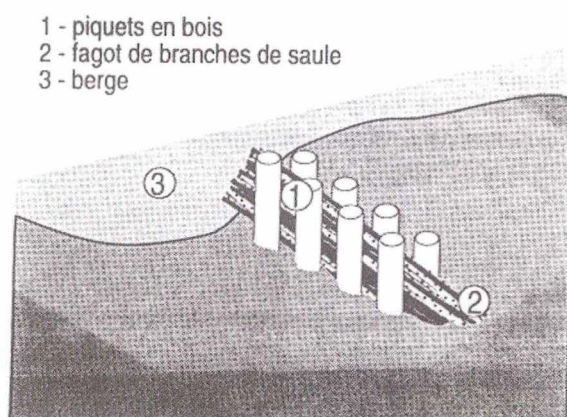


Figure 1-9: Technique des épis (Verniers 1995)

#### 1.1.4.3 Techniques combinées

Les " techniques combinées " sont des ouvrages artificiels (enrochements, fascines...) auxquels on associe des matériaux vivants qui ne font que consolider la protection assurée par l'ouvrage initial, et améliorer du point de vue esthétique et l'intégration paysagère. Inversement, des ouvrages artificiels peuvent être combinés aux formations végétales afin de leur assurer une protection supplémentaire ou indispensable (Verniers, 1995).

#### 1.1.4.4 Conclusions

En conclusion, préalablement au choix de l'aménagement de la berge, il est indispensable de dresser un plan de gestion et de restauration. Ce dernier reprendra l'ensemble des facteurs (physiques, chimiques et biologiques) susceptibles d'influencer le milieu concerné : les techniques correspondant le mieux à un certain type de dégradation, les objectifs à atteindre à court et à moyen terme. La compétence des différents acteurs responsables de mener à bien ce projet rentre en compte : les politiques, les scientifiques et les entreprises ayant été retenues pour effectuer les travaux.

Le traitement appliqué doit permettre à la végétation de jouer, d'une façon continue dans le temps, les rôles suivants, nécessaires au bon fonctionnement de la rivière :

- assurer la stabilité des berges,

- procurer un couvert suffisamment dense pour éviter l'explosion de certaines espèces végétales,
- permettre un entretien plus facile (GIREA, 1987).

Tout aménagement aura, de toute façon, ses propres avantages et inconvénients. Au-delà de cette constatation, il conviendra de retenir l'ouvrage qui, de par ses matériaux, ses intérêts écologiques et son intégrité dans le paysage, ralentira l'érosion de la berge et rétablira des microhabitats propices aux espèces rivulaires.

### 1.1.5 Qualité écologique des berges

Il est difficile de donner une définition adéquate de la qualité écologique d'un écosystème. En effet, dans la littérature, peu d'articles reprennent ce concept. Certains s'attardent sur une qualité chimique du milieu tandis que d'autres mettent en évidence la valeur biologique du biotope considéré. Nous tentons donc de regrouper quelques commentaires afin de formuler une définition appropriée de la qualité écologique.

#### 1.1.5.1 Définition

La **qualité écologique** des berges inclut la notion de diversité et de richesse spécifique. En effet, de par la diversité des microhabitats, la diversité des espèces végétales et animales, les espèces dominantes, les berges sont des milieux uniques. Peu d'études sont réalisées pour faire l'inventaire des espèces présentes sur les milieux rivulaires. Néanmoins, celles effectuées prouvent qu'il est indispensable de les préserver. La haute valeur écologique intègre l'idée du rôle paysager et récréatif rempli par les berges.

A ce niveau, il peut être intéressant d'introduire le concept d'**écotone** (figure 1-10). La notion d'écotone est ancienne, puisque dès 1897, Clements suivi par Livingston en 1903 définissaient l'écotone comme une frontière entre deux associations ou deux communautés végétales où les processus d'échange ou de compétition entre formations voisines pouvaient être observés. En 1971, Odum ajoutait que la communauté de l'écotone contenait beaucoup d'organismes des deux communautés adjacentes et des organismes caractéristiques voire même exclusifs de l'écotone. Cette tendance à une augmentation de la densité et de la variété des communautés au niveau des zones de jonction fut appelée par Léopold *effet de lisière*. Plus récemment, en 1988, ce concept a été reformulé par Holland, Naiman et *al.* (1988), Hansen et *al.* A partir d'un ensemble de caractéristiques uniquement définies par les échelles de temps et d'espace et par la force des interactions entre les systèmes écologiques adjacents. Pour Neiman et Décamps (1990), c'est principalement le cas des écotones terre-eau qui est mis en évidence (Amoros et Petts, 1993).

L'effet lisière, la densité de la végétation au niveau des espèces mais aussi au niveau des strates, la présence de l'eau, la variété des microclimats font que ce milieu riverain comporte aussi un grand nombre d'espèces animales (annexe 2) qui y trouvent un habitat de qualité (abris, lieux de reproduction) et une nourriture abondante.

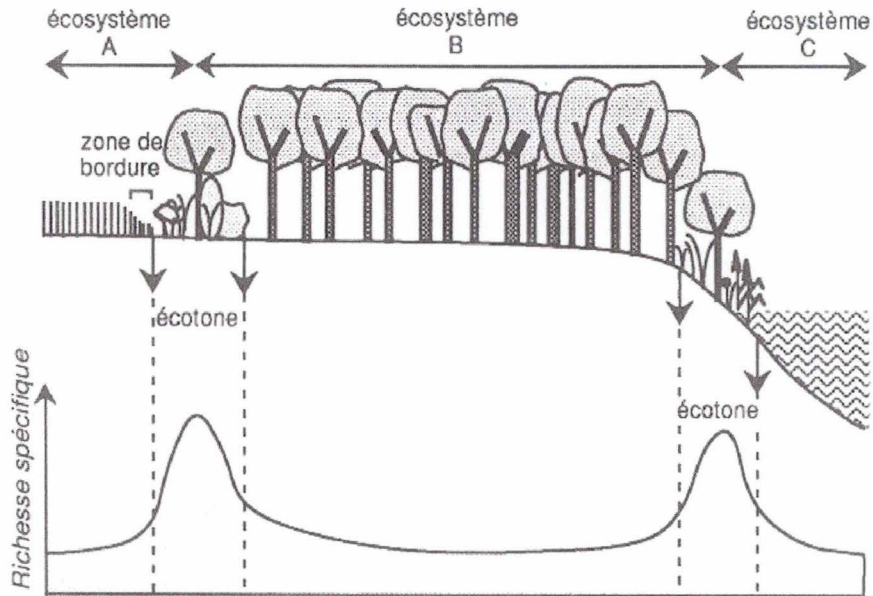


Figure 1-10: Schématisation de l'écotone et de sa biodiversité (Amoros et Petts 1993)

#### 1.1.5.2 Mise en évidence de la qualité par des bioindicateurs

La qualité -chimique, physique et biologique- des écosystèmes aquatiques peut être mise en évidence grâce à l'utilisation de certains groupes de végétaux et d'animaux. En effet, actuellement, afin d'évaluer les impacts d'une pollution ponctuelle ou généralisée sur l'ensemble de la rivière, les données fournies par les organismes comme les macro-invertébrés benthiques, les poissons (mesure des impacts à long terme) et les végétaux comme les mousses et les diatomées (mesure des impacts à court terme) sont fréquemment employées. Les organismes biologiques, organismes désignés sous le terme de "**bioindicateurs**" se définissent comme des systèmes biologiques utilisés pour apprécier une modification -généralement une détérioration- de la qualité du milieu (Hellowell 1983 *in* Didier, 1996). Plus précisément, un indicateur écologique est défini comme une population ou un ensemble de populations qui, par ses caractéristiques qualitatives et/ou quantitatives, témoigne de l'état d'un système écologique et qui, par des variations de ces caractéristiques, permet de déceler d'éventuelles modifications du système (Blandin *in* Didier, 1996). La présence ou l'absence de certaines espèces peut indiquer une dégradation du milieu étudié. Pour mesurer la concentration de substances polluantes, il est aussi possible d'analyser les tissus d'organismes prélevés dans l'environnement altéré (Hellowell, 1986).

Avant de choisir un indicateur, il est impératif de déterminer ce que ce dernier devra mettre en évidence (pollution organique, pollution chimique, évolution d'un milieu aménagé,...). Comme exemple de bioindicateurs, nous pouvons citer l'indice biotique basé sur les macro-invertébrés. La valeur de cet indice donnera une idée générale sur l'état du cours d'eau. Les analyses chimiques et physiques pourront, par la suite, conforter ces résultats.

Arrivé à ce stade, il serait opportun de mentionner les critères de choix d'organismes comme bioindicateurs, en voici quelques-uns :

- facilité d'échantillonnage et de détermination ; en effet, une technique facile d'utilisation permettant à des personnes non-spécialistes de s'investir dans une étude environnementale,
- pouvoir de discrimination ; un bioindicateur doit être caractéristique d'un certain type d'altération,
- données autoécologiques abondantes,
- faible variabilité ; tant au niveau du rôle dans la communauté qu'au niveau génétique,
- champ géographique d'application ; afin de comparer certains milieux situés dans d'autres régions, il est essentiel d'avoir un bioindicateur ayant un grand champ d'application (Hellowell, 1983).

Pour évaluer la qualité environnementale d'un écosystème, l'indication biologique a quelques avantages (Kozlov *in* Butovsky, 1994) par rapport aux mesures physico-chimiques. Il ne faut pas pour autant négliger ces analyses ; en effet, celles-ci fournissent des informations complémentaires (substances polluantes, pH, nutriments). Citons les principaux intérêts des analyses biologiques :

- la réaction des organismes vivants permet d'évaluer les influences anthropiques sur l'environnement,
- les bioindicateurs permettent aussi d'étudier les effets génétiques à long terme,
- le coût relativement faible qu'engendre ce type d'analyse est également à prendre en compte.

Après ces quelques généralités quant au concept et au choix d'un bioindicateur, nous devons en sélectionner un qui, de par ses particularités écologiques et biologiques, nous aidera à caractériser les milieux étudiés.

## 1.2. Les carabides

### 1.2.1 Description générale

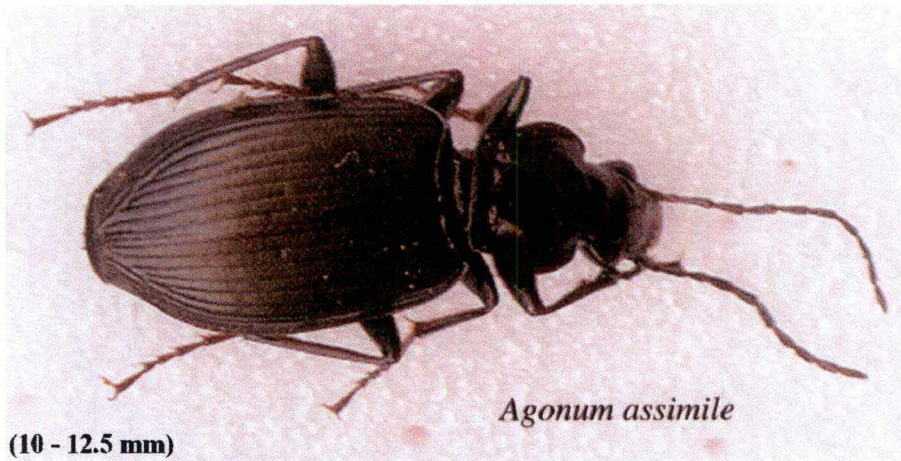
Les carabides, insectes appartenant à l'ordre des coléoptères et au sous-ordre des adéphages – coxas de la troisième paire de pattes soudés à l'abdomen -, sont des organismes bien représentés (Baguette, 1992). En effet, en Belgique, il y a plus de 380 espèces (Desender et *al.*, 1994) ; à travers le monde, la famille des carabidae compte selon Thiele (1977) 40 000 espèces, d'autres auteurs n'hésitant pas à mentionner le nombre de 60 000 espèces ( Gaston *in* Dufrière, 1992).

Cette famille est caractérisée par un très large succès adaptatif aux multiples conditions écologiques rencontrées à l'échelle du globe (Dufrière, 1992). Cela se traduit par leur présence dans de nombreux types d'habitats, naturels et semi-naturels comme les cultures, les forêts, les berges,...

Les carabes ont une morphologie générale variant très peu (Thiele, 1977) et de nombreuses constantes s'observent chez les adultes : pattes longues et puissantes, mandibules très développées, élytres recouvrant la majorité de l'abdomen, corps et appendices fortement chitinisés (Baguette, 1992). La taille peut aller de 2 à 40 mm (Baufays, 1994) ; cela varie beaucoup d'une espèce à l'autre (Baguette, 1992). Les espèces de petites tailles sont généralement présentes dans les milieux ouverts alors que les grandes espèces sont plutôt caractéristiques des milieux plus fermés comme les forêts (Thiele, 1977 ; Baguette, 1992 ; Dufrière, 1992).

Il est utile de s'attarder sur l'état alaire de ces Coléoptères, cette caractéristique influençant fortement leur présence, principalement dans les milieux perturbés. Les Carabidae ont des ailes antérieures chitinisées et transformées en élytres tandis que les ailes postérieures, se trouvant sous les élytres, sont membraneuses et fonctionnelles (Baguette, 1992). Les espèces macroptères possèdent des ailes bien développées, celles-ci sont favorisées dans les milieux perturbés (Baguette et Dufrière, 1989) car ils peuvent échapper plus facilement aux perturbations en s'envolant (Den Boer *in* Baguette et Dufrière, 1989). Les espèces brachyptères ont les ailes postérieures réduites, non-fonctionnelles. Il semble qu'au cours de leur évolution, certaines espèces aient donc perdu la capacité de voler (Thiele, 1977 ; Baguette, 1992). A côté de ces deux types d'espèces figure une troisième catégorie, les dimorphiques, où sont regroupés les individus macroptères et brachyptères. Pour terminer, les espèces polymorphiques sont caractérisées par la présence d'ailes de diverses longueurs. Ces deux dernières catégories sont regroupées sous le nom d'espèces di-polymorphiques (Baguette, 1992).

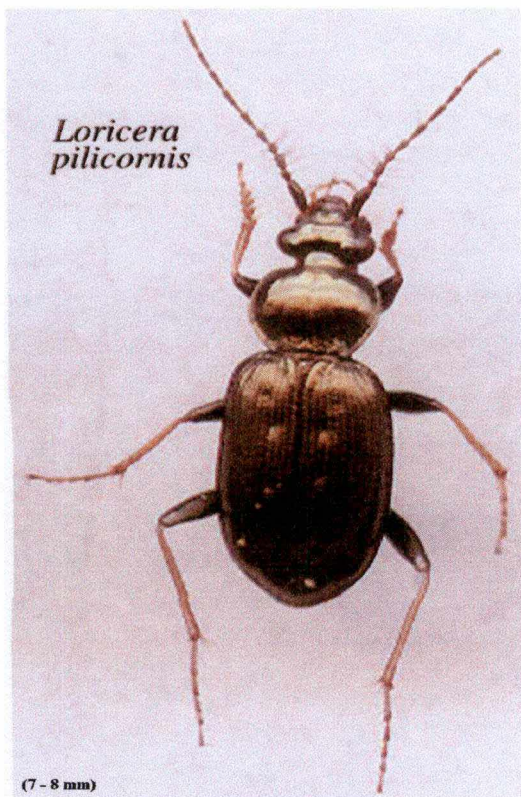
Citons, enfin, la coloration des carabes qui varie d'une espèce à l'autre. Elle est de deux types : soit des espèces ayant une teinte brillante, soit celles présentant un corps mat (Lindroth *in* Baguette, 1992). Nous pouvons voir quelques espèces de carabes aux figures 1-11, 1-12, 1-13, 1-14.



(10 - 12.5 mm)

*Agonum assimile*

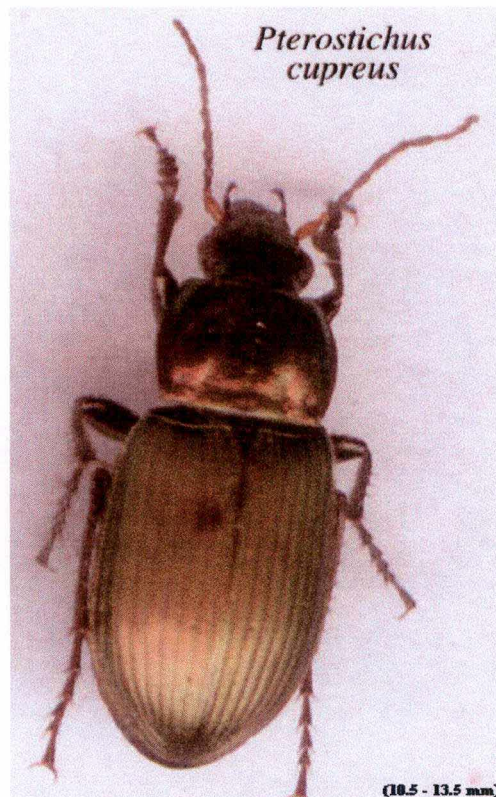
**Figure 1-11 : *Agonum assimile***



*Loricera  
pilicornis*

(7 - 8 mm)

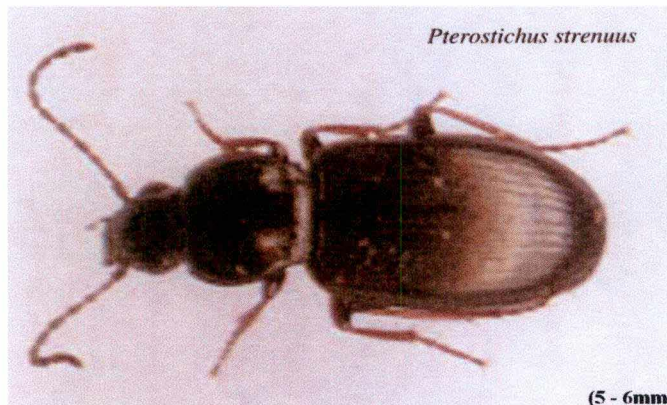
**Figure 1-12 : *Loricera pilicornis***



*Pterostichus  
cupreus*

(10.5 - 13.5 mm)

**Figure 1-13 : *Pterostichus cupreus***



*Pterostichus strenuus*

(5 - 6mm)

**Figure 1-14 : *Pterostichus cupreus***

### 1.2.2 Reproduction

Chez le carabe, il existe plusieurs périodes au cours desquelles il y aura une croissance de la population (Baguette, 1992). Larsson, en 1939, fut le premier à reconnaître différents types de reproduction parmi les espèces de carabes : les *reproducteurs de printemps* et les *reproducteurs d'automne*. Les premiers hivernent à l'état adulte tandis que les seconds hivernent à l'état larvaire. Lindroth (1949) suggère d'utiliser des termes basés sur le stade auquel l'espèce hiberne, c'est-à-dire sous forme d'adultes ou de larves (Thiele, 1977). Les reproducteurs de printemps pondent au début de l'été, émergent en automne et passent l'hiver à l'état adulte. Les larves des reproducteurs d'automne, elles, après avoir passé l'hiver, se métamorphosent et émergent en automne (Dufrêne, 1992).

Une relation directe existerait entre le type de reproducteurs et l'habitat. Lehmann a montré, en 1965 sur le Rhin, une synchronisation du rythme de reproduction avec les inondations annuelles (Thiele, 1977). Le stade adulte se caractérise par une meilleure capacité à répondre rapidement aux perturbations comme par exemple les inondations. C'est pour cette raison que les espèces hivernant à l'état adulte dominant dans les habitats instables (Dufrêne, 1992).

### 1.2.3 Régime alimentaire

Le régime alimentaire des Carabidae est très varié. Vu la variation du spectre alimentaire, c'est le terme de polyphages qui convient le mieux (Den Boer *in* Dufrêne, 1992) bien que certains soient nécrophages (Baguette, 1992). La plupart des espèces sont prédatrices généralistes (Boscaini et *al.*, non daté ; Baguette, 1992), elles sont donc associées à un habitat très hétérogène (Boscaini et *al.*, non daté). Il faut aussi remarquer que le type d'alimentation est différent selon la taille des espèces. Pour celles de grandes tailles (*Carabus*, *Abax*, *Ptérostichus*), la nourriture se compose de chenilles, de limaces, d'escargots, de vers de terre. Les petites espèces se nourrissent d'acariens, d'œufs d'insectes, de pucerons, de petites larves (Thiele *in* Andersen, 1995).

Dans la littérature, des études sur les carabes phytophages ont été réalisées. Beaucoup d'auteurs soutiennent que la phytophagie est une exception chez les carabes, sauf pour *Amara* et *Harpalus*, et qu'un régime strictement à base de plantes est considéré comme rare. Pour un grand nombre de genres, dans l'environnement naturel, la matière végétale joue un rôle considérable dans leur nutrition, du moins à certaines saisons. Le pollen et les spores de plusieurs plantes sont retrouvés dans le tube digestif à savoir des Légumineuses, des Crucifères, des Caryophyllacées,... ; notons que le pollen peut avoir été ingéré auparavant par la proie du carabe (Thiele, 1977).

### 1.2.4 Utilisation des carabes comme bioindicateurs :

L'intérêt des berges pour la faune et la flore étant essentiel (cf. 1.1.5.1), il serait donc bénéfique de mettre au point une méthode d'évaluation de la qualité écologique de ces milieux rivulaires. Celle-ci doit être fiable et reproductible (Michel, 1998). Nous proposons dans ce

travail d'utiliser une famille d'insectes, les Carabidae, comme bioindicateur. Il nous faut maintenant justifier ce choix.

L'intérêt de cette famille n'est pas nouveau puisque de nombreux scientifiques étudient ce groupe taxonomique depuis de nombreuses années (Thiele, 1977). Les carabes représentent l'un des groupes les plus sensibles au niveau écologique avec des taxa hautement spécialisés ; les changements environnementaux les affecteront beaucoup plus que d'autres invertébrés. De plus, ces insectes sont restreints à une aire donnée et donc leurs communautés indiquent des conditions écologiques de cette aire (Boscaini et *al.*, 1998; Sustek, 1994). La présence ou l'absence de certaines espèces peut nous indiquer de possibles altérations de l'environnement (Thiele, 1977). Comme exemple, nous pouvons citer Butovsky (1994) qui, dans les années 80, réalisa une étude sur les écosystèmes autoroutiers en utilisant les carabes comme bioindicateurs des perturbations liées aux voies de circulation. Selon Butovsky, les carabes sont un très bon groupe qui convient pour la bioindication car :

- les carabes sont présents dans beaucoup d'écosystèmes terrestres, tant forestiers que rivulaires,
- ils sont présents dans les milieux perturbés (inondations,...)
- leur systématique et leurs facteurs de répartition sont bien connus,
- les méthodes d'évaluation de l'abondance des espèces sont universelles, simples (plusieurs investigateurs peuvent réaliser ces études) et peu coûteuses ; elles sont comparables entre les différentes stations d'échantillonnage.

Luff (1996) propose d'évaluer la qualité d'un habitat en mesurant la rareté et les espèces typiques du milieu. Pour cela, il faut relever l'ensemble des carabes présents sur les sites, associer les carabes avec les différents facteurs environnementaux mesurés, voir la distribution des espèces à l'échelle régionale et nationale.

Les carabes sont au centre d'études très importantes. En effet, une recherche européenne regroupant cinq pays (Italie, Grande-Bretagne, France, Roumanie et Suède) avait pour but d'étudier la structure et la fonction des écotones riverains dans différentes conditions environnementales (sites fréquemment inondés, rarement inondés et jamais inondés). Sur chacune des berges prospectée, les invertébrés terrestres ont été déterminés afin d'évaluer la diversité des milieux échantillonnés. Lors de cette étude, ils ont pu constater que les conditions environnementales comme par exemple les inondations influencent l'abondance de certains carabes (Boscaini et *al.*, non daté).

Les facteurs de répartition des carabes sont connus:

- la structure de la végétation,
- la composition du substrat,
- l'humidité (Talvi 1995),
- la distance par rapport à l'eau (Lehmann *in* Lott, 1996),
- la pente de la berge (Palmen & Platanoff *in* Lott, 1996).

C'est une des raisons pour lesquelles cette famille est préférée à d'autres pour réaliser les études d'impact.

A travers ces quelques exemples, nous constatons que les carabes sont de bons bioindicateurs. Les carabes sont influencés par des changements environnementaux à petite

comme à grande échelle (Baert et *al* 1989) ; pour toutes ces raisons, notre choix s'est porté vers cette famille d'insectes.

### 1.2.5 Facteurs de répartition

De nombreux auteurs ont démontré que la répartition des Carabidae est liée à certains facteurs écologiques.

#### 1.2.5.1 Facteurs chimiques

Les facteurs chimiques n'interviendraient pas directement dans les distributions. Aucune préférence pour le calcaire (Ca CO<sub>3</sub>) ne s'observe chez les espèces typiques de pelouses calcicoles (Lindroth, 1953 *in* Dufrière, 1992). Pour le pH, des corrélations ont été établies entre la concentration en H<sup>+</sup> dans le sol et la distribution des animaux au sol. Cependant, beaucoup d'auteurs affirment qu'aucune relation n'existe.

#### 1.2.5.2 Facteurs édaphiques

Pour Den Boer (1963) et d'autres auteurs comme Thiele (1977), c'est l'humidité du sol qui est le facteur clé de la distribution des carabides (Dufrière, 1992). D'autres facteurs comme la granulométrie expliquent la distribution de nombreuses espèces, notamment dans les cultures (Tischler, 1955 ; Heydemann, 1955), dans les milieux rivulaires (Andersen, 1983 ; Desender, 1989) ou dans les habitats xériques (Lindroth, 1949, 1953 *in* Dufrière, 1992).

Les facteurs édaphiques sont en relation étroite les uns avec les autres et il est difficile de distinguer ceux responsables de la distribution ; de plus, ils conditionnent les caractéristiques microclimatiques des habitats lesquelles semblent jouer un rôle fondamental dans les distributions (Thiele, 1977).

#### 1.2.5.3 Autres facteurs

Certains Carabidae ont, comme vu auparavant, un régime alimentaire phytophage ; dans ce cas, il y a donc une relation directe entre ces individus et la présence de certaines espèces végétales comme par exemple les graminées (Baguette, 1992). Thiele (1977) admet qu'il existe une bonne corrélation entre les alliances végétales et les groupes de carabides. Pour de nombreux auteurs (Baker et Dunning, 1977 ; Pollet et Desender, 1987 ; Loreau, 1983, 1984), la disponibilité en nourriture semble être un facteur clé pour certaines espèces. Ce facteur est lié à la productivité du site mais aussi aux facteurs microclimatiques (Dufrière, 1992).

Les inondations peuvent, en un espace de temps très court, transformer totalement le substrat, provoquer la disparition d'un certain nombre d'espèces parfois au profit d'autres espèces (Baufays, 1994). L'étude européenne (cf. 1.2.4) montre également que la répartition des Carabes est influencée par les perturbations comme les inondations.

Les conditions climatiques, comme la vitesse du vent et la température, sont des facteurs écologiques qui conditionnent la dispersion aérienne (Dufrière, 1992).

Pour Luff (1996), les carabides répondent différemment aux facteurs environnementaux, en particulier à l'humidité du sol, aussi bien qu'aux perturbations, aux types de végétation et à l'altitude.

Il est très probable que l'intervention du climat régional, de la structure de la végétation, de l'humidité du sol et de sa texture soient à l'origine de microclimats particuliers déterminant les distributions locales. Même au sein d'une station qui semble homogène, ces facteurs sont à l'origine d'une hétérogénéité.

Il est donc difficile de dire quel est le facteur qui détermine la distribution des Carabidae. Les facteurs microclimatiques interagissent et la variabilité de ces derniers forme des habitats particuliers. Ceux-ci auront chacun une population typique.

### 1.2.6 Facteurs biotiques

Pour Baguette (1992), la distribution d'un organisme ne dépend pas que des conditions locales, mais est aussi fonction des relations de prédation, parasitisme et compétition interspécifique.

D'après Loreau (1990 *in* Dufrière, 1992), seules les espèces dominantes seraient soumises à des pressions de compétition. Les autres espèces seraient influencées par d'autres facteurs comme la prédation et la variabilité temporelle des facteurs environnementaux.

Thiele (1977) fait référence à une prédation mutuelle entre les larves, qu'elles soient de la même espèce ou non. Il dit aussi que la présence/absence d'une espèce n'est pas obligatoirement due à la prédation entre espèces. Cela peut être dû au fait que les espèces n'ont pas les mêmes restrictions microclimatiques.

### 1.2.7 Répartition et biodiversité en Belgique

La répartition géographique d'une espèce animale peut être répertoriées sur une carte. Pour les carabes, le système de réseau UTM (Universal Transverse Mercator) est utilisé (Desender, 1986 a-d). A l'échelle de la Belgique, le réseau est formé de carrés de 10 km de côté. Chaque carré est numéroté, la grille belge en compte 402. Le nombre d'espèces évolue régulièrement grâce aux explorations intensives effectuées sur notre territoire (Baguette, 1992). Les espèces réparties sur cette grille sont au nombre de 379 (Desender, 1989).

Le réseau UTM est divisé, par Desender, en trois catégories selon la présence/absence des espèces :

- lieu où l'espèce est présente avant 1950,
- lieu où l'espèce est présente après 1950,
- lieu où l'espèce est présente avant et après 1950.

La répartition des carabes de Belgique s'est faite par l'analyse des différents traits d'histoire naturelle. Desender compare l'état alaire, la taille, le nombre d'individus observés, l'étendue de la distribution, le cycle annuel, la dynamique de la distribution et l'habitat préféré de chaque espèce (Dufrière, 1992).

Lors de diverses études, plusieurs espèces de carabes ont pu être recensées sur notre territoire. Ainsi, 88 espèces ont été recensées lors d'une étude menée, en 1982, sur des cours

d'eau situés en Flandre (Desender et *al.*, 1984). La période de piégeage s'est étalée sur une année complète. Les peuplements de carabes ont également été étudiés par Baufays (1994) en haute et basse Meuse. Il a recensé pas moins de 88 espèces de carabes, quelques-unes d'entre elles pouvant être qualifiées de rares comme par exemple *Agonum livens*, *Bembidion elongatum* et *Pterostichus gracilis*.

Une première constatation peut être faite quant à la présence d'espèces typiques dans les milieux stables et instables. Les milieux stables ont été définis par Den Boer comme étant les milieux naturels, c'est-à-dire les forêts, les landes, les tourbières, les dunes. Pour cet auteur, un habitat instable est un milieu où la reproduction est impossible au moins une saison durant une décennie. Les perturbations les plus fréquemment observées dans ces milieux sont les inondations. Les espèces à stratégie K domineraient dans les habitats stables où les interactions interspécifiques sont fréquentes, alors que les espèces à stratégie r seraient plus caractéristiques des habitats instables (Dufrêne, 1992).

Vu la morphologie alaire des carabes (cf. 1.2.1), leur pouvoir de dispersion sera différent suivant que l'espèce est macroptère ou brachyptère. En effet, les espèces macroptères peuvent parcourir des distances plus importantes que les espèces brachyptères, condamnées à marcher. La même remarque est valable pour les individus macroptères et brachyptères des espèces di-polymorphiques (Baguette, 1992). Certaines espèces sont donc répandues dans différents habitats alors que d'autres sont caractéristiques d'un milieu typique, ce sont les espèces sténotopes. Ces dernières peuvent être indicatrices d'un habitat particulier (Baufays, 1994 ; Dufrêne, 1992).

La dynamique des populations des carabes a été étudiée dans notre pays, certaines espèces sont en expansion alors que d'autres sont en nette régression. Selon Baguette et Dufrêne (1989), les espèces en expansion sont celles qui ont la plus grande valeur écologique, autrement dit les espèces eurytopes. Ce sont les carabes di-polymorphiques, qui sont abondants et répandus. Du fait de leur état alaire, ils peuvent s'adapter à toutes les situations et ont donc accès à une large amplitude d'habitats. Par contre, d'autres espèces sont en régression, celles-ci étant plus exigeantes au niveau des conditions environnementales.

Baguette et Dufrêne (1989) concluent, tout d'abord, que les espèces en expansion sont celles qui peuvent s'adapter à plusieurs types d'habitats. De plus, la régression des espèces rivulaires et la disparition des espèces xérophiles seraient dues aux activités humaines. Au cours des dernières décennies, les espèces les plus communes sont devenues encore plus abondantes alors que les espèces les plus rares sont devenues encore plus rares. Ce changement dans la faune des carabes peut être interprété comme résultant d'une perte des habitats ouverts naturels et semi-naturels, spécialement depuis 1950, et mettant en cause l'intensification de l'agriculture (Desender et *al.* 1994).

En conclusion, la présence des carabes dans les différents habitats évolue continuellement, certaines espèces étant très répandues alors que d'autres sont réduites à quelques habitats. Afin de maintenir une diversité dans les espèces de notre pays, il serait nécessaire d'instaurer des programmes de gestion et de restauration, comme par exemple dans les milieux rivulaires où une régression des espèces est observée. Celle-ci est donc causée par l'intensification de l'agriculture et toutes autres activités anthropiques.

### 1.2.8 Carabes caractéristiques des milieux rivulaires

Les berges représentent un grand nombre de microhabitats différents, que ce soit au niveau du microclimat ou au niveau des conditions édaphiques (Andersen, 1995). Les milieux rivulaires sont considérés comme instables vu les fréquentes inondations observées ; la Lesse est un cours d'eau qui envahit chaque année les terrains environnants. Ce phénomène ainsi que le piétinement par le bétail et les cultures intensives ont des impacts directs sur les Coléoptères rivulaires. Ils engendrent des perturbations au niveau des habitats des larves et une réduction des sites d'hivernation situés sur les berges (Lott *in* Lott, 1996).

Pour la plupart, les espèces rivulaires sténotopes sont toutes macroptères (Desender, 1989). Plusieurs d'entre elles peuvent être caractéristiques des milieux rivulaires. Les *Bembidion*, espèces de tailles très petites (entre 3.5 et 6 mm), sont très abondantes et occupent une grande partie de ces biotopes (Andersen 1995 ; Desender, 1989).

Nous reprenons ci-dessous quelques espèces du genre *Bembidion* caractéristiques de ces milieux (Desender, 1986 b) :

- *B. properans* est eurytope, il est présent dans les prairies humides, moins abondant dans les milieux rivulaires,
- *B. elongatum* est sténotope et typique des berges,
- *B. tetracolum* préfère les habitats rivulaires eutrophes, il est associé aux détritiques et à la végétation,
- *B. astocoeruleum*, *B. decorum* et *B. fluviatile* sont les espèces sténotopes et confinées aux berges avec, selon l'espèce, une préférence pour un substrat plus ou moins grossier.

Beaucoup de ces espèces montrent une répartition géographique restreinte dans notre pays : les individus sont limités aux berges ou aux rives de cours d'eau relativement peu perturbés (Desender, 1989).

Outre les *Bembidion*, les écosystèmes rivulaires hébergent d'autres espèces typiques de ces milieux : les *Pterostichus*, les *Agonum* (Desender, 1986 c) :

- *Agonum pallipes*, *A. scitulum*, *A. micans*, *A. viduum*, *A. moestum* sont liées aux milieux rivulaires eutrophes et aux berges,
- *Pterostichus vernalis*, *P. cupreus*, *P. strenuus*, *P. nigrita* sont eurytopes et caractéristiques de milieux humides.

D'autres espèces peuvent également être citées: *Asaphidion flavipes*, *A. pallipes*, *Badister sodalis*, *Elaphrus cupreus*, *E. riparius*, *Nebria brevicollis*, *Patrobus atrorufus*, *Stenolophus mixtus*, *S. teutonius*, *Trechus secalis*.

### **1.3. Le milieu étudié : la Lesse**

#### **1.3.1 Géographie et géologie**

Le réseau hydrographique de la Lesse (figure 1-15) est caractérisé par la présence de nombreuses rivières (Jacob et Paquay, 1992). La Lesse ainsi qu'une partie de ses tributaires prennent leur source dans le massif ardennais, à une altitude de 405 m et une pente générale de 3.7 % pour la Lesse. La Wimbe, le Hileau, le Biran et certains affluents du cours inférieur de la Lesse prennent leur source sur les contreforts du massif ardennais mais traversent rapidement les terrains de la Fagne-Famenne avant de confluer avec la Lesse inférieure. La Lesse, elle, parcourt 83 km avant de se jeter dans la Meuse (Evrard, 1996).

Après avoir débuté son cours en Ardenne formée de schistes ou de quartzites, la Lesse débouche dans les terrains famenniens. La Famenne est caractérisée par des roches calcaires et des dépressions schisteuses (Legrand, 1997). Vu la nature calcaire de ces roches, les cours d'eau disparaissent fréquemment avec également, la présence de nombreuses grottes comme celle de Han-sur-Lesse (Evrard, 1996). C'est aux sorties de ces grottes que la confluence entre la Lesse et la Lhomme a lieu. Après cela, la vallée change radicalement de paysage ; celui-ci est plus plat et est composé de prairies reposant sur un sous-sol famennien, c'est-à-dire formé de schistes tendres et de psammites. Le cours d'eau devient, à ce moment, plus sinueux (Legrand, 1997).

Le bassin versant de la Lesse occupe une superficie de 2740 km<sup>2</sup> et, comme pour tout cours d'eau, augmente de l'amont vers l'aval en passant de 301 km<sup>2</sup> à Daverdisse, à 474 km<sup>2</sup> en amont de la confluence Lesse-Lhomme, 893 km<sup>2</sup> pour Eprave et 1094 km<sup>2</sup> pour la région de Villers-sur-Lesse (Legrand, 1997).

Le substrat de la Lesse, facteur important pour la répartition des végétaux et des macroinvertébrés benthiques, est en général de type caillouteux (c'est-à-dire de 20 à 200 mm de diamètre). Bien sûr en zone lotique la fraction granulométrique est plus importante que dans les zones lentiques où on peut observer un envasement (Legrand, 1997).

#### **1.3.2 Biocénose de la Lesse**

Plusieurs paramètres vont caractériser un cours d'eau. La qualité d'une rivière peut être évaluée d'un point de vue biologique, chimique et physique. Vu l'intérêt que nous portons aux communautés d'organismes vivants, nous allons nous attarder sur les espèces, animales et végétales présentes sur l'ensemble du cours de la Lesse. Cela ne signifie pas pour autant que lors d'autres études les caractéristiques physiques et chimiques doivent être négligées. Jacquemin (1971) reprend quelques mesures physico-chimiques faites sur la Lesse.

Thill (1964) et Noirfalise (1966) ont recensé les principales espèces végétales présentes au niveau de la rivière. La végétation aquatique est caractérisée par des renoncules flottantes, *Ranunculus aquatilis*, en Ardenne et *Ranunculus fluitans* dans la région calcaire. Il y a également des algues et des mousses aquatiques. Les rives sont, elles, bordées d'iris jaunes (*Iris pseudacorus*), de baldingères (*Phalaris arundinacea*), de cypéracées (*Carex gracilis*, *Carex vesicaria*), et toute une série de grandes herbes. Au niveau forestier, les espèces les plus

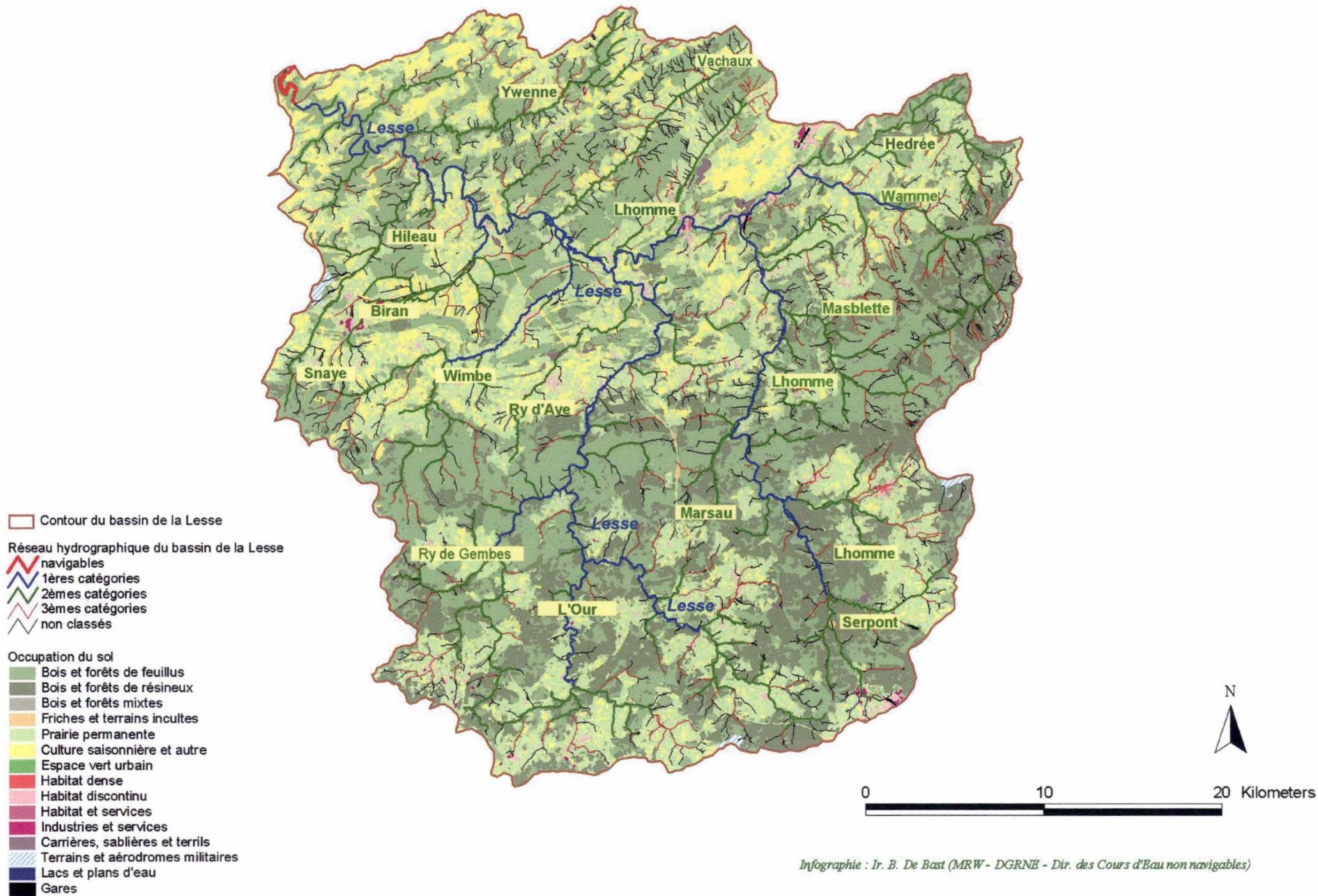


Figure 1-15: Réseau hydrographique du bassin de la Lesse, occupation du sol

fréquentes sont : les aulnes (*Aulus spp*), les cerisiers à grappes (*Prunus padus*), les saules (*Salix purpurea*, *Salix fragilis*, *Salix triandra*), les ormes diffus (*Ulmus effus*) (Legrand, 1997).

Une liste, non-exhaustive, contenant les animaux peut être dressée en distinguant d'une part les organismes terrestres et d'autre part, les organismes aquatiques.

Dans les mammifères, les espèces les plus fréquemment rencontrées sont les rats musqués (*Ondatra zibethicus*) (Legrand, 1997), les musaraignes (*Sorex spp*).

Concernant les oiseaux, Jacob et Paquay (1992) ont publié un ouvrage qui contient les espèces rencontrées sur la Lesse et la Lomme. Le martin-pêcheur (*Alcedo atthis*), la bergeronnette des ruisseaux (*Motacilla cinerea*), l'hirondelle de rivage (*Riparia riparia*) sont quelques espèces recensées dans ces régions (Jacob et Paquay, 1992).

La faune piscicole est abondante puisqu'elle ne compte pas moins de 15 espèces : le chabot (*Cottus gobio*), l'hotu (*Chondrostoma nasus*), le chevaine (*Leuciscus cephalus*), le barbeau (*Barbus barbus*), l'ablette (*Alburnus alburnus*), la truite fario (*Salmo fario*), la vandoise (*Leuciscus leuciscus*) sont les principaux habitants de la rivière (Legrand, 1997).

Un dernier groupe, et non des moindres, les macro-invertébrés, est abondant sur la Lesse. Cette liste fut réalisée par Jacquemin en 1971. Nous citons ici quelques ordres d'invertébrés avec pour chacun, des exemples d'espèces présentes dans l'écosystème : les coléoptères (*Helmis maugei*, *Gyrinus sp*), les diptères (*Simuliidae*, *Chironomidae*), les trichoptères (*Rhyacophila dorsalis*, *Sericostoma personatum*, *Silo pallipes*), les mégaloptères (*Sialis lutaria*), les plécoptères (*Thaeniopteryx sp.*, *Leuctra geniculata*), les éphéméroptères (*Paraleptophlebia submarginata*, *Caenis stephens*, *Ephemera danica*, *Epeorus easton*), les annélidés (*Piscicola geometra*, *Glossophina complatana*, *Erpobdella octoculata*) (Legrand, 1997).

## II. Matériel et méthodes

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Plan de travail

Nous présentons la démarche suivie tout au long de ce mémoire. Par la suite, chaque étape sera détaillée, la méthode de piégeage, les relevés, la mesure des différents paramètres pour caractériser les stations et les méthodes statistiques utiles pour analyser nos données.

- 1) En premier lieu, il s'agit d'élaborer un protocole.
  - a) Il nous faut d'abord choisir différentes berges parmi les naturelles (berges n'ayant jamais subi de modifications) et les aménagées. Nous les classons en trois catégories à savoir : les berges naturelles, les berges aménagées par des techniques minérales et les berges aménagées par le génie végétal. Chacune des deux dernières catégories reprend plusieurs types de techniques ; par exemple, pour le génie végétal, nous regroupons les berges aménagées à l'aide de plantations, de caissons, de boutures,... Les traitements statistiques nous permettront d'analyser les nombreuses données recueillies. Pour ce faire, cinq réplicats sont choisis pour chaque type de berges (cf.2.4).
  - b) Après avoir parcouru la littérature, nous sommes en mesure de sélectionner les facteurs susceptibles d'influencer la répartition des Carabidae : distance eau-pièges, structure de la végétation, granulométrie, pH du sol, température, précipitation.
  - c) Le piège à fosse est la méthode d'échantillonnage retenue. Ce piège convient parfaitement aux divers milieux prospectés. Les raisons pour lesquelles nous optons pour ce piège sont développées dans le matériel et méthodes (cf.2.2.1)
- 2) Les relevés des pièges ainsi que la mesure des différents paramètres constituent l'étape suivante de ce travail. Nous débutons nos piégeages à la mi-mars et ils se termineront à la fin mai (24/05) ; nous relevons les pièges tous les quinze jours. La distance eau/pièges est mesurée lors de chacune de nos visites. Les échantillons de sol pour préciser le pH de chaque station seront prélevés au dernier relevé. Les espèces végétales sont recensées, à chaque station, sous forme d'un tableau phytosociologique.
- 3) Le plus gros du travail est de trier l'ensemble des animaux récoltés et de déterminer chaque individu (Carabidae) jusqu'à l'espèce. Cette étape est supervisée par le Professeur Ph. Lebrun (U.C.L.) et par Monsieur S. Vanacker (Instituut voor Natuurbehoud, Bruxelles).
- 4) Le traitement des données est effectué à l'aide de différentes méthodes statistiques : les méthodes de groupement (coefficient de similarité) et les méthodes d'ordination sont les deux types de traitements que nous effectuerons .

Après avoir développé notre plan de travail, il est utile de rappeler les objectifs de ce mémoire :

- 1) étudier de manière précise la biodiversité des carabes rivulaires sur quelques stations de la Lesse,
- 2) mettre en évidence l'intérêt d'un groupe faunistique, ici les carabes, comme bioindicateurs d'une qualité écologique des berges,
- 3) analyser quelques situations particulières et cela par les différents aménagements étudiés.

## **2.2. Description des biocénoses**

Afin de mener à bien notre étude, la méthode d'échantillonnage utilisée doit être adaptée à la morphologie des sites, aux facteurs étudiés comme l'influence du niveau d'eau par rapport à la disposition des sites, à la végétation, à la fréquentation des stations sans oublier la fréquence des relevés.

### **2.2.1 Méthode de piégeage et relevés**

L'efficacité des prises dépend du type de piège, de sa taille, du type de conservateur (formol), du nombre de pièges, de la distance entre ces pièges, de l'arrangement spatial et de l'intervalle de temps entre les relevés (Andersen, 1995). Les objectifs étant posés, la méthode de piégeage retenue est celle du **piège à fosse** ( figure 2-1).

Le dispositif consiste en un pot cylindrique en plastique, de 8 cm de diamètre et 11 cm de profondeur. Un liquide fixateur (formol 10 %) est placé dans ce récipient. Afin de diminuer la tension superficielle et donc d'empêcher la sortie des carabes de petites tailles, fréquents en milieux rivulaires, un détergent est ajouté dans le pot. Un tube de 12 cm de hauteur, type gouttière, est placé dans le sol pour faciliter la manipulation des pièges.



**Figure 2-1 : Piège à fosse**

Comme tous les pièges, les "pitfall traps" ont leurs avantages et leurs inconvénients. Les désagréments engendrés par ce type de piège sont : la dépendance aux conditions climatiques et autres perturbations, le temps consacré à leur pose. Néanmoins, les pièges sont opérationnels de jour comme de nuit et pour de longues périodes. Les habitats couverts par ce dispositif sont très diversifiés et la facilité avec laquelle les sites peuvent être comparés entre eux sont les intérêts majeurs de ce genre de piège (Lott et Eyre, 1996). Le vandalisme, la végétation qui peut venir encombrer les pièges sont les inconvénients de cette technique de piégeage. La méthode des pièges à fosse est la plus largement utilisée dans les études écologiques, les études faunistiques, l'estimation de populations, les études de l'activité alimentaire des carabes (Andersen, 1995).

Les relevés sont à effectuer toutes les deux semaines si les sites sont exposés à une forte fréquentation. Au contraire, un intervalle de quatre semaines est acceptable pour des stations peu exposées (Luff, 1996). La situation de nos sites ainsi que les conditions climatiques nous ont

amené à réaliser des relevés toutes les deux semaines. Il est préférable d'effectuer des visites plus régulières que de prendre le risque de perdre des données. Selon Luff (1996), le contenu des pièges peut être mis en commun lorsque l'expérience veut mettre en évidence la présence de certaines espèces. Ici, nous prenons le soin de séparer chaque récipient afin de préciser la répartition des carabes aux différents niveaux de la berge.

Notre dispositif est placé sur chaque site à la mi-mars (13/03 et 14/03) et enlevé à la mi-juin (21/06). Il est préférable d'installer les pièges pour de longues périodes (Baars *in* Andersen, 1995) mais sur les berges, la fluctuation permanente du niveau d'eau restreint l'époque de capture (Andersen, 1995). La Lesse est un cours d'eau où les perturbations engendrées par les inondations sont très fréquentes ; la perte de quelques pièges à la fin du mois de mars nous le confirme. Pour implanter nos pièges, nous utilisons une tarière pour effectuer les cavités dans le sol : celle-ci permet de réaliser des trous en minimisant les perturbations du milieu environnant auxquelles les carabes seraient sensibles. Comme la figure nous le montre, le piège est placé dans le sol de telle manière à ne pas être un obstacle à la progression du coléoptère vers le récipient.

Le nombre de pièges à placer pour obtenir un échantillonnage convenable est essentiel. Desender et Pollet (1988) ont estimé que ce nombre devait être supérieur à 6 et qu'il pouvait aller jusqu'à 30. Luff (1996) recommande, sur des sites de petites tailles, des grilles de 9 pièges (3 x 3). Nous en placerons 9 afin de capturer les espèces dominantes. La disposition en cercle est fréquemment utilisée dans les cultures et autres terrains plus ou moins plats. Dans notre cas, le système de grilles (3 x 3) est préféré ; pour certaines stations où le niveau d'eau est fort haut, seuls six pièges sont placés. L'arrangement spatial - grille - (figure 2-2) permet d'étudier un éventuel gradient transversal (du plan d'eau vers le sommet du talus), c'est-à-dire l'influence du niveau d'eau sur la présence des carabes à un endroit donné. La distance est de 1.5 m entre chaque ligne et 2 m entre chaque piège. Vu la configuration des sites, la pente, et la petite superficie des stations, il serait difficile d'augmenter ces intervalles afin de diminuer les effets de bords.

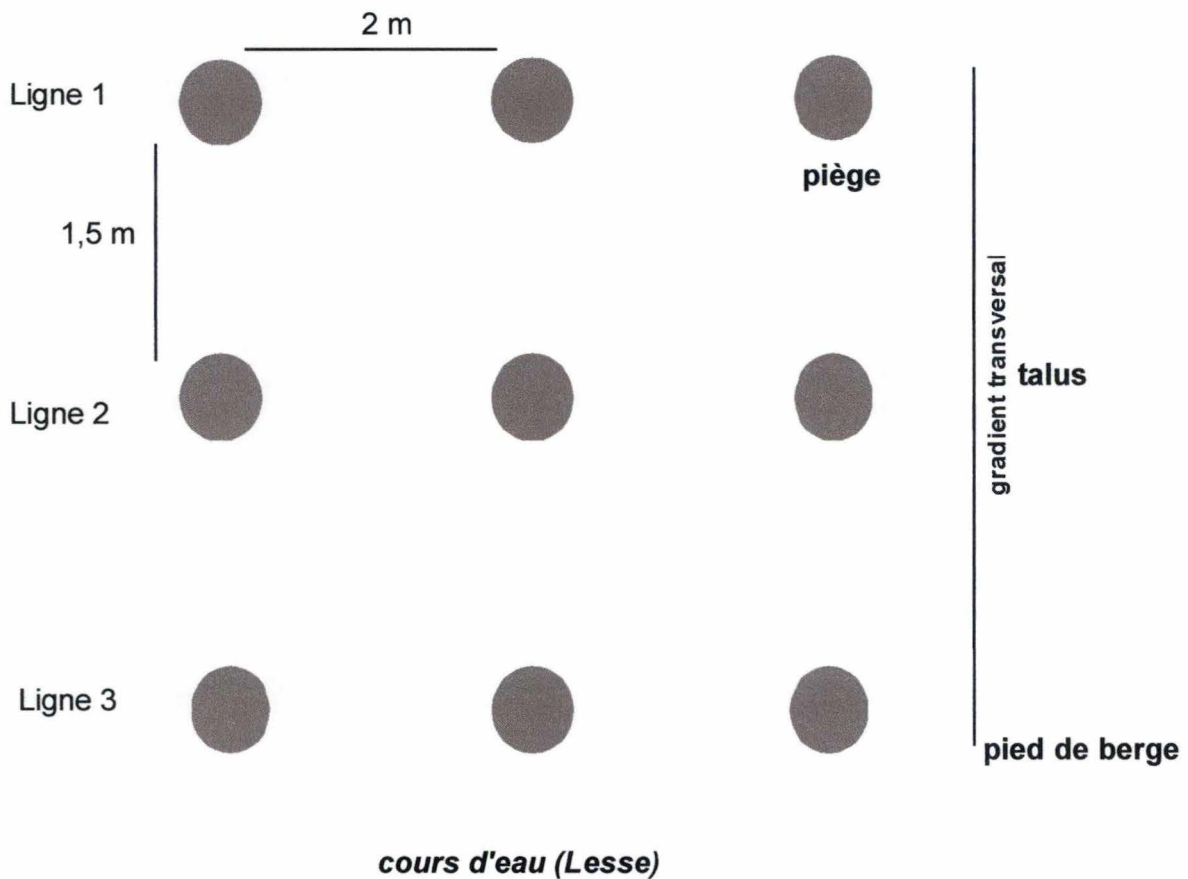


Figure 2-2 : Arrangement spatial des "pitfall traps"

### 2.2.2 Détermination

L'identification des Carabes est réalisée grâce à de quelques clés : Lindroth (1985), Lameere (1900). L'aide du Professeur Ph. Lebrun (U.C.L.) et Monsieur S. Vanacker (I.N.B) nous fut très utile pour nous guider au départ et pour vérifier nos déterminations.

Dans un premier temps, les échantillons sont stockés dans le formol du récipient initial ; par la suite, après le tri, l'alcool (70 %) est utilisé pour conserver les carabes et autres organismes piégés (arachnides, hémiptères, ...).

## **2.3 Facteurs écologiques mesurés**

### **2.3.1 Relevés phytosociologiques**

La végétation peut être un facteur intéressant. En effet, il existe une relation entre certains végétaux (aulnes, saules, graminées) et certaines espèces de Carabes (cf. 1.2.4.3).

Des relevés des principales espèces végétales sont réalisés dans les différentes stations avec l'aide de Monsieur S. Rouxhet (GIREA, Ulg). Les premiers recensements sont réalisés à la fin du mois d'avril (28/04) sur les différentes stations de Furfooz. Pour beaucoup d'espèces de graminées, il était encore trop tôt pour les déterminer ; un deuxième relevé est donc fait à la fin du mois de juin (21/06). Pour les sites de Villers-sur-Lesse, Lessive et Hour, nous réalisons le recensement des espèces présentes à la fin du mois de juin (21/06).

Ces relevés de végétation sont basés sur le système de Braun-Blanquet (1932), faisant appel à des coefficients d'abondance-dominance des espèces recensées sur une surface donnée.

En premier lieu, il nous faut délimiter la superficie dans laquelle nous travaillerons, c'est-à-dire la longueur correspondant à une ligne de pièges (6 m) à laquelle nous ajoutons 2 m de chaque côté et la largeur correspondant aux lignes de pièges. Les surfaces des stations considérées sont donc plus ou moins équivalentes entre elles. De plus, une fois qu'une certaine surface est atteinte (+/- 32 m<sup>2</sup>), la probabilité de voir apparaître de nouvelles espèces diminue (effet plateau).

Après avoir déterminé les espèces présentes, nous attribuons un coefficient de recouvrement pour chaque espèce, dans chaque station.

Les valeurs sont réparties de la manière suivante :

5 = nombre d'individus quelconques, entre 75 % et 100 % de recouvrement de la superficie du relevé,

4 = nombre d'individus quelconques, entre 50 et 75 % de recouvrement de la superficie du relevé,

3 = nombre d'individus quelconques, entre 25 et 50 % de recouvrement de la superficie du relevé,

2 = nombre d'individus quelconques, entre 5 % et 25 % de recouvrement de la superficie du relevé,

1 = individus peu nombreux, entre 1 et 5 % de recouvrement de la superficie du relevé,

+ = individus peu nombreux, avec un plan présent, < à 1 %.

La végétation présente à chaque station est reprise en annexe 3 avec les coefficients de recouvrement ; nous avons classé les végétaux selon le type d'écologie des espèces comme par exemple les espèces des zones humides et bords des eaux, les espèces nitrophiles et rudérales, les espèces de bois frais et zones humides. Les différentes strates sont également signalées : la strate arbustive, la strate herbacée et le pied de berge.

Pour chaque station, nous établissons le pourcentage de recouvrement de la strate arbustive ainsi que la richesse spécifique sur l'ensemble de la station.

### 2.3.2 Luminosité, gradient trophique et gradient hydrique

Certaines espèces végétales possèdent des propriétés indicatrices : luminosité, trophie et humidité. Elles peuvent donc être utilisées afin de réaliser un diagnostic stationnel. Dans notre cas, seules les espèces de la strate herbacée serviront à l'établissement de ces différents gradients. De plus, nous ne tenons pas compte des espèces représentées par un seul plan (marquée + dans l'indice de Braun-Blanquet). La Flore forestière française est notre ouvrage de référence (Dumé *et al.*, 1989) ; chaque espèce s'y voit attribuer trois qualificatifs selon ses préférences en terme de lumière, de richesse du sol (trophie) et d'humidité. Nous avons développé un indice qui attribue à chaque station une valeur sur base de la moyenne des valeurs indicatrices de chaque espèce pondérée selon son abondance.

Pour le gradient de luminosité, l'échelle s'étend de 1 (espèce d'ombre) à 5 (espèce héliophile) (tableau 2-1). Le gradient d'humidité vaudra 1 pour une espèce xérophile et 7 pour une espèce hygrophile (tableau 2-2). Quant au degré trophique (tableau 2-3), les indices vont de 1 (espèce calcaricole) jusqu'à 13 (espèce hyperacidiphile).

**Tableau 2-1 : Echelle du degré de luminosité**

LUMINOSITE	indice
ombre	1
ombre à demi-ombre	2
demi-ombre	3
demi-ombre à héliophile	4
héliophile	5

**Tableau 2-2 : Echelle du degré hydrique**

HUMIDITE	indice
sp. xérophile	1
sp. mésoxérophile	2
sp. mésophile	3
sp. mésohygrocline	4
sp. hygrocline	5
sp. mésohygrophile	6
sp. hygrophile	7

**Tableau 2-3: Echelle du degré trophique**

Degré trophique	indice
sp. calcaricole	1
sp. calcicole	2
sp. neutrocalcicole	3
sp. neutrophile	4
sp. mésoneutrophile	5
sp. neutroacidiline	6
sp. acidiline	7
sp. mésoacidiphile	8
sp. faiblement acidiphile	9
sp. acidiphile	10
sp. très acidiphile	11
sp. hyper-acidiphile	12-13

### 2.3.3 Facteurs pédologiques

Nous choisissons de mesurer le pH du sol (cf.1.2.4.1) pour certaines stations. Nous aurions pu étudier la relation existant entre l'humidité du sol (cf.1.2.4.2) et la répartition des carabes ; cette mesure étant trop ponctuelle, variant tout au long de la journée, nous préférons ne tenir compte que des deux premiers facteurs.

Le pH est mesuré à l'aide d'un ph-mètre classique. Avant d'effectuer la mesure, l'échantillon de sol est dilué dans de l'eau distillée.

### 2.3.4 Hauteur d'eau

Il est intéressant d'étudier l'influence du cours d'eau sur la répartition des populations de Carabidae. L'installation des pièges s'est faite lors d'une période où le niveau d'eau était fort élevé, quelques inondations ont d'ailleurs encore été observées une ou deux semaines après la pose des pièges.

Pour déterminer l'éventuel gradient transversal responsable de la présence et de la répartition des insectes coléoptères, nous notons la distance entre le niveau du plan d'eau et les pièges. Pour ce faire, nous utilisons le décimètre ; la ligne du milieu est prise comme référence. Ainsi, nous pouvons observer si le niveau d'eau influence la présence et la répartition des carabes.

## 2.4. Description des stations

L'objectif premier étant d'instaurer un suivi des berges aménagées par des techniques végétales, il nous faut prendre plusieurs stations sur lesquelles divers aménagements sont effectués. Les berges sont subdivisées de la manière suivante : les berges naturelles (berges de références), les berges aménagées par des techniques minérales et les berges où le génie végétal domine. Pour chaque type de berge, les réplicats sont aux nombres de cinq.

Le choix de la Lesse ne s'est pas fait au hasard puisque les berges de cette rivière comptent de nombreux aménagements expérimentaux, situés à plus ou moins courte distance les uns des autres (figure 2-3) ; de plus, un mémoire a déjà été effectué dans deux des 4 stations, à savoir Villers-sur-Lesse et Furfooz (Legrand, 1997).

En ce qui concerne les berges naturelles, la difficulté est de choisir des berges homogènes au niveau de la végétation et au niveau du substrat.

La description de chaque station est accompagnée d'un schéma descriptif qui reprend le profil de la berge, la répartition sommaire de la végétation ainsi que la disposition des pièges à fosse. La légende se trouve en annexe 4. Chaque station se voit attribuer un numéro, celle se trouvant la plus en amont de chaque site hérite toujours de la première lettre de l'alphabet (exemple : Hou A, Hou B et Hou C). Afin de synthétiser l'information concernant chaque station, le tableau 2-4 reprend les 15 stations, leurs aménagements, le nombre de pièges placés.

**Tableau 2-4 : 15 stations échantillonnées, leur code, le type de milieu basé sur le recouvrement de la strate arbustive (ouvert, semi-fermé et fermé), l'aménagement effectué sur la berge et le nombre de pièges placés sur les berges**

Station	Code	Milieu	Aménagement	Nb de piège
Lessive	L	ouvert	Tech. minérale	6
Villers-sur-Lesse A	V A	ouvert	Tech. végétale	9
Villers-sur-Lesse B	V B	fermé	Tech. végétale	9
Villers-sur-Lesse C	V C	fermé	Tech. minérale	9
Hour A	H A	ouvert	Tech. minérale	6
Hour B	H B	ouvert	Berge naturelle	6
Hour C	H C	ouvert	Berge naturelle	9
Furfooz A	Fu A	ouvert	Tech. végétale	9
Furfooz B	Fu B	fermé	Tech. végétale	9
Furfooz C	Fu C	semi-fermé	Tech. minérale	9
Furfooz D	Fu D	fermé	Tech. minérale	6
Furfooz E	Fu E	ouvert	Berge naturelle	6
Furfooz F	Fu F	fermé	Tech. minérale	6
Furfooz G	Fu G	ouvert	Tech. végétale	9
Furfooz H	Fu H	ouvert	Berge naturelle	9

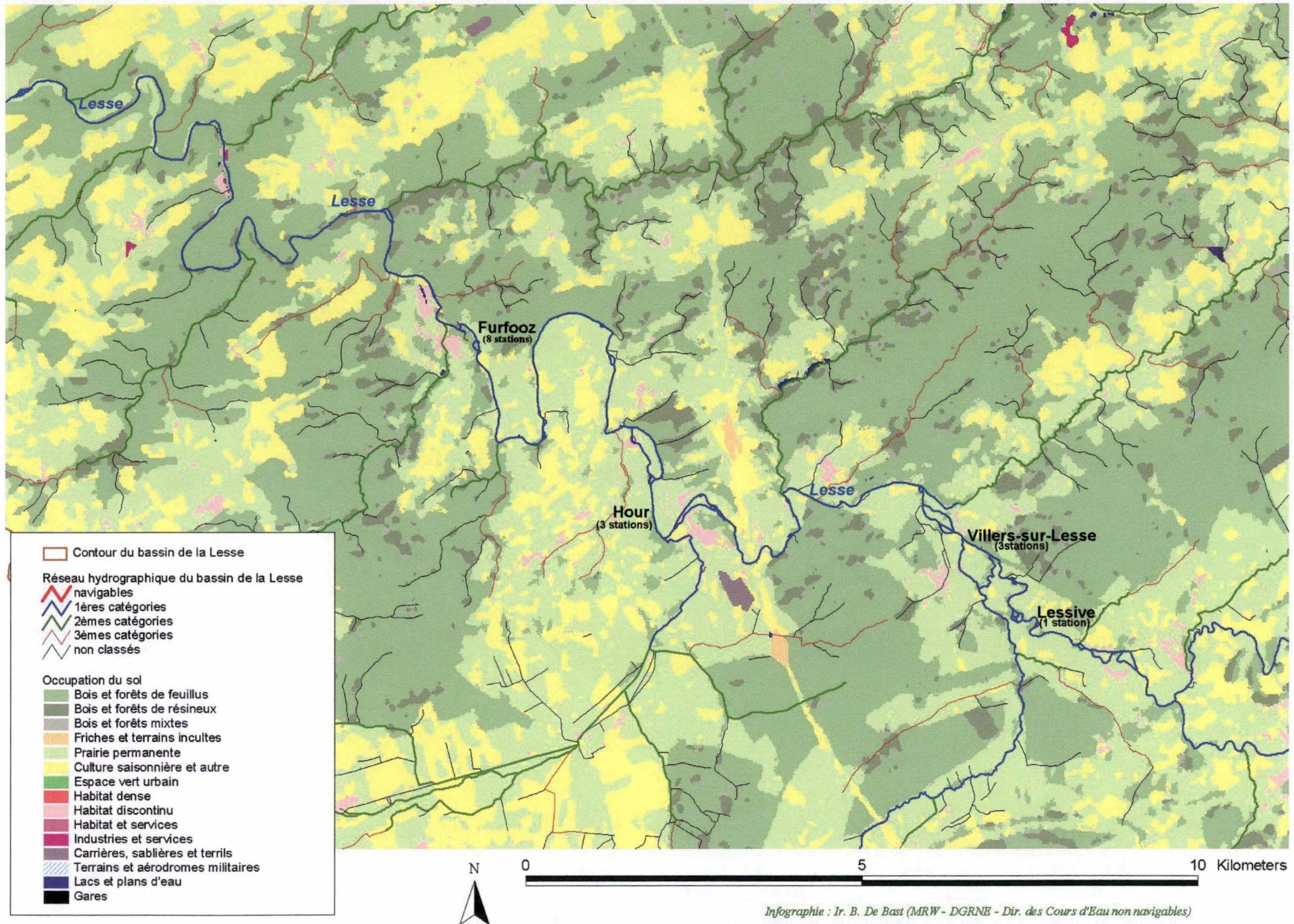


Figure 2-3: Situation des 4 sites échantillonnés sur la Lesse

### 2.4.1 Site de Lessive

Le village de Lessive se situe à une distance proche (2 km) de Villers-sur-Lesse, dans la partie famennienne du tracé de la Lesse. Les nombreuses pâtures en font un village ouvert. La station choisie se trouve à 1 km des trois stations de Villers.

#### 2.4.1.1 Station avec enrochements

Cette station, située en rive gauche, en bordure d'une pâture. Elle est composée d'enrochements, cet aménagement a été effectué en 1996. La pente de cette berge est de 29 % (figure 2-4). Les enrochements se trouvent en pied de berge, sur le talus. Le haut de la berge est composée d'espèces herbacées.

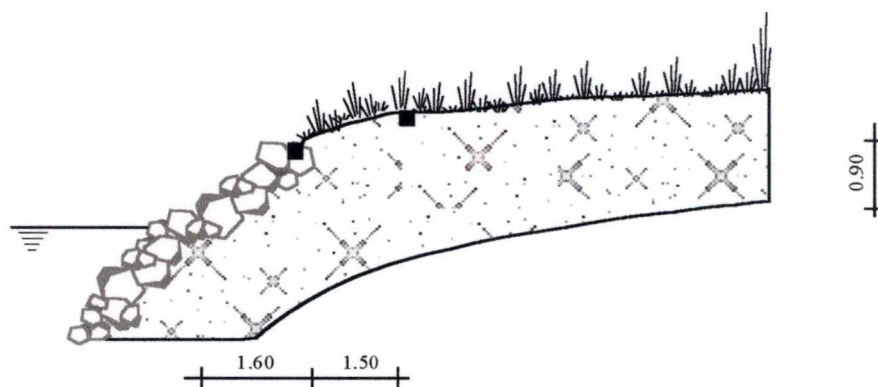


Figure 2-4 : Profil de berge de la station avec enrochements de Lessive

### 2.4.2 Site de Villers-sur-Lesse

Villers-sur-Lesse est un village de la Famenne situé à quelques kilomètres en aval de Han-sur-Lesse (à 9 km des grottes de Han) et à 44 km de Anseremme. Ce village montre un paysage très ouvert, formé essentiellement de zones cultivées et d'herbages. Nos stations sont situées à plus ou moins 1 km du village en direction de Lessive. Nous avons choisi trois stations : deux appartenant à la catégorie technique de génie végétal (V s/L B et V s/L C) et l'une, la plus en amont, appartenant aux berges naturelles (V s/L A).

#### 2.4.2.1 Station naturelle

Cette station (V s/L A) se trouve en rive gauche; à proximité d'un champ de maïs. Un léger replas en pied de berge est colonisé par quelques baldingères. L'espèce *Urtica dioica*, à caractère nitrophile, est dominante sur le talus et en bordure de la station (figure 2-5). La pente calculée est de 23 %.

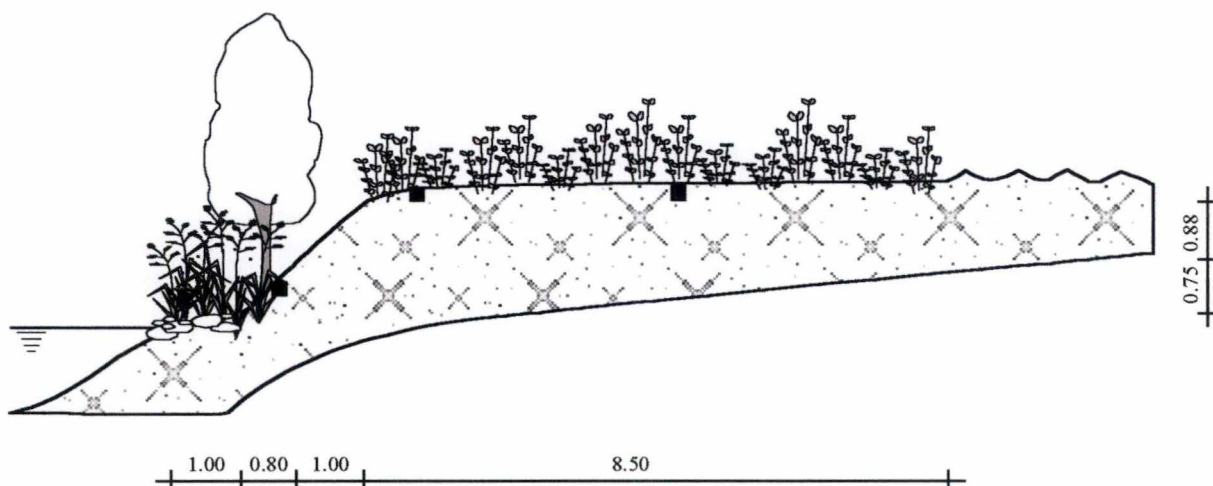


Figure 2-5 : Profil de berge de la station naturelle de Villers-sur-Lesse

#### 2.4.2.2 Stations plantées

Les deux stations (V s/L B, V s/L C), située en rive gauche, à proximité d'un champ de maïs,, appartiennent à la catégorie des techniques végétales. Ces aménagements ont été réalisés en 1996. Le profil des deux berges étant similaire (pente de 34 %), c'est pour cette raison que nous n'avons effectué qu'un seul croquis (figure 2-6).

La technique utilisée sur la première station, V s/L B, est celle des plantations, un géotextile ayant été posé afin de stabiliser la berge. Notons que le pied de berge compte des fascines, branches de saules tressées parallèles à la rive.

La deuxième station, V s/L C a été également aménagée avec des plantations ; le fascinage en épis est présent en pied de berge. Une ligne d'aulnes a été plantée devant ces épis et la technique de l'ensemencement a été utilisée. Pour stabiliser le talus de cette station, le géotextile a été posé et des plantations et l'ensemencement ont été effectués

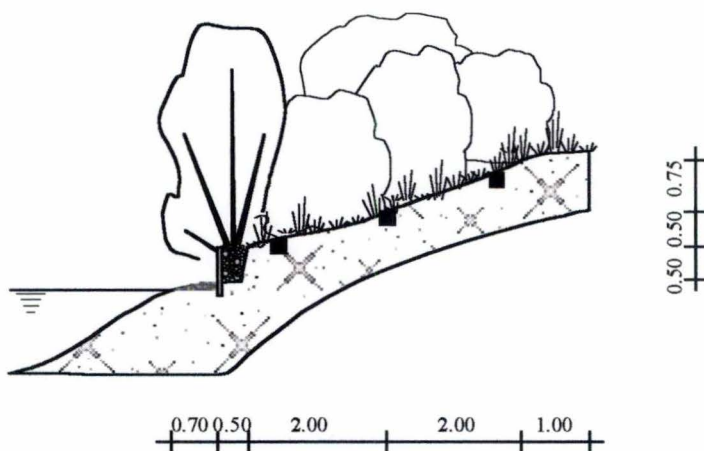


Figure 2-6 : Profil de berge des stations plantées de Villers-sur-Lesse

### 2.4.3 Site de Hour

Le village de Hour est en aval de Villers-sur-Lesse (à 8 km) et est situé à moins de 15 km d'Houyet. Les stations retenues sont au nombre de trois, établies dans un paysage très ouvert.

#### 2.4.3.1 Station avec ancien perré

Cette station (**Hou A**), est située en rive gauche, dans un camping (figure 2-7). Vu la faible fréquentation de celui-ci, seules quelques altérations ont été observées : piétinements et dépôts d'herbes de pelouses (pièges enlevés sur une ligne à deux reprises). L'aménagement est un ancien perré, quelques espèces de graminées ayant pu coloniser les espaces entre les pierres. Le haut du talus est une pelouse régulièrement entretenue. La pente de cette berge est très forte, 48 %.

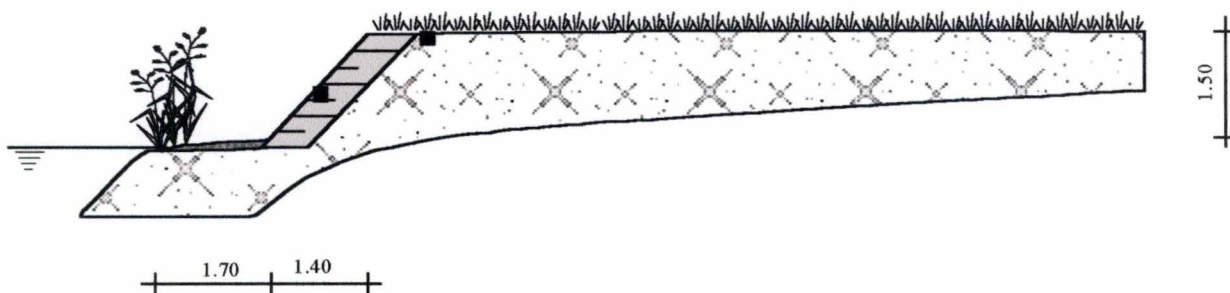


Figure 2-7 : Profil de berge de la station de Hour A

#### 2.4.3.2 Station avec enrochements

Cette station ouverte (**Hou B**), située en rive droite, en aval du pont, est particulière puisque ce sont des enrochements recouverts de terre (figure 2-8). Elle est située dans le même champ que la station Hou C, en rive droite également. Le bétail présent à la fin de notre période d'échantillonnage perturbe très peu cette station. La pente de la berge est de 20 %. Les saules sont présents en pied de berge, les espèces herbacées dominent le reste du talus de la berge.

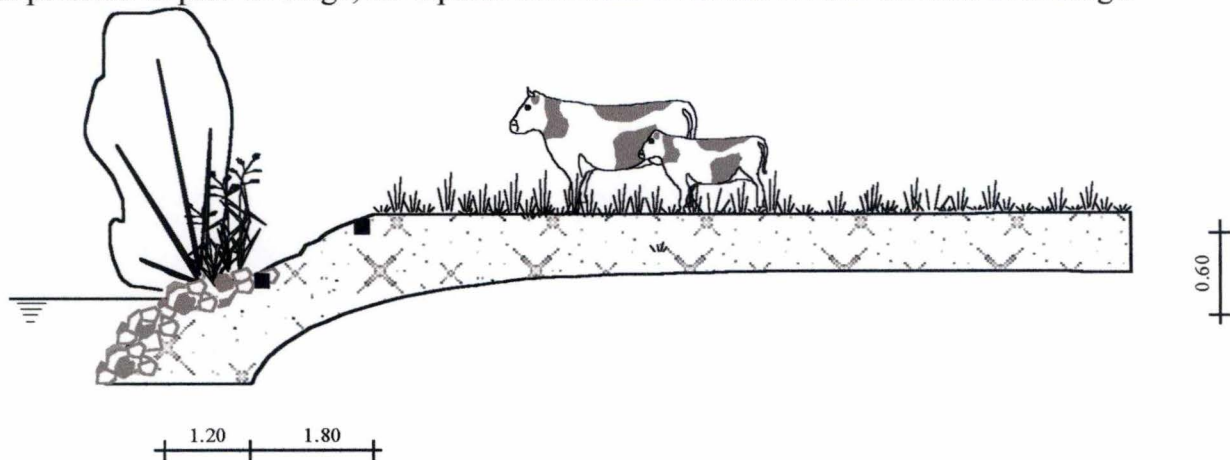


Figure 2-8 : Profil de berge de la station de Hour B

### 2.4.3.3 Station naturelle

La station (**Hou C**) se situe, en rive droite, dans un champ (Donation Royale) où le bétail est présent en fin de période d'échantillonnage (figure 2-9). Le relevé du 24/05 est influencé par la présence du bétail : l'abreuvoir est situé en contrebas de notre station. La pente fait 33 %. Le haut de la berge est caractérisé par la présence d'une ligne de peupliers, le talus étant composé essentiellement d'espèces herbacées.

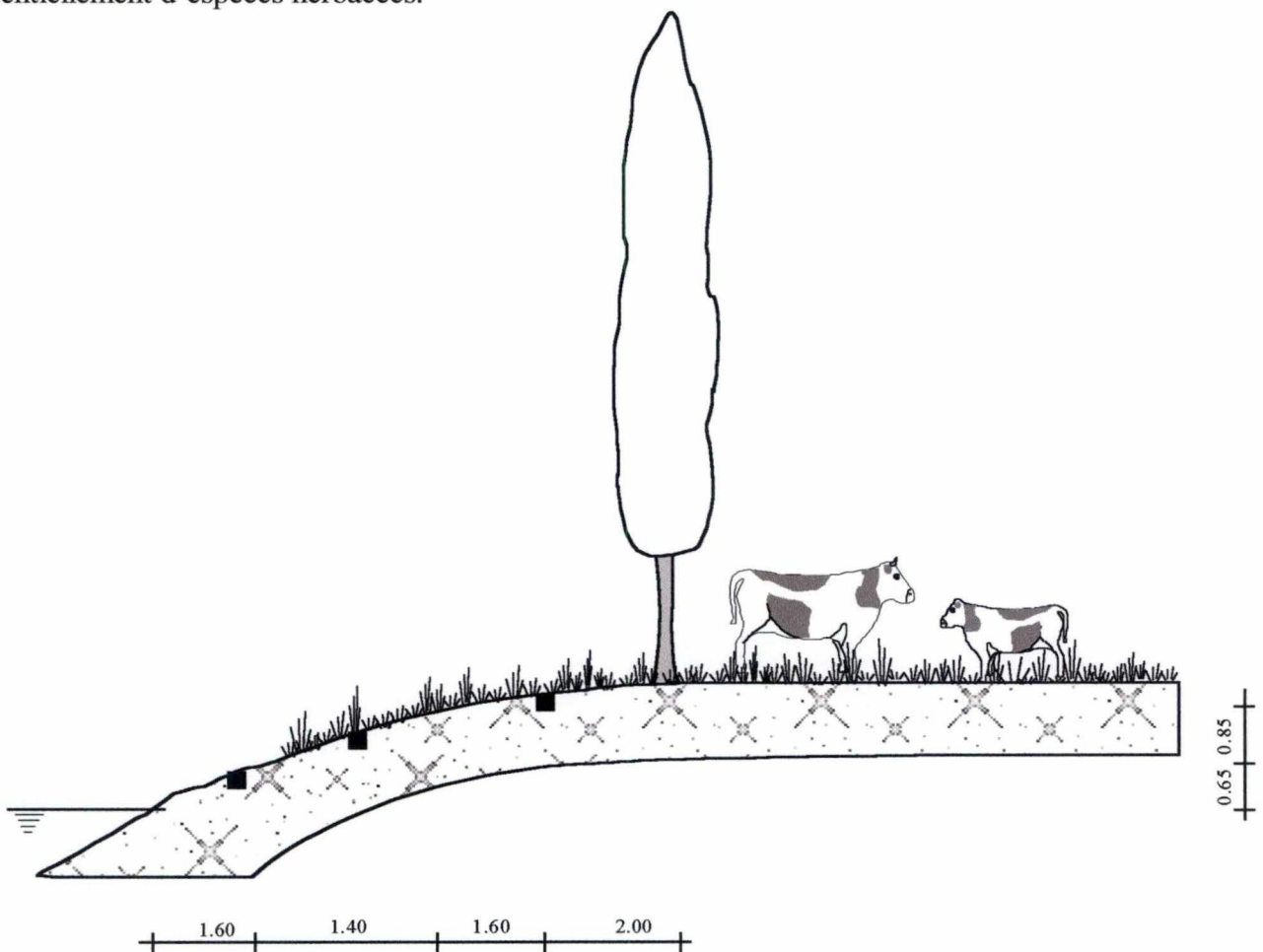


Figure 2-9 : Profil de berge de la station naturelle de Hour C

### 2.4.4 Site de Furfooz

Furfooz se trouve à 34 km en aval de Villers-sur-Lesse et à moins de 10 km de Anseremme. Cette région est bien connue pour son massif calcaire carbonifère (Dinantien) que la Lesse traverse du pont de Gendron-Celles jusqu'en amont d'Anseremme. Cette bande calcaire de Furfooz-Flamignoul, de direction est-ouest, est large de 3.5 km. Dans ce massif calcaire, la Lesse s'est taillée une vallée profonde de 100 m sur un parcours de 9 km en le traversant du sud-est au nord-ouest (Van de Poel *in* Legrand, 1997). Vu le grand nombre de possibilités offertes par ce site, nous comptons huit stations d'échantillonnage.

#### 2.4.4.1 Stations naturelles

La première station (**Fu A**) est située en rive droite, à proximité d'un chemin caillouteux. L'espèce *Urtica dioica* est très abondante dans la station (figure 2-10). La pente est qualifiée de forte (39 %).

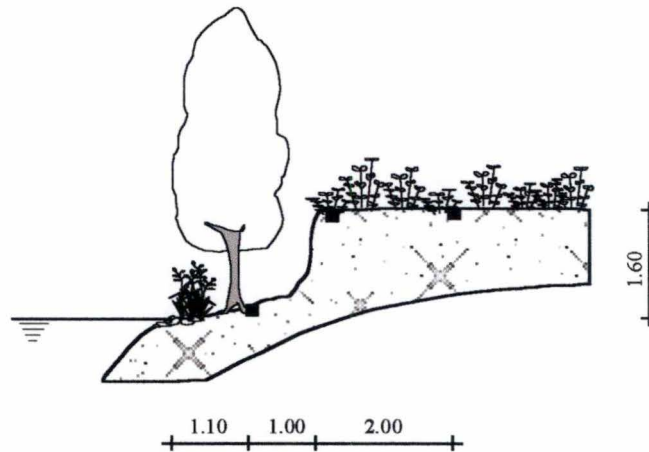


Figure 2-10 : Profil de berge de la station de Furfooz A

La seconde station naturelle, **Fu E**, se trouve en face du caisson, en rive droite, en bordure d'un chemin de terre. A nouveau, l'espèce *Urtica dioica* est très abondante. La pente de la berge est de 77 %, cela en fait la station la plus pentue.

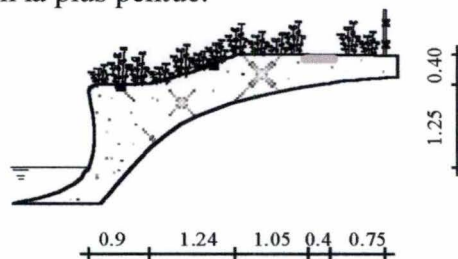


Figure 2-11 : Profil de berge de la station naturelle de Furfooz E

La troisième (**Fu H**) se trouve en rive gauche, proche d'une route caillouteuse. Elle est composée de galets (figure 2-12) où, au fil du temps, la fréquentation des kayaks a engendré de fortes perturbations. La pente de cette berge, 13 %, est très faible par rapport aux autres stations

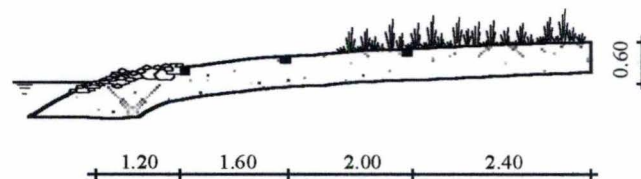


Figure 2-12 : profil de berge de la station naturelle Hour H

#### 2.4.4.2 Stations plantées

Les berges aménagées à l'aide de plantations sont au nombre de deux et situées en rive droite : **Fu B** et **Fu C**. Ces aménagements ont été réalisés en 1995

La première station, Fu B, a été reprofilée et consolidée avec un géotextile (figure 2-13).

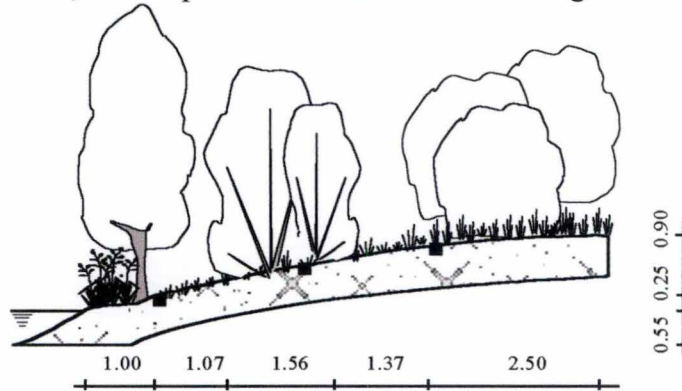


Figure 2-13 : Profil de berge de la station plantée de Furfooz B

En ce qui concerne la station Fu C (figure 2-14), la berge a également été reprofilée et consolidée avec du géotextile, une ligne d'engrèvements a été déposée en pied de berge.

Ces stations sont pratiquement similaires sur le type des techniques utilisées ; la différence se situe dans le recouvrement de la végétation puisque la station Fu B est dominée par des espèces herbacées alors que Fu C est une station où les saules dominent.

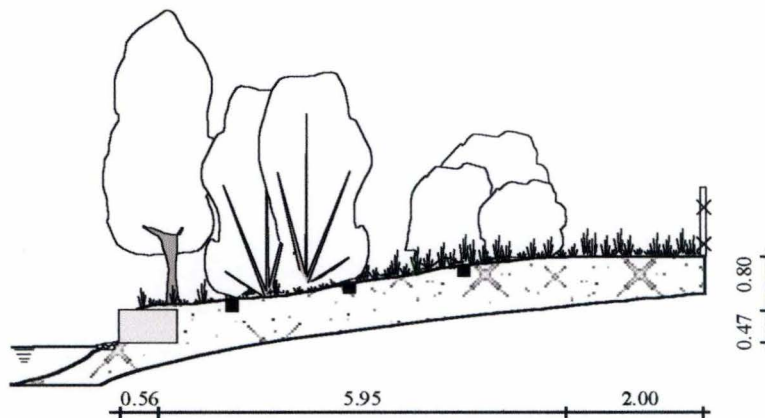


Figure 2-14 : Profil de berge de la station de Furfooz C

### 2.4.4.3 Caisson

Le caisson (**Fu G**) a été réalisé en 1997, il est situé en rive gauche à proximité de la station Fu H (figure 2-15). En pied de berge, nous trouvons des baldingères, des iris ainsi que des saules. Le haut du talus est recouvert d'espèces herbacées.

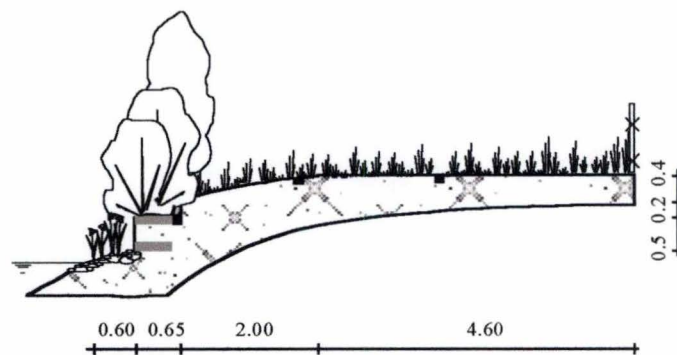


Figure 2-15 : Profil de berge de la station de Furfooz G

### 2.4.4.4 Stations avec enrochements

Deux stations (**Fu D** et **Fu F**), située en rive droite, proches d'un chemin de terre, ont été aménagées à l'aide de la technique minérale des enrochements. Ces aménagements ont été effectués en 1995.

La station D (figure 2-16) est la plus riche de nos stations, 54 espèces végétales ont été recensées. Le pied de berge a été stabilisé à l'aide d'enrochements, trois séries de blocs superposés ; quant au haut de la berge, il a été stabilisé avec du géotextile où les techniques d'ensemencement et de plantations d'espèces ligneuses ont été appliquées

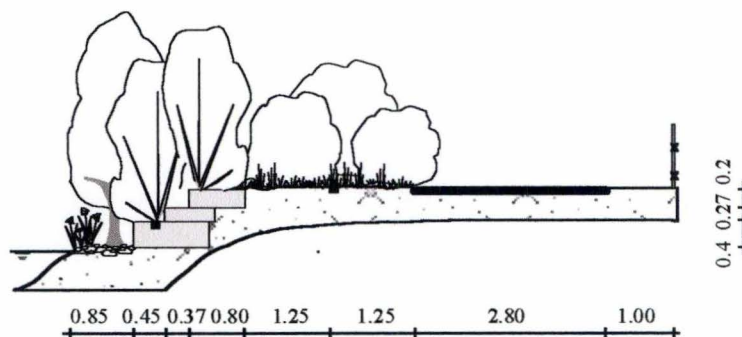
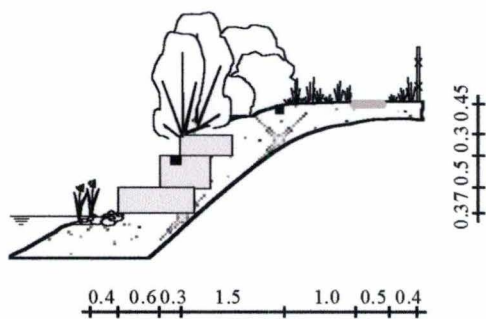


Figure 2-16 : Profil de berge de la station de Furfooz D

La station de Furfooz F (figure 2-17) est également composée de trois lignes d'enrochements. Des plantations ont été utilisées pour aménager le haut du talus.



**Figure 2-17 : Profil de berge de la station de Furfooz F**

## **2.5. Méthode de traitement des données**

### **2.5.1 Types de traitement**

Pour analyser nos données, nous aurons entre autres recours à différentes méthodes statistiques faisant partie des analyses multivariées. Celles-ci peuvent être scindées en deux : les méthodes de groupement et les méthodes d'ordination.

### **2.5.2 Similarité**

Avant de procéder à un groupement des échantillons (stations), un indice synthétique doit permettre de comparer la ressemblance entre chaque station sur base des divers descripteurs fournis. C'est le rôle généralement attribué aux coefficients de similarité : ils calculent un indice, compris entre 0 (similarité nulle) et 1 (similarité totale), pour chaque comparaison deux à deux des échantillons (objets). La matrice de résultat se présente alors sous la forme d'une semi-matrice carrée où chaque ligne est équivalente à chaque colonne (matrice de similarité). Divers coefficients sont disponibles dans la littérature, une description détaillée de ceux-ci pourra être trouvée dans Legendre & Legendre (1979). Le coefficient de communauté de Jaccard (S7) est préféré pour le traitement de données d'absence et de présence, il ne tient pas compte des doubles zéros pour établir la similarité. Le coefficient de Gower (S15) convient bien pour des variables quantitatives représentant des descripteurs de l'environnement. Les coefficients de Steinhaus (S17) et de Kulczynski (S18) sont adaptés aux tableaux d'abondance d'espèces. La méthode de Kulczynski, qui consiste à calculer la moyenne de deux comparaisons, est peut-être plus arbitraire que la méthode de Steinhaus, qui compare la somme des minima à la moyenne des deux échantillons. Pour réaliser l'ensemble de ces méthodes, le progiciel R (version 3 et 4, Legendre & Vaudor, 1991) sur Macintosh sera utilisé.

La matrice de similarité obtenue pourra servir de base à un groupement des échantillons (stations). Le groupement est une opération par laquelle nous trouvons une ou plusieurs partitions des objets (ou descripteurs) en suivant des règles préétablies d'agglomération ou de division. Cela permet de dégager des groupes d'objets similaires entre eux. Diverses méthodes de groupement des objets sont à nouveau à notre disposition ; nous pouvons distinguer d'une part les méthodes hiérarchiques basées sur l'algorithme de Lance & Williams et d'autre part les méthodes non hiérarchiques, par exemple la méthode par réallocation K-MEANS (Legendre & Legendre, 1998).

### **2.5.3 Groupement hiérarchique**

Par définition, la structure hiérarchique impose qu'une fois qu'un objet est attribué à un groupe, il y reste jusqu'à la fin. Après avoir opté pour un indice de similarité, nous utiliserons la méthode de groupement selon l'association moyenne (UPGMA) adapté de l'algorithme de Lance & Williams. Cette méthode permet de calculer la moyenne de la similarité entre l'objet que nous voulons admettre dans un groupe ou entre tous les membres de deux groupes sur le point de

fusionner. Le groupement procède par agglomération en commençant par les deux objets les plus semblables. Les résultats obtenus seront toujours hiérarchisés.

#### 2.5.4 Groupement par réallocation

Comme méthode non hiérarchique, nous avons fait le choix d'utiliser la méthode K-MEANS (Legendre & Legendre, 1998). Celle-ci permet de regrouper les objets en un nombre  $k$  de groupes déterminé initialement par l'utilisateur. A chaque étape du groupement, une réallocation complète des objets est effectuée, de sorte que les groupements du niveau  $k + 1$  ne déterminent en rien les groupements réalisés pour former  $k$  groupes. Ainsi, un groupement non hiérarchique des objets peut apparaître. Avant de procéder à l'assemblage des objets, une analyse en coordonnées principales (ACoP) est réalisée. Cette dernière réduit l'information en recherchant les axes principaux sur la base d'une matrice de similarité. Cette méthode permet de réduire le nombre de variables d'un fichier de grande taille. Le groupement se réalise sur base des vecteurs propres de l'ACoP des stations. Le groupement est réalisé pour le nombre de groupes désirés. Afin de savoir quel est le nombre groupe  $k$  qui renferme l'information la plus grande, nous pouvons calculer un coefficient d'efficacité. Si ce coefficient est mis en graphique en fonction des différents  $k$  groupes, le minima de ce graphe indiquera les groupes les plus importants à considérer.

#### 2.5.5 Méthodes d'ordination

Ces méthodes consistent à placer les objets (ou les descripteurs) par rapport aux axes d'un espace de dimensions réduit ; celles-ci étant orthogonales et donc indépendantes les unes des autres. Ces nouvelles dimensions sont appelées axes principaux, dont l'ordre est déterminé par l'importance de l'information originale qu'ils expliquent (Legendre & Legendre, 1998). Notre matrice de départ est constituée d'objets-lignes (lignes) et de descripteurs-colonnes (variables environnementales, biotiques ou abiotiques ; carabes).

L'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle des correspondances (AFC) seront les méthodes utilisées lors du traitement de nos données.

L'ACP est basée sur une matrice de variance-covariance réalisée sur des données centrées et réduites. La variance totale est donc égale au nombre de variables et ces variables sont toutes caractérisées par la même variance unitaire. La comparaison des stations se fait sur base de la mesure de la distance euclidienne entre objets ; cette métrique tient compte des doubles zéros et est donc peu adaptée aux relevés floro-faunistiques (Legendre & Legendre, 1979). Les variables sont représentées par des vecteurs. Plus une variable est corrélée à un axe, plus l'information qu'elle apporte est exprimée par cet axe. Pour mesurer la proportion de variance d'une variable originale, il faut mesurer le carré de sa corrélation avec l'axe. Graphiquement, une variable qui contribue fortement à la formation d'un axe, sera située à proximité de celui-ci. Pour conserver la distance euclidienne entre les objets, nous normalisons les vecteurs. Cette normalisation fait en sorte que les axes-descripteurs forment entre eux un angle proportionnel à leur covariance. La rotation Varimax est également employée. Cette dernière maximise la somme des variances pour tous les facteurs soumis à la rotation. Des groupes d'axes descripteurs ont ainsi plus de chance de se trouver près des axes factoriels après rotation, ce qui simplifie l'interprétation de ces facteurs

en termes des variables d'origine. Il est important de signaler que la quantité de variance expliquée par un sous-espace factoriel demeure inchangée après rotation (Legendre & Vaudor, 1991).

L'AFC est généralement effectuée sur un tableau de contingence à deux variables. Un tableau floro-faunistique est également parfaitement adapté à cette analyse (Benzécri *et al.*, 1973 in Legendre & Legendre, 1998). Comme pour l'ACP, nous obtenons des graphiques représentant les coordonnées des lignes et des colonnes pour un nombre réduit d'axes principaux. Cette représentation est obtenue par la superposition des coordonnées des colonnes dans l'espace des lignes, après standardisation des axes des deux espaces. Il existe des différences entre l'AFC et l'ACP. En effet, cette dernière respecte une distance euclidienne entre les objets alors que l'AFC est une distance métrique du  $\chi^2$  (Legendre & Vaudor, 1991) qui exclut les double zéros (Legendre & Legendre, 1979). Le progiciel R sera utilisé pour réaliser l'ACP tandis que Statistica (StatSoft) le sera pour l'AFC.

Dans notre cas, les méthodes d'ordination pourront mettre en évidence les variables les plus pertinentes, celles qui expliquent le mieux nos stations. Nous verrons quelles sont les variables environnementales, abiotiques et biotiques, qui influencent les stations et quelles sont les espèces de carabes rencontrées le plus fréquemment dans certaines stations.

#### 2.5.6 Analyse canonique des correspondances

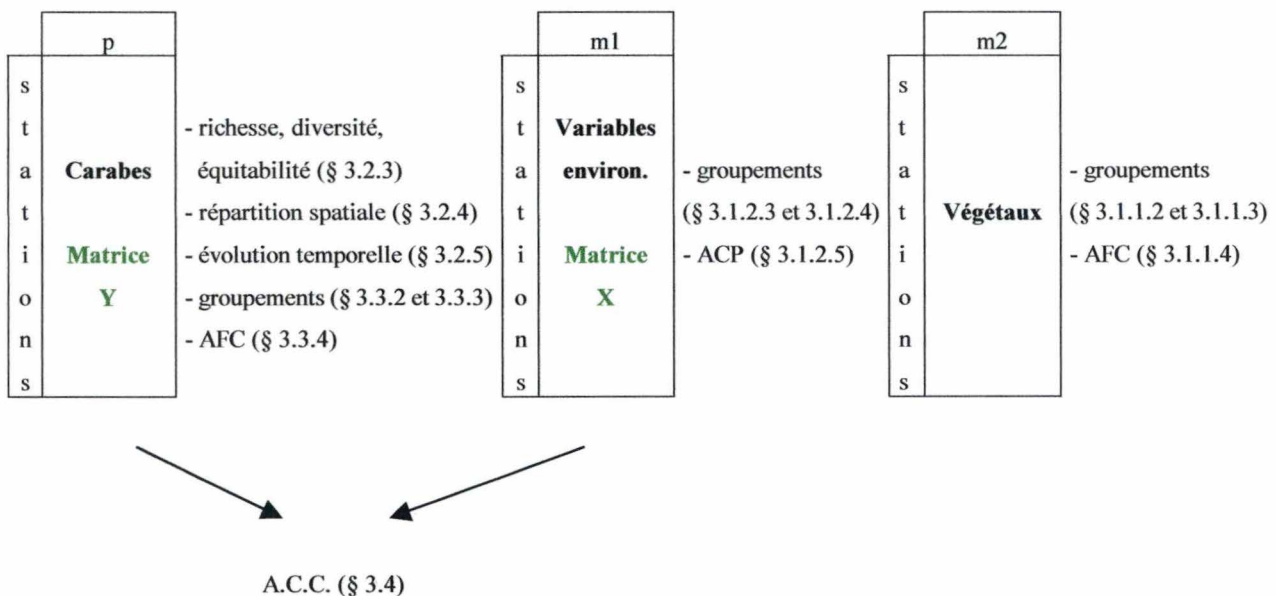
L'analyse canonique des correspondances (ACC) permet une comparaison directe entre deux matrices de données : une matrice contenant les variables indépendantes-explicatives (matrice X) et une matrice reprenant pour les mêmes objets les variables dépendantes-réponses (matrice Y). Dans notre cas, la matrice explicative X contient les variables environnementales, tandis que la matrice réponse Y reprend les abondances de carabes pour chaque station. Cette méthode permettra donc d'étudier les relations pouvant exister entre les diverses espèces de carabes rencontrées et les variables environnementales mesurées. La méthode fait appel à une analyse en régression linéaire multiple, suivie d'une ordination dans l'espace suivant les composantes principales. Comme l'AFC, l'ACC respecte la distance du  $\chi^2$  entre objets (Legendre & Legendre, 1998). Cette méthode sera réalisée à l'aide du logiciel CANOCO (ter Braak & Smilauer, 1998).

### *III. Résultats*

## 3. Résultats

### 3.0 Introduction

Les différentes données récoltées lors de cette étude sont nombreuses, à savoir : les espèces de carabes, les variables environnementales (pourcentage de recouvrement de la strate arbustive, richesse spécifique des végétaux, degré stationnel de luminosité, degré stationnel trophique, degré stationnel hydrique, le pH du sol, le type d'aménagements, le pourcentage de la pente, la distance eau-piège 'moyenne' et la distance eau-piège 'amplitude') et les espèces végétales recensées (coefficient de Braun-Blanquet) sur les 15 stations. Pour traiter ces différentes données, nous aurons recours à divers traitements statistiques: les méthodes de groupements, les méthodes d'ordination; les notions de biodiversité, d'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité seront également utiles lorsque nous aborderons les populations de carabes (figure 3-0). L'analyse canonique des correspondances sera la dernière méthode d'ordination utilisée. Elle mettra en rapport les deux matrices, stations-carabes (X) et stations-variables environnementales (Y). Le lien éventuel entre certaines variables environnementales et certaines espèces de carabes pourra alors être établi.



**Figure 3-0: Schéma récapitulatif reprenant l'ensemble des données récoltées ainsi que les méthodes statistiques utilisées. Trois matrices sont construites : Y = matrice carabes-stations, X = matrice variables environnementales- stations, matrice végétaux (m2)-stations. A.C.C. = analyse canonique des correspondances**

### 3.1. Caractérisation des stations

Avant de s'intéresser aux peuplements de carabes, nous avons cherché à caractériser nos stations à l'aide de variables environnementales. Nous avons abordé cette étape selon deux approches: l'étude de la végétation (espèces végétales de la strate herbacée et de la strate herbacée pour chacune des stations), variables environnementales (richesse en espèces végétales, pourcentage de recouvrement de la strate arbustive, le degré stationnel de luminosité, le degré stationnel trophique, le degré stationnel hydrique, la pente de la berge, le type d'aménagement, la distance moyenne entre l'eau et le piège, l'amplitude des variations du niveau d'eau par rapport au piège).

#### 3.1.1 Etude des communautés végétales

##### 3.1.1.1 Similarité

Avant de pouvoir grouper nos stations, il nous faut réaliser une matrice de similarité. Cette matrice compte 15 objets (lignes) et 112 descripteurs (colonnes). L'indice de similarité de Steinhaus est approprié pour nos données quantitatives. Les données basées sur les coefficients de Braun-Blanquet sont transformées en données d'abondance. L'échelle de ce coefficient s'étend de + (un plan présent) à 5 (75 à 100 % de recouvrement pour l'espèce considérée). Une nouvelle échelle est attribuée aux données: + = 1, 1 = 2, 3 = 4, 4 = 5, 5 = 6.

##### 3.1.1.2 Groupement hiérarchique

Par l'algorithme de Lance et Williams qui procède à un groupement selon l'association moyenne (UPGMA) sur matrice basée sur l'indice de similarité de Steinhaus tenant compte de l'abondance (figure 3-1). En analysant les résultats, nous distinguons 5 groupes de stations caractéristiques.

La première association compte 7 stations: Furfooz A, Furfooz B, Furfooz C, Furfooz D, Furfooz E, Furfooz F et Villers-sur-Lesse A. Toutes ces stations sont caractérisées par des espèces nitrophiles, notamment *Urtica dioica* et *Galium aparine*. A l'intérieur de ce groupe, les stations naturelles de Furfooz A et Villers-sur-Lesse A s'associent avec un coefficient de similarité de 0,55 (D = 0.45); l'espèce *Urtica dioica* y est très abondante. De plus, la strate arbustive n'est pas très importante dans ces deux stations, respectivement 10 et 30 % de recouvrement.

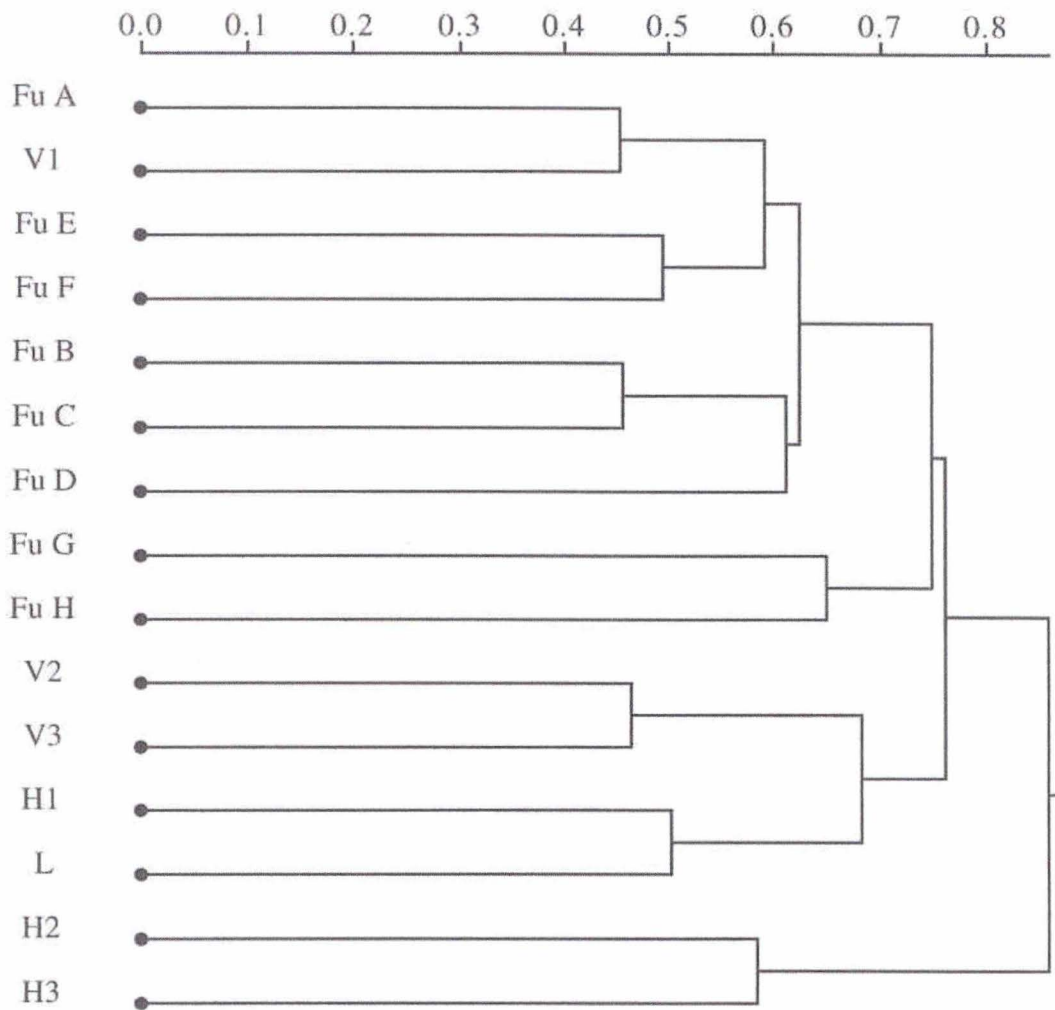
Les stations de Furfooz B et Furfooz C se groupent. avec un coefficient de 0,55 (D = 0.55) Ces dernières ont été aménagées à l'aide de techniques végétales. Les stations de Furfooz G et de Furfooz H s'assemblent avec un coefficient de 0,60. La première ne compte pas d'espèces nitrophiles alors que la station de Furfooz H en contient. La strate arbustive est nulle dans la station de Furfooz H. Le fait de retrouver peu d'espèces des zones humides dans les deux stations peut expliquer leur association.

L'association des stations de Villers-sur-Lesse B et Villers-sur-Lesse C est observée avec un coefficient de 0,55 (D = 0.45). La strate arbustive de ces stations est de 60 et 80 %, les espèces de cette strate sont similaires entre les deux stations. Voici quelques espèces

d'herbacées présentes aux deux: *Arrhenaterum elatius*, *Poa trivialis*, *Phleum pratense*, *Agrostis stolonifera*. De plus, les espèces de prairies et de pâtures sont représentées avec une abondance quasi similaire.

Le groupement des stations de Hour A et de Lessive s'observe avec un coefficient de 0,50. Ces deux stations ne comptent aucune espèce arbustive. L'abondance de deux espèces à caractère nitrophile, *Urtica dioica* et *Galium aparine*, est identique dans ces stations.

Les stations de Hour B et de Hour C se trouvent à proximité l'une de l'autre, dans un champ. Les espèces herbacées sont similaires dans ces stations. Le recouvrement de la strate arbustive y est aussi très faible.



**Figure 3-1: Groupement des stations selon l'association moyenne (UPGMA) effectuée sur base de la végétation; l'échelle représente la distance (D) entre les stations.**

**(D = 1 - coefficient de similarité)**

### 3.1.1.3 Groupement non hiérarchique

Avant de procéder à l'analyse par la méthode k-means qui procède à un regroupement non-hiérarchique des stations par réallocation successive, l'analyse en coordonnées principales (AcoP) a été réalisée sur la matrice de similarité. Les 14 vecteurs propres (coordonnées principales) de chaque station servent alors comme descripteurs des stations afin de procéder au groupement par k-means. Le nombre k de groupes désirés est précisé afin d'obtenir le groupement des stations (figure 3-2). Le coefficient d'efficacité est minimum pour les groupes k = 5 et k = 2 (cf.2.5.2.2), cela signifie que ce sont les deux groupements les plus informatifs.

Les 5 groupes formés par cette méthode de réallocation sont identiques à ceux mis en évidence par la méthode de Lance et Williams:

1/ les stations de Furfooz A, Furfooz B, Furfooz C, Furfooz D, Furfooz E, Furfooz F et Villers-sur-Lesse A sont à nouveau regroupées,

2/ Hour A et Lessive,

3/ Villers-sur-Lesse B et Villers-sur-Lesse C,

4/ Hour B et Hour C,

5/ Furfooz G et Furfooz H.

Le regroupement en deux groupes (k = 2) nous permet d'observer les associations suivantes:

1/ les stations contenant les espèces nitrophiles en abondance,

2/ les stations ne possédant pas ces espèces en abondance, Hour A, Hour B, Hour C, Villers-sur-Lesse B et Villers-sur-Lesse C, Lessive et Furfooz G.

k=7	k=5	k=2
FF	FF	FF
FG	FG	FG
FH	FH	FH
FE	FE	FE
FD	FD	FD
FC	FC	FC
FB	FB	FB
FA	FA	FA
VA	VA	VA
VB	VB	VB
VC	VC	VC
HA	HA	HA
L	L	L
HB	HB	HB
HC	HC	HC

Figure 3-2 : Groupement des stations (k-means) effectué sur base de la végétation

### 3.1.1.4 Méthode d'ordination

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) est utilisée pour diverses raisons: l'exclusion des doubles zéros (métrique du  $\chi^2$ ), 1193 dans notre matrice, le nombre élevé de descripteurs (112) par rapport au nombre d'objets (15). Le premier axe explique 17 % de la variance totale alors que le second en explique 14 %. Le premier plan factoriel explique ainsi 30 % de la variance totale. La représentation des espèces végétales (figure 3-3) montre déjà certaines associations d'espèces. Les espèces à caractère nitrophile sont toutes groupées ensemble.

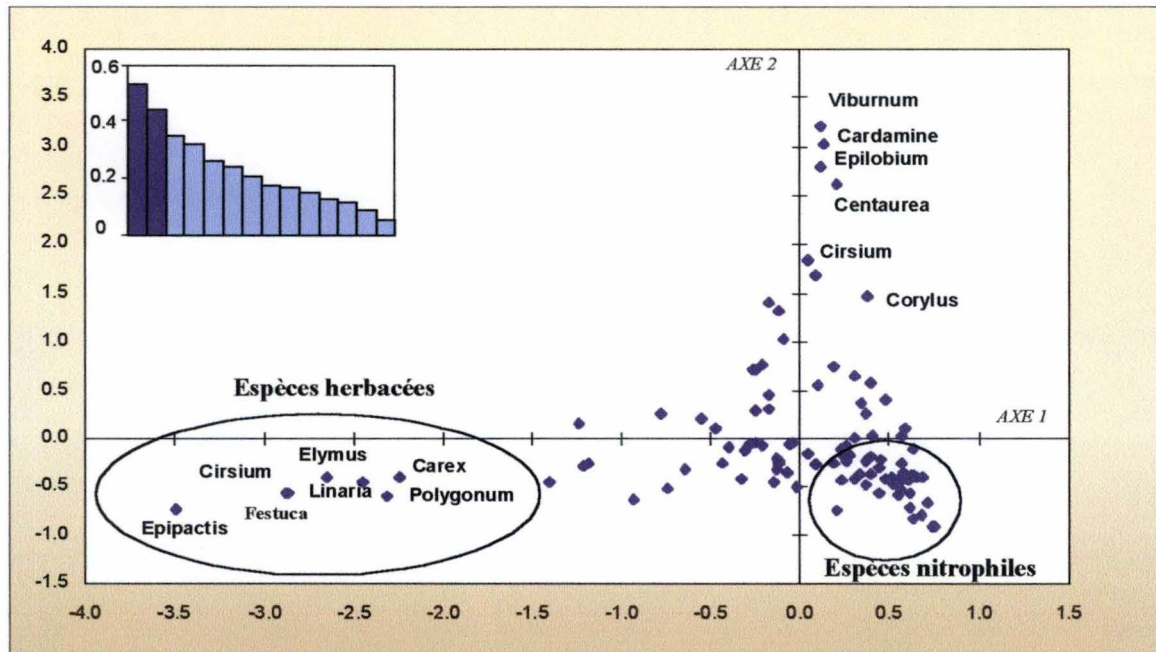


Figure 3-3: Représentation des espèces végétales dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2 de l'AFC des végétaux, histogramme des valeurs propres

Les stations de Furfooz A, Furfooz B, Furfooz C, Furfooz D, Furfooz E, Furfooz F, Furfooz H et Villers-sur-Lesse A peuvent être considérées comme similaires dans la représentation (figure 3-4). Les espèces de prairies et de pâtures peuvent expliquer la situation des stations de Lessive et de Hour A. La position de Villers-sur-Lesse C peut être interprétée grâce aux espèces arbustives, *Corylus avellana* et *Viburnum opulus*. La station de Hour C compte de nombreuses espèces herbacées, notamment *Festuca pratensis*, *Polygonum persicaria*, *Linaria vulgaris*.

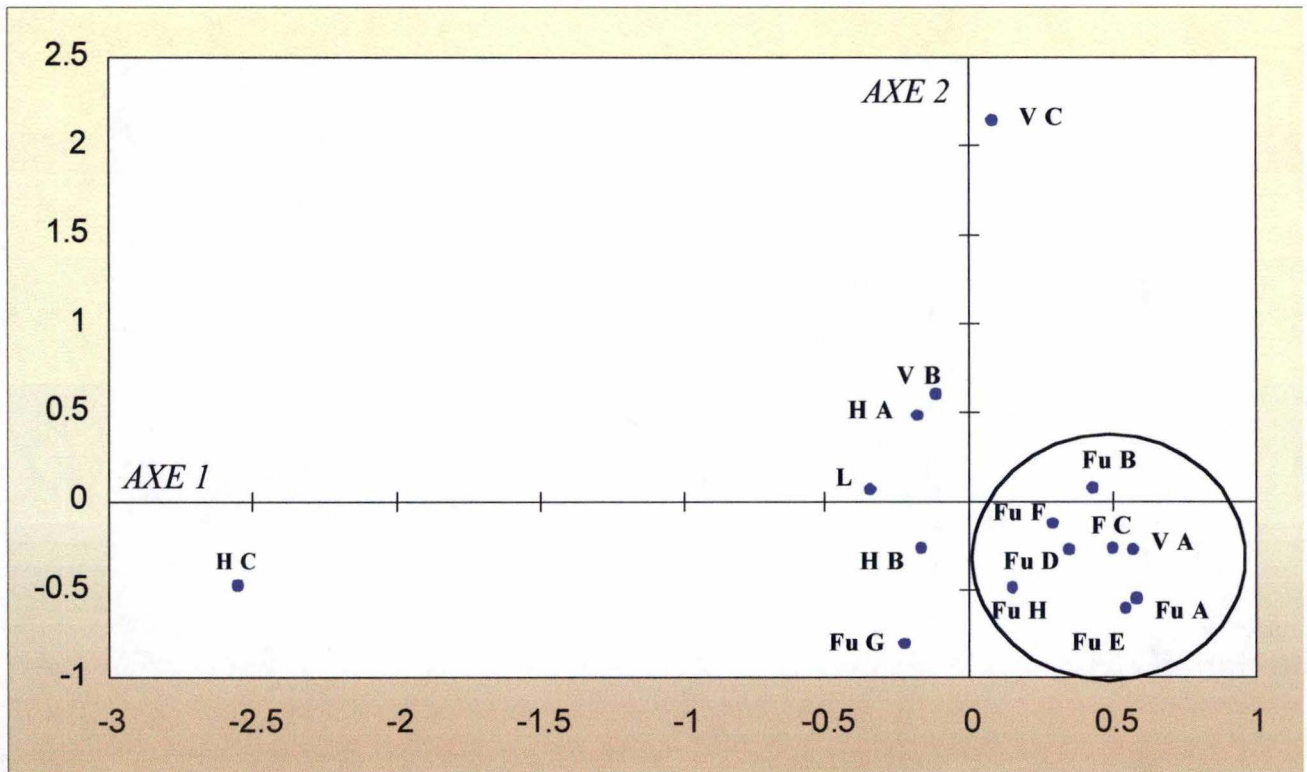


Figure 3-4: Représentation des stations dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2

### 3.1.1.5 Conclusions

Les méthodes de groupement permettent d'associer plusieurs stations. En effet, que ce soit par la méthode selon l'association moyenne de Lance et Williams ou par la méthode k-means, certaines espèces semblent expliquer le groupement des stations.

Les stations comptant les espèces *Urtica dioica* et *Galium aprine*. L'utilisation de l'analyse factorielle des correspondances confirme ces résultats. Les stations groupées sont les suivantes: Furfooz A, Furfooz B, Furfooz C, Furfooz D, Furfooz E, Furfooz F, Furfooz H et Villers-sur-Lesse A.

Pour les stations de Villers-sur-Lesse B et Villers-sur-Lesse C, une strate arbustive important, recouvrement (respectivement 60 et 80 %) et type d'espèces, peut être l'argument à retenir quant à leur association.

Par contre, l'absence de cette strate arbustive, la présence de nombreuses espèces d'herbacées (*Ranunculus repens*, *Elymus repens*, ...) à Hour B et Hour C sont des éléments pouvant expliquer leur groupement. Ces deux stations ne sont pourtant pas associées par la méthode d'ordination.

### 3.1.2 Etude des variables environnementales

#### 3.1.2.1 Présentation des paramètres environnementaux

En plus de la végétation, les stations peuvent être caractérisées à l'aide d'autres variables environnementales (tableau 3-1): le degré de luminosité, le degré trophique, le degré hydrique, le pH du sol, le type d'aménagement, la pente de la berge, le pourcentage de recouvrement de la strate arbustive, la richesse spécifique végétale, le niveau d'eau (moyenne et amplitude). La mesure du pH du sol n' pas été faite pour les 15 stations. Ces 10 variables vont être traitées à l'aide de méthodes de groupement (Lance et Williams, k-means) et d'une méthode d'ordination (ACP).

**Tableau 3-1 : Variables environnementales mesurées pour les 15 stations**

(St = pourcentage de recouvrement par la strate arbustive ; R = richesse spécifique végétale ; D l = degré de luminosité ; D t = degré trophique ; D h = degré hydrique ; pH = acidité du sol ; P=pente de la berge(%); E - P 1 = distance eau-piège moyenne durant la période de piégeage (m) ; E - P 2= distance eau-piège amplitude maximale durant la période de piégeage (m) ; A = aménagements : perré (1), enrochements (2), enrochements enterrés (3), caisson (4), plantations (5), naturelle (6)

Station	St	R	D l	D t	D h	pH	P	E - P 1	E - P 2	A
Furfooz A	0,1	28	3,7	5,6	4,7	7,4	39	0,82	1,05	6
Furfooz B	0,75	45	3,9	6,4	4,9	7,1	32	0,62	1,10	5
Furfooz C	0,50	51	3,8	5,3	4,3		20	1,22	0,90	5
Furfooz D	0,75	54	3,6	5,2	4,3	7,5	23	0,47	0,50	2
Furfooz E	0,25	35	3,5	5,8	4,6		77	0,67	0,90	6
Furfooz F	0,8	43	3,6	6,2	4,4	7,2	58	0,80	0,40	2
Furfooz G	0,1	40	4,2	6,4	4,8		20	0,53	0,30	4
Furfooz H	0	38	3,9	5,7	5,0	7,1	13	1,34	1,50	6
Villers-sur-Lesse A	0,3	23	3,4	5,6	4,5		23	0,77	1,05	6
Villers-sur-Lesse B	0,6	32	3,9	6,1	5,2	6,9	34	2,60	4,75	5
Villers-sur-Lesse C	0,8	14	4,0	5,0	4,7		34	0,89	0,80	5
Hour A	0,05	19	3,9	6,1	5,2		48	1,00	1,80	1
Hour B	0,05	30	4,2	5,5	4,3	6,9	20	0,82	0,85	3
Hour C	0	26	3,9	5,0	5,1		33	0,63	0,85	6
Lessive	0	30	3,9	5,1	4,7	7,3	29	0,52	0,60	2

#### 3.1.2.2 Similarité

La matrice de similarité réalisée ici compte 15 objets (lignes) et 10 descripteurs (colonnes). Vu les données à considérer, variables quantitatives chimiques, physiques et biologiques, l'indice de Gower est préféré.

### 3.1.2.3 Groupement hiérarchique

Le dendrogramme obtenu à la figure 3-5, nous voyons 5 groupes de stations.

Les stations de Furfooz A et de Villers-sur-Lesse A s'associent avec un coefficient de similarité de 0,82 ( $D = 0,18$ ). En effet, ces deux stations possèdent des variables environnementales identiques, à savoir: l'aménagement (naturel), le degré trophique, le niveau d'eau (moyenne et amplitude). Les autres variables ont des valeurs proches: le degré de luminosité, le degré hydrique, le pourcentage de la strate arbustive. La station de Furfooz E s'assemble, avec un coefficient de 0,79 ( $D = 0,21$ ) aux deux stations précédentes. Il est vrai que cette station est aussi naturelle.

Les deux dernières stations naturelles, Furfooz H et Hour C, sont également groupées (coefficient de 0,77 ( $D = 0,23$ )). Elles ont un pourcentage de recouvrement de la strate arbustive nul, un degré de luminosité identique, les degrés trophique et hydrique sont similaires. La station de Lessive se groupe à ces deux stations avec un coefficient de 0,65 ( $D = 0,35$ ). Elle a le même degré de luminosité et une strate arbustive nulle. La variable qui diffère entre Lessive et les deux autres stations est l'aménagement: la berge de Lessive a été aménagée avec une technique minérale tandis que Furfooz H et Hour C sont des berges naturelles.

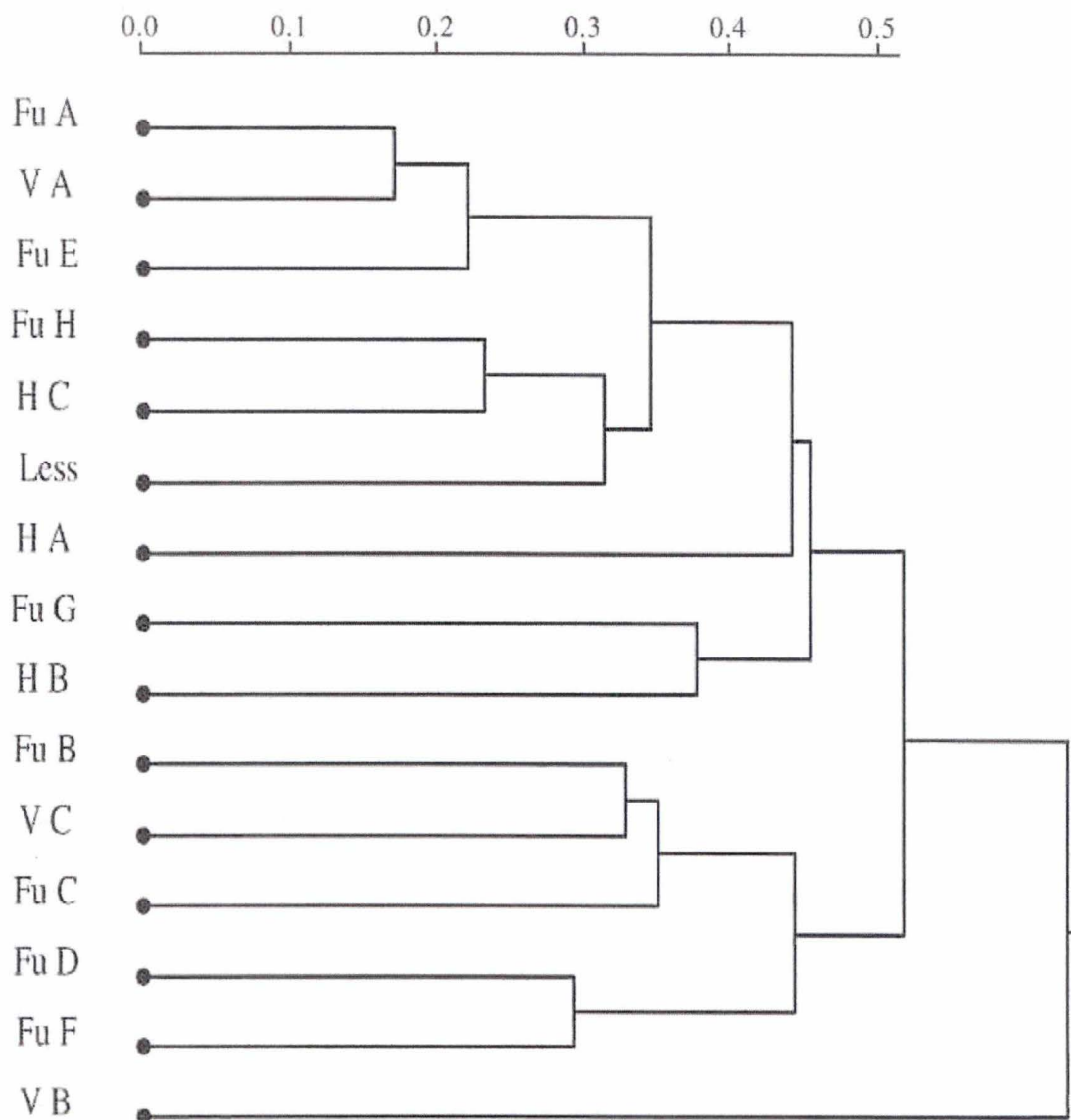
Les 5 stations naturelles et une station aménagée à l'aide de techniques minérales, Lessive, s'associent avec un coefficient de 0,61 ( $D = 0,39$ ). Le pourcentage faible de la strate arbustive peut expliquer le groupement de ces stations.

Avec un coefficient de 0,7 ( $D = 0,3$ ), les stations de Furfooz G et Hour B sont assemblées. La similitude entre les deux stations peut être due à la strate arbustive et au degré de luminosité. En effet, les arbustes sont peu présents, les stations sont donc qualifiées d'ouvertes. Le degré de luminosité est identique et fait de ces stations des milieux bien éclairés.

Au niveau de 0,26, un groupe est formé par des stations avec aménagements végétaux, Furfooz B et Villers-sur-Lesse C. Celles-ci ont été aménagées par la technique des plantations. Le pourcentage de la strate arbustive en fait des stations fermées. Le recouvrement arbustif de Furfooz C (berge aménagée à l'aide de plantations) étant moins important (50 %) que les stations précédentes, le regroupement avec Furfooz B et Villers-sur-Lesse C se fait un peu plus tard (coefficient de 0,72).

L'association de Furfooz D et de Furfooz F, des stations où les techniques minérales ont été utilisées, s'observe avec un coefficient de 0,76 ( $D = 0,24$ ). Ces deux stations ont des degrés de luminosité et une strate arbustive plus ou moins identiques.

Les stations de Hour A et de Villers-sur-Lesse B sont groupées aux autres stations avec des coefficients plus importants. La fluctuation du niveau d'eau, élevée dans ces deux stations, est la variable pouvant expliquer ces groupements tardifs.



**Figure 3- 5 : Groupement des stations selon l'association moyenne (UPGMA) effectuée sur les variables environnementales; l'échelle représente la distance (D) entre les stations. (D = 1 – coefficient de similarité)**

#### 3.1.2.4 Groupement non hiérarchique

Le coefficient d'efficacité étant minimum à  $k = 3$ , les groupes de ce niveau sont étudiés (figure 3-6).

Un des trois groupes est formé de 9 stations : Hour A, Furfooz H, Hour C, Lessive, Furfooz G, Hour B, Furfooz A, Furfooz E et Villers-sur-Lesse A. Les 5 stations naturelles se retrouvent dans ce groupe, trois stations aménagées à l'aide de techniques minérales et une station aménagée avec un caisson. En plus de l'aménagement, une autre variable explique cette association : le recouvrement de la strate arbustive très faible dans ces 9 stations.

Les stations de Furfooz C, Furfooz D et Furfooz F sont assemblées. La richesse spécifique végétale y est très élevée par rapport aux autres stations. Le recouvrement de la strate

arbustive élevé, le degré de luminosité (3.6) et le degré hydrique moyen sont trois paramètres pouvant expliquer ce groupe.

Le groupement des stations de Furfooz B, Villers-sur-Lesse B et Villers-sur-Lesse C est aussi mis en évidence. Elles ont des variables environnementales quasi identiques, notamment la strate arbustive élevée, le degré de luminosité (3.9), la pente et le pH.

Hormis les groupes  $k = 3$ , les associations réalisées pour 7 groupes méritent notre attention. L'assemblage observé grâce à la méthode hiérarchique est à nouveau souligner; les groupes formés étant identiques à ceux réalisés lors de la première méthode. Les stations de Furfooz G et de Hour B sont groupées; cela pour un  $k = 7$ . A ce niveau, le regroupement entre les stations de Furfooz A, Furfooz E et Villers-sur-Lesse A est aussi visible.

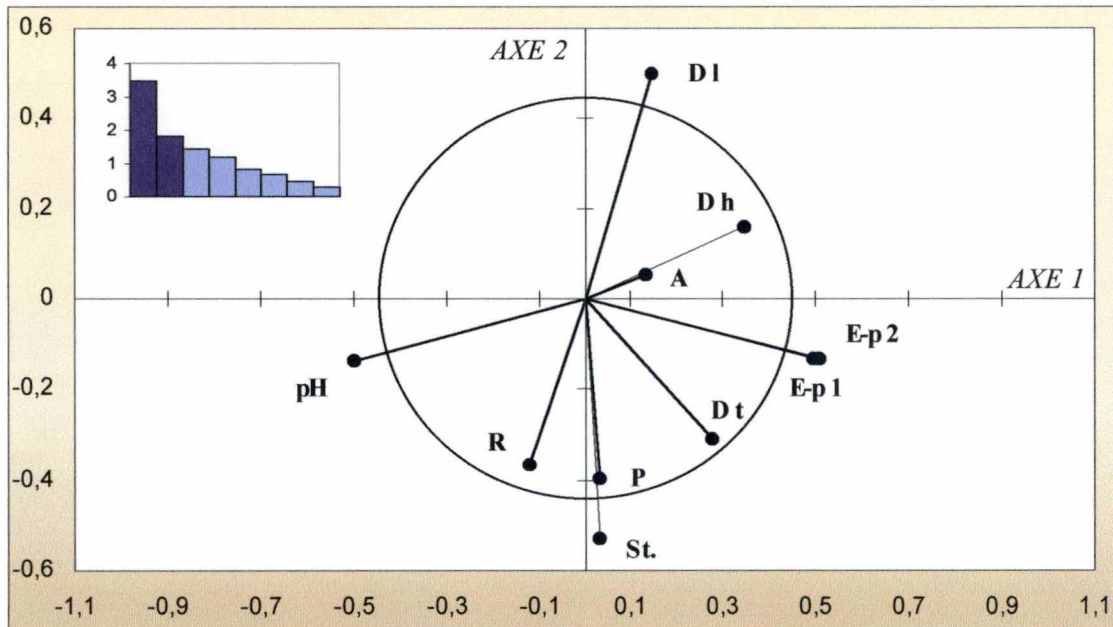
$k = 7$	$k = 3$
Hou A	Hou A
Fu H	Fu H
Hou C	Hou C
L	L
Fu G	Fu G
Hou B	Hou B
Fu A	Fu A
Fu E	Fu E
V A	V A
Fu D	Fu D
Fu F	Fu F
Fu B	Fu C
Fu C	Fu B
V C	V C
V B	V B

Figure 3-6 : Groupement des stations (k-means) effectué sur base des variables environnementales

### 3.1.2.5 Méthode d'ordination

L'analyse en composantes principales est utilisée. Cette méthode d'ordination permet de visualiser nos descripteurs et nos objets dans un espace réduit après avoir diminué le nombre de dimensions. Après avoir standardisé les valeurs des variables environnementales-centrées et réduites- nous effectuons une ACP sur la matrice des covariances, avec une rotation Varimax (cf. 2.5.2).

Le premier axe explique 35 % de la variance totale, l'axe 2 nous en explique 18 % (figure 3-7). Le premier plan factoriel explique ainsi 53 % de cette variance.

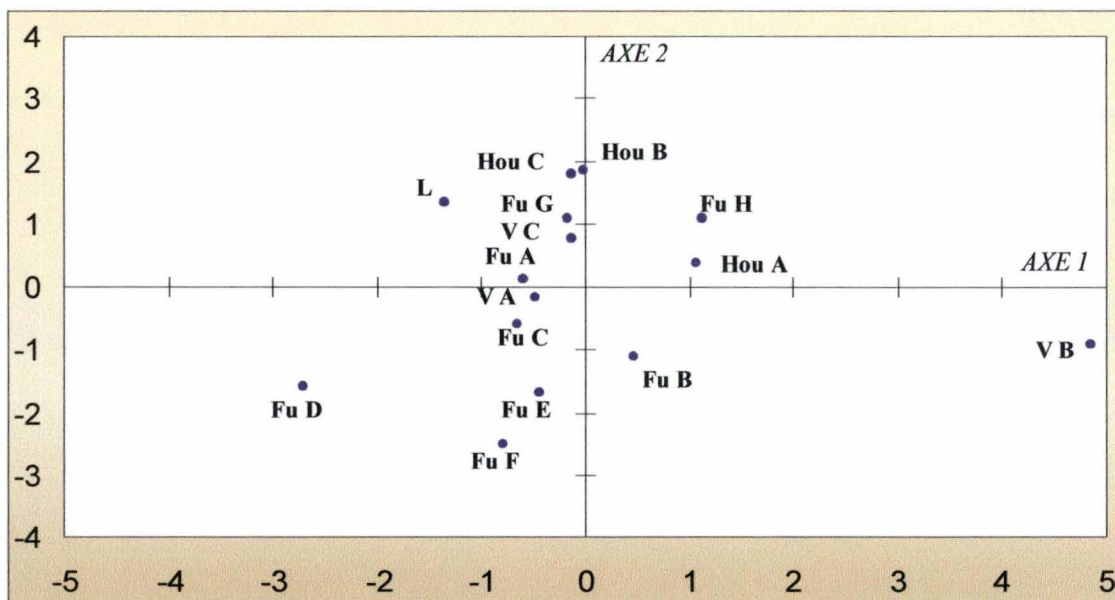


**Figure 3-7 : Représentation des variables environnementales dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2 de l'ACP des variables environnementales des valeurs propres**

En analysant les descripteurs de ces axes, nous voyons que le premier axe est expliquée par trois variables. Le pH explique 83 % de cet axe, la distance eau-piège (moyenne) 81 % et la distance eau-piège (amplitude) 86 %. Concernant l'axe 2, il peut être expliqué de la manière suivante : le degré de luminosité contribue à 50 % et la strate arbustive à 51 %.

En observant la position des stations sur l'axe 1 (figure 3-8), celles-ci se distinguent suivant les trois variables citées ci-dessus. La station de Villers-sur-Lesse B est opposée aux stations de Furfooz D et de Lessive, ces dernières étant faiblement atteintes par les montées de la Lesse. Le début de la période d'échantillonnage, au mois de mars, explique l'influence de la montée des eaux.

Quant à la disposition des stations sur l'axe 2, nous voyons une opposition entre les stations ayant une strate arbustive abondante, Furfooz F et Furfooz D, avec des stations où la strate arbusive est quasi inexistante ou nulle, comme à Hour B et Hour C. La pente de la berge est un facteur aussi important puisque les stations de Furfooz F et Furfooz E, à forte pente, s'opposent aux stations Furfooz H et Hour B.



**Figure 3-8 : Représentation des stations dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2 de l'ACP de la matrice station-variables environnementales**

### 3.1.2.6 Conclusions

Les associations mises en évidence par les deux méthodes de groupement sont similaires. Les facteurs qui expliquent ces groupes ne sont pas toujours ceux mis en cause dans la méthode d'ordination. Les paramètres environnementaux permettant d'interpréter les groupements sont: l'aménagement, la strate arbustive et le degré de luminosité, principalement. Par la méthode de l'ACP, d'autres variables sont considérées importantes: le pH du sol, le niveau d'eau et dans une moindre mesure, le degré de luminosité et le pourcentage de la strate arbustive. L'importance de chaque variable est donc mise en évidence par l'une des deux méthodes. Nous ne pouvons donc pas caractériser nos 15 stations par une seule variable, les 10 paramètres jouant un rôle plus ou moins important selon la station.

## 3.2. Biodiversité et répartition spatiale des carabes

### 3.2.1 Exhaustivité

La période d'échantillonnage s'étend du mois de mars (13 et 14/03) jusqu'à la fin du mois de mai (24/05). Ce laps de temps étant relativement court, nous devons avant toute chose voir si, dans chacune des quinze stations, les échantillons représentent les populations présentes dans ces stations. Pour ce faire, nous reprenons chaque piège pour les différents relevés et ceci pour les 15 stations. Les données sont triées de manière aléatoire, ceci pour obtenir une répartition hétérogène des relevés. Ensuite, nous comptons le nombre d'espèces présentes par pièges et par relevé. Après avoir effectué cette étude, nous constatons que les prélèvements effectués dans certaines stations ont atteint ce maximum alors que d'autres ne possèdent pas toutes les espèces pouvant être présentes dans ces milieux. Nous choisissons d'illustrer une station où la station a bien été échantillonnée (figure 3-9) et une autre station où les résultats ne sont pas significatifs (figure 3-10).

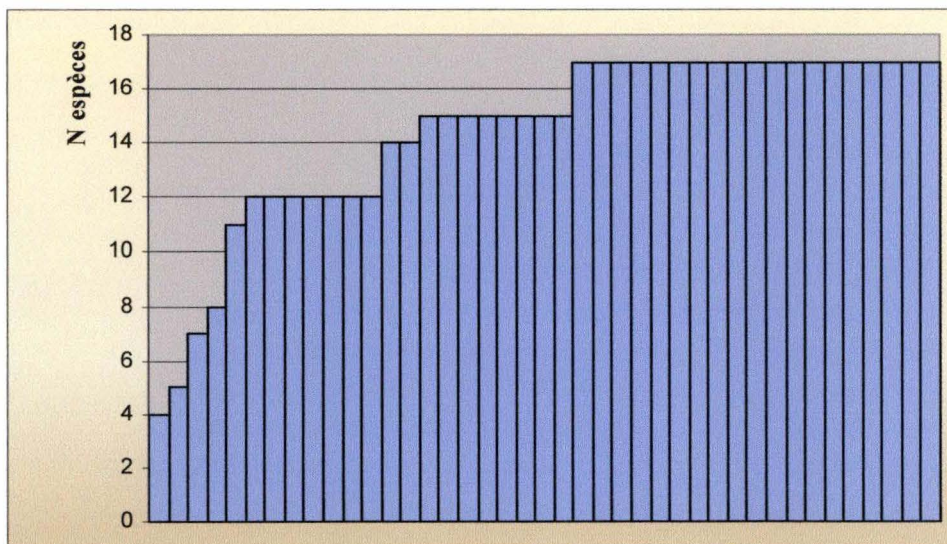


Figure 3-9 : Nombre d'espèces présentes par pièges et par relevés, ces derniers sont triés de manière aléatoire

Le graphique 3-9 de Furfooz B nous montre un "effet plateau". D'autres stations ont la même tendance : Lessive, Villers-sur-Lesse A, Villers-sur-Lesse C, Hour B, Hour C, Furfooz G et Furfooz H. Par contre, nous observons quelques stations où le nombre d'espèces piégées aurait pu être plus grand comme les stations de Furfooz C (figure 3-10), Villers-sur-Lesse B, Hour A, Furfooz A, Furfooz D, Furfooz E, Furfooz F. Dans ce cas, il faut peut-être mettre cela en rapport avec quelques facteurs : la courte période d'échantillonnage, le nombre de pièges placés sur les stations (6 ou 9), l'époque de piégeage (des espèces pourraient apparaître à d'autres saisons comme en été ou en automne).

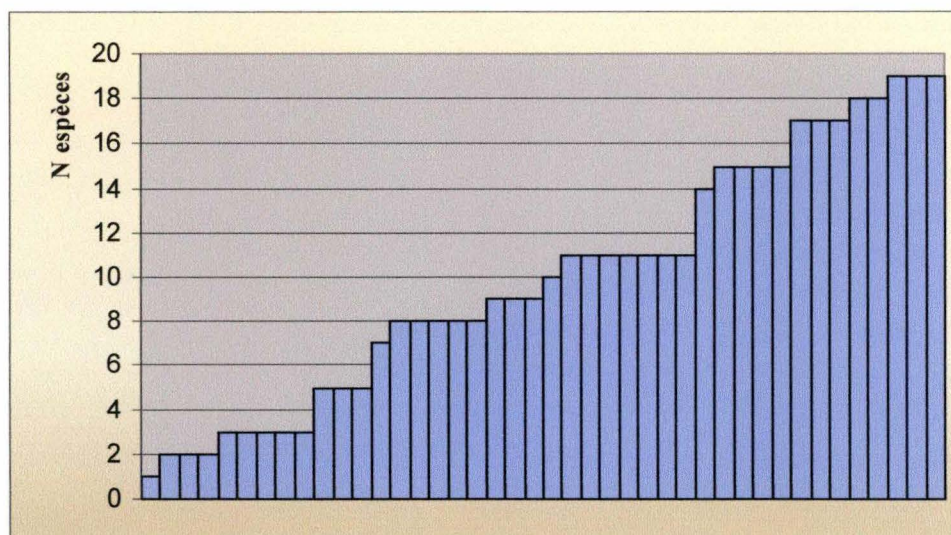


Figure 3-10 : Nombre d'espèces présentes par piège et par relevé, triés de manière aléatoire

### 3.2.2. Biodiversité et abondance des stations

#### 3.2.2.1 Espèces recensées

Sur l'ensemble de notre période d'échantillonnage (13 et 14/03 au 24/05), nous avons récolté 3776 individus qui se répartissent en 53 espèces. Dans le tableau 3-2, nous reprenons chaque espèce, leur autoécologie et le nombre d'individus capturés pour chacune d'entre elles.

Tableau 3-2 : Nombres d'espèces échantillonnées, leur autoécologie et le nombre d'individus capturés par espèce.

N°	Espèce (descripteur)	Code	Ecologie	Individus
1	<i>Abax ater</i> (Villers)	Abaxate	eurytope	14
2	<i>Agonum assimile</i> (Paykull)	Agassim	eurytope	235
3	<i>Agonum dorsalis</i> (Pontoppidan)	Agdorsa	eurytope, terres cultivées	19
4	<i>Agonum mülleri</i> (Herbst)	Agmulle	eurytope	75
5	<i>Agonum obscurus</i> (Herbst)	Agobscu	eurytope, habitats humides	26
6	<i>Agonum pallipes</i> (Fabricius)	Agpalli	habitats rivulaires, berges	535
7	<i>Agonum sp</i>	Agsp		1
8	<i>Agonum viduus</i> (Panzer)	Agviduu	habitats rivulaires eutrophes	7
9	<i>Agonum viridicupreus</i> (Goeze)	Agviridi	habitats humides	1
10	<i>Amara eurynota</i> (Panzer)	Ameury	habitats secs	2
11	<i>Amara familiaris</i> (Duftschmid)	Amfamil	eurytope	41
12	<i>Amara nitida</i> (Sturm)	Amniti	sous les pierres	3
13	<i>Asaphidion flavipes</i> (Duftschmid)	Asaphidi	eurytope	35
14	<i>Bembidion doris</i> (Panzer)	Bdoris	habitats rivulaires oligotrophes	10
15	<i>Bembidion elongatum</i> (Dejean)	Belonga	berges	84
16	<i>Bembidion guttula</i> (Fabricius)	Bguttu	zones humides	8
17	<i>Bembidion lampros</i> (Herbst)	Blampro	eurytope	188
18	<i>Bembidion normannum</i> (Dejean)	Bnorman	marais salants	7
19	<i>Bembidion properans</i> (Stephens)	Bproper	eurytope	115
20	<i>Bembidion quadriguttatum</i> (Fabricius)	Bquadgu	habitats rivulaires	2
21	<i>Bembidion quadrimaculatum</i> (Linné)	Bquadma	prairies sèches, terres cultivées	2

22	<i>Bembidion tetracolum</i> (Say)	Btetrac	eurytope	557
23	<i>Bembidion varium</i> (Olivier)	Bvarium	habitats rivulaires oligotrophes	29
24	<i>Carabus granulatus</i> (Linné)	Cargran	forêts humides	10
25	<i>Carabus nemoralis</i> (Müller)	Carnemo	eurytope	66
26	<i>Chlaenius nigricornis</i> (Paykull)	Chlnigr	habitats rivulaires eutrophes	27
27	<i>Chlaenius vestitus</i> (Fabricius)	Chlvest	habitats rivulaires oligotrophes	4
28	<i>Clivina collaris</i> (Herbst)	Clcoll	eurytope	6
29	<i>Clivina fossor</i> (Linné)	Clfoss	eurytope	7
30	<i>Elaphrus riparius</i> (Linné)	Elaphrus	habitats rivulaires oligotrophes	5
31	<i>Harpalus aeneus</i> (Fabricius)	Harpalus	ouvert, eurytope	26
32	<i>Loricera pilicornis</i> (Fabricius)	Loricera	eurytope	29
33	<i>Nebria brevicollis</i> (Fabricius)	Nebriab	eurytope	262
34	<i>Nothiophilus biguttatus</i> (Fabricius)	Nothioph	eurytope	3
35	<i>Ophonus griseus</i>	Ophgrise	eurytope, endroits sablonneux	1
36	<i>Ophonus pubescens</i> (Müller)	Ophpube	eurytope, endroits sablonneux	4
37	<i>Panageus crux-major</i> (Linné)	Panageus	habitats humides	5
38	<i>Platyderus ruficollis</i> (Marsham)	Platyrufi	ouvert	1
39	<i>Pterostichus anthracinus</i> (Illiger)	Panthra	habitats rivulaires eutrophes	17
40	<i>Pterostichus concinnus</i> (Strum)	Pconci		8
41	<i>Pterostichus cupreus</i> (Linné)	Pcupreu	ouvert	529
42	<i>Pterostichus diligens</i> (Sturm)	Pdilige	ouvert, eurytope	2
43	<i>Pterostichus gracilis</i> (Dejean)	Pgracil	habitats rivulaires eutrophes	1
44	<i>Pterostichus madidus</i> (Fabricius)	Pmadidu	eurytope	17
45	<i>Pterostichus niger</i> (Schaller)	Pniger	forêts, sous les souches	1
46	<i>Pterostichus sp.</i>	Psp		8
47	<i>Pterostichus nigrita</i> (Fabricius)	Pnigrit	eurytope	423
48	<i>Pterostichus strenuus</i> (Panzer)	Pstrenu	eurytope	178
49	<i>Pterostichus vernalis</i> (Panzer)	Pverna	eurytope	49
50	<i>Pterostichus versicolor</i> (Sturm)	Pversic	eurytope	39
51	<i>Pterostichus vulgaris</i> (Linné)	Pvulga	sous les pierres, dans la mousse	5
52	<i>Stomis pumicatus</i> (Panzer)	Stomisp	eurytope	42
53	<i>Trechus quadristriatus</i> (Schrank)	Trechus	terres cultivées	4

La dominance de certaines espèces s'observe, plus de 200 individus: *Agonum pallipes*, *Agonum assimile*, *Bembidion tetracolum*, *Nebria brevicollis*, *Pterostichus cupreus* et *Pterostichus nigrita*.

Dans une moindre mesure, d'autres espèces sont également bien représentées : *Bembidion lampros*, *B. properans*, *Pterostichus strenuus*.

Par contre, quelques espèces ne sont pas très fréquentes, moins de 10 individus: *Agonum viduus*, *A. viridicupreus*, *Amara eurynota*, *A. nitida*, *Bembidion normannum*, *B. quadriguttatum*, *B. quadrimaculatum*, *Chlaenius vestitus*, *Clivina collaris*, *C. fossor*, *Elaphrus riparius*, *Nothiophilus biguttatus*, *Ophonus griseus*, *O. pubescens*, *Panageus crux-major*, *Platyderus ruficollis*, *Pterostichus concinnus*, *P. diligens*, *P. gracilis*, *P. niger*, *P. vulgaris* et *Trechus quadristriatus*.

Dans ces 53 espèces, quelques-unes d'entre elles sont caractéristiques des milieux rivulaires : *Agonum pallipes*, *A. viduus*, *Bembidion doris*, *B. elongatum*, *B. tetracolum*, *Carabus nemoralis*, *Chlaenius nigricornis*, *Clivina fossor*, *Panageus crux-major*, *Pterostichus diligens*.

Une espèce capturée lors de ce travail n'avait encore jamais été recensée en Belgique: *Platyderus ruficollis*. Seul un individu a été capturé dans la station naturelle de Villers-sur-Lesse A. Cette espèce est largement répandue en Angleterre et en Irlande (Lindroth, 1974). Elle se rencontre dans les zones sableuses et calcaires.

### 3.2.2.2 Abondance des espèces dans les stations

Au cours de l'identification, l'abondance de certaines espèces est rapidement mise en évidence. Les espèces de *Bembidion*, typiques des milieux humides et rivulaires, sont fréquents lors de la détermination; ajoutons à cela quelques individus d'*Agonum* et de *Pterostichus*.

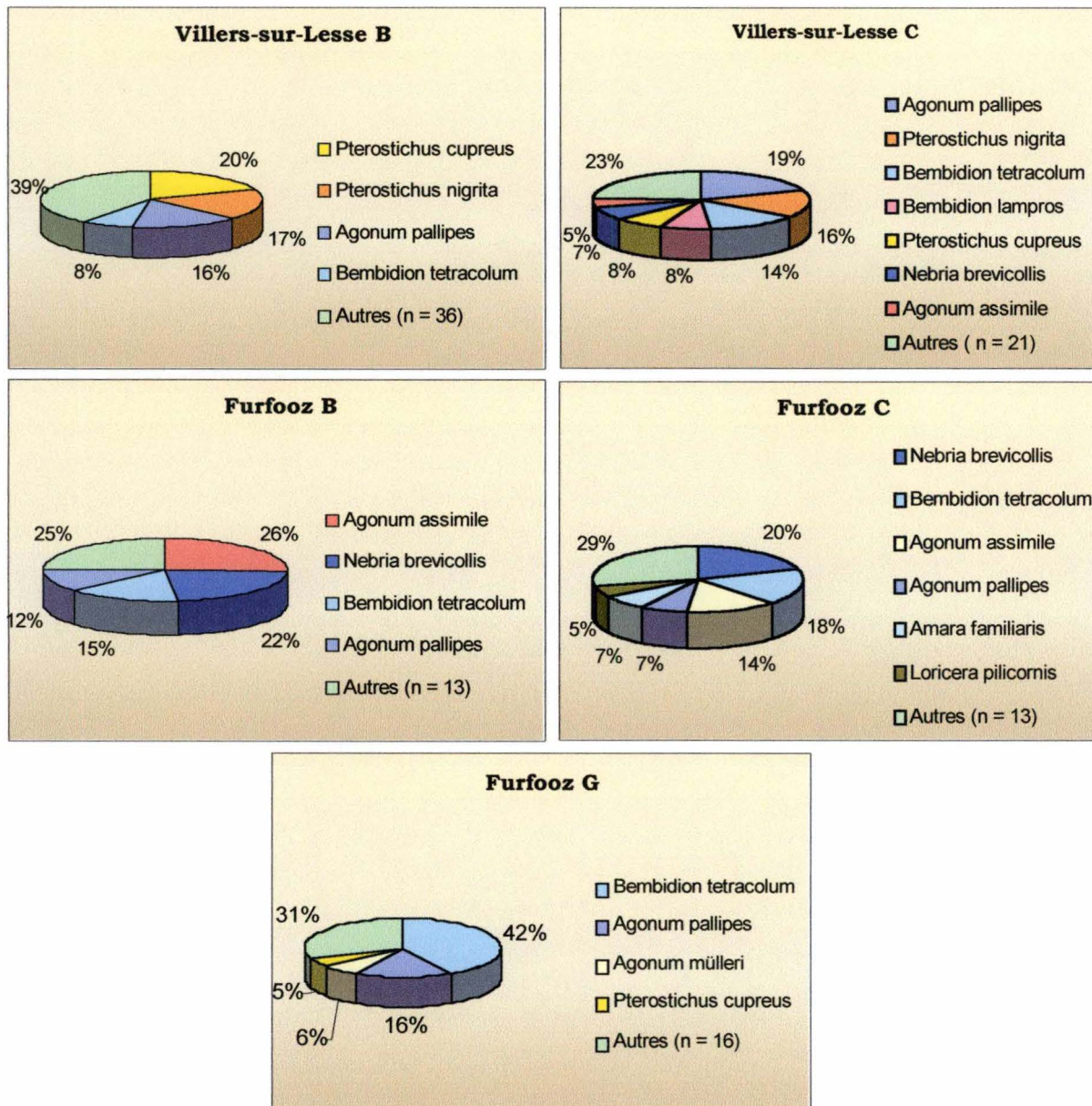
Suivant les périodes, il s'avère que certains relevés seraient plus riches que d'autres. Les facteurs pouvant être mis en cause sont: les conditions climatiques, la période de reproduction des espèces, l'efficacité des pièges.

Pour chacune des 15 stations, une représentation montre l'importance des espèces dominantes. Celles pour qui l'abondance est inférieure à 5 % de l'abondance totale dans la station sont reprises sous la dénomination "Autres", en signalant le nombre d'espèces comprises sous ce terme. Outre la différenciation faite entre les quinze stations, nous avons séparé ces dernières selon le type d'aménagements effectués: techniques de génie végétal (figure 3-11) techniques minérales (figure 3-12) et stations naturelles (figure 3-13).

Sur la figure 3-11, nous constatons que les stations plantées de Villers-sur-Lesse, B et C, ont des espèces communes. Parmi les plus abondantes: *Agonum pallipes*, *Bembidion tetracolum*, *Pterostichus cupreus* et *P. nigrita*. Le nombre d'espèces dans ces stations est important: 40 espèces pour Villers-sur-Lesse B et 28 en ce qui concerne Villers-sur-Lesse C.

Une similarité apparente apparaît entre les stations de Furfooz B et Furfooz C.

Dans la station de Furfooz G, *Bembidion tetracolum* (42 %) est l'espèce la plus abondante. *Agonum pallipes* représente 16 % des individus récoltés. Ces deux espèces dominent dans cette station.

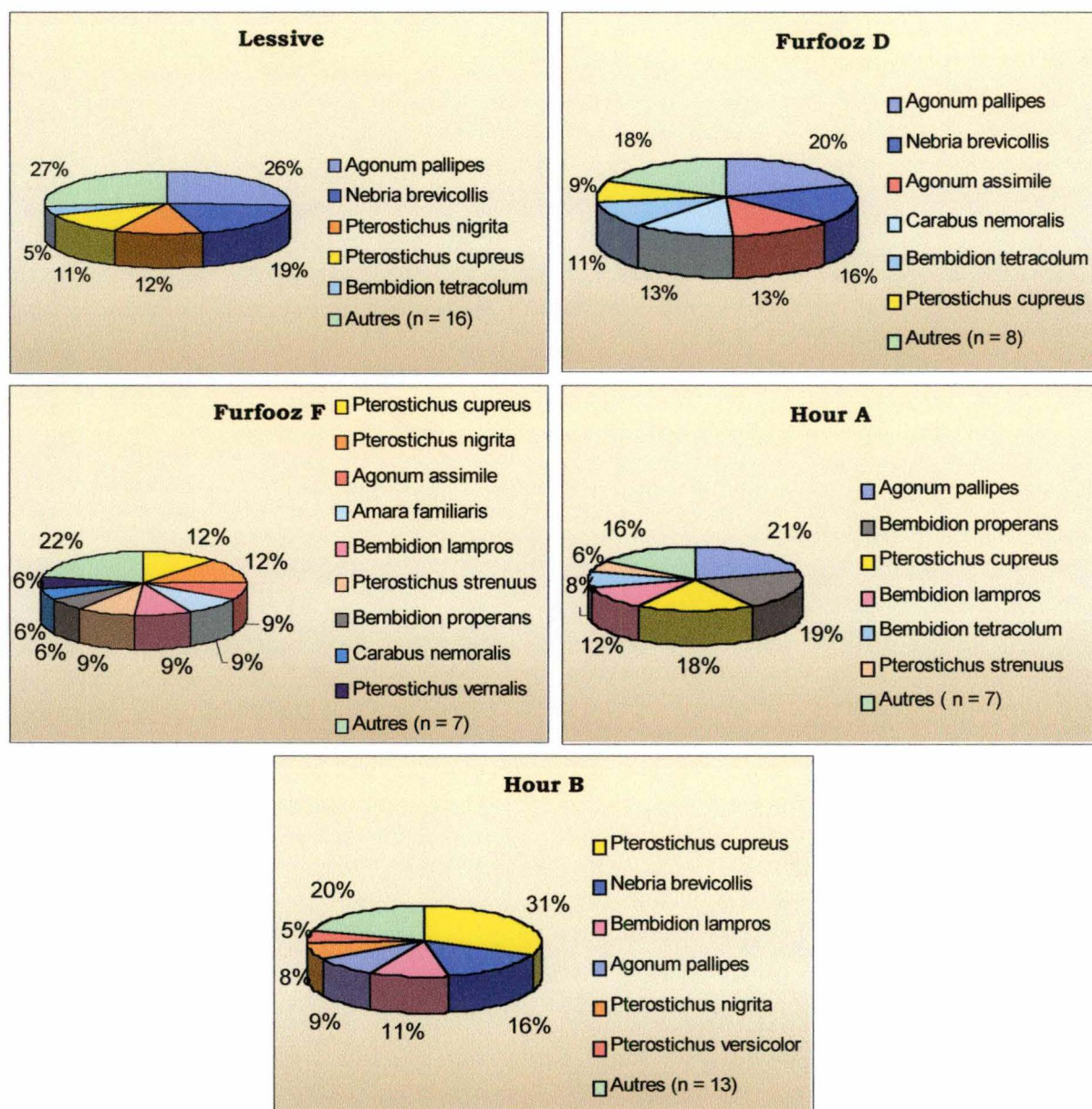


**Figure 3-11: Contribution relative des différentes espèces à l'abondance totale des carabes dans les stations aménagées par des techniques végétales**

La figure 3-12 illustre l'abondance dans les stations aménagées avec des techniques minérales. L'espèce *Agonum pallipes* est la plus représentée dans les stations de Lessive, Furfooz D et Hour A. Dans la station de Furfooz D, d'autres espèces sont abondantes: *Nebria brevicollis* et *Agonum assimile*. *Carabus nemoralis* fait son apparition dans les espèces les plus présentes.

La station de Furfooz F n'est pas dominée par l'une ou l'autre espèce. Signalons que *Pterostichus vernalis* représente 6 % de l'abondance totale.

*Pterostichus cupreus* représente plus d'un quart des individus capturés à Hour B. L'espèce *Pterostichus versicolor*, peu abondante jusqu'à présent apparaît dans cette station.



**Figure 3-12: Contribution relative des espèces à l'abondance totale de carabes des stations aménagées par techniques minérales**

La figure 3-13 représente les 5 stations naturelles.

La station de Villers-sur-Lesse A compte 30 espèces, parmi laquelle *Bembidion tetracolum* représente un tiers des individus. *Pterostichus cupreus* domine sur les autres espèces à la station de Hour C. La station de Furfooz A est dominée par trois espèces: *Agonum assimile*, *Bembidion lampros* et *B.tetracolum*. Deux espèces de *Bembidion*, *B. tetracolum* (37 %) et *B. elongatum* (17 %) font à elles seules plus de 50 % de l'abondance totale de la station de Furfooz E. La dernière station naturelle, Furfooz H, est également dominée par *Bembidion tetracolum*.

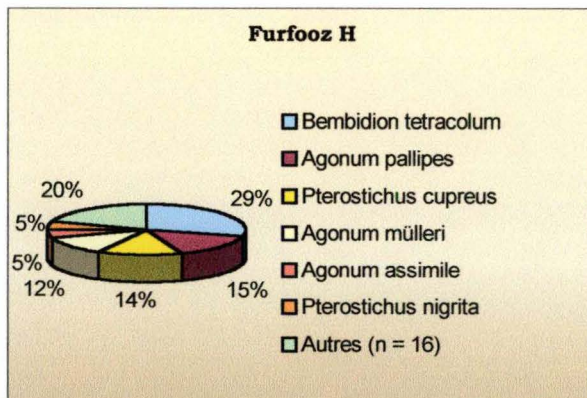
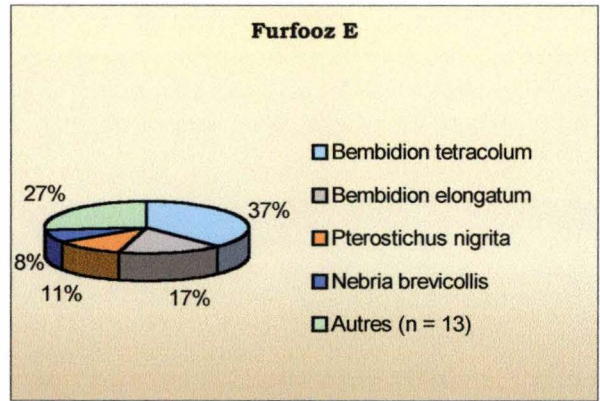
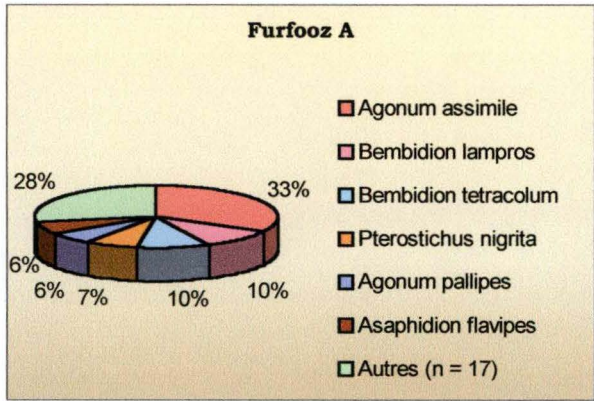
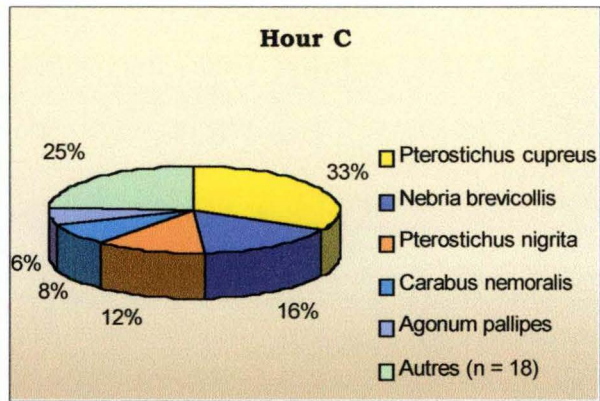
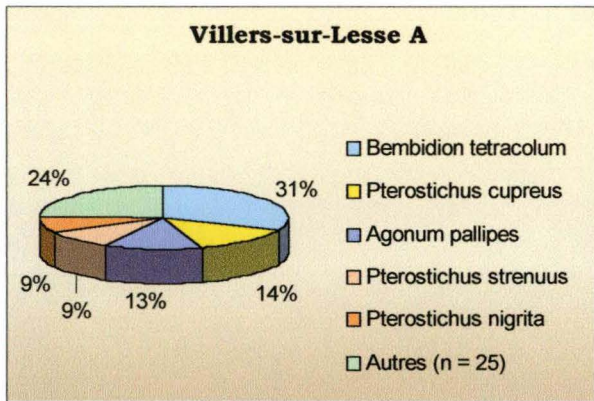


Figure 3-13 : Contribution relative des espèces de carabes à l'abondance des stations naturelles

### 3.2.2 Diversité et équitabilité des stations

Outre la biodiversité, c'est-à-dire la richesse spécifique, nous avons pu calculer la diversité de Shannon et l'équitabilité (tableau 3-3). Elles ont été calculés sur les peuplements globaux des 15 stations (somme par piège et par date et par station)

La diversité de Shannon possède une valeur minimale lorsque l'échantillon ne contient qu'une seule espèce, la diversité ne faisant qu'augmenter à mesure que l'échantillon compte plus d'espèces (Legendre & Legendre, 1979).

Afin d'éviter le biais créé par une différence importante du nombre d'espèces présentes, nous pouvons utiliser la notion d'équitabilité. Celle-ci est le rapport entre la diversité réelle et la diversité maximale théoriquement possible en fonction du nombre d'espèces présentes.

**Tableau 3-3 : Richesse spécifique (n), diversité de Shannon (H'), et équitabilité (Eq.) pour les 15 stations échantillonnées : (a) = aménagements de type minéral ; (b) = aménagements de type végétal ; (c) = berges naturelles**

(a)

Station	Technique	n	H'	Eq.
Lessive	E	21	1,00	0,75
Furfooz D	E	14	0,99	0,86
Furfooz F	E	16	1,14	0,95
Hour A	E	13	0,94	0,84
Hour B	E	19	0,98	0,76
<i>Tech.min.moy.</i>		<b>17</b>	<b>1,01</b>	<b>0,83</b>
<i>Tech.min.e-type</i>		<b>3,36</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>

Le nombre d'espèces piégées sur les stations aménagées par des techniques minérales est relativement constant. La station de Lessive est celle où le nombre d'espèces est le plus élevé, 17 espèces.

(b)

Station	Technique	n	H'	Eq.
Villers/Lesse B	V	40	1,17	0,73
Villers/Lesse C	V	28	1,11	0,77
Furfooz B	V	17	0,95	0,77
Furfooz C	V	19	1,09	0,85
Furfooz G	V	20	0,91	0,70
<i>Tech.vég.moy.</i>		<b>25</b>	<b>1,05</b>	<b>0,77</b>
<i>Tech.vég.e-type</i>		<b>9,47</b>	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>

Une distinction peut être faite entre les stations de Villers-sur-Lesse et les stations de Furfooz. En effet, Villers-sur-Lesse B et Villers-sur-Lesse C ont un nombre plus conséquent d'espèces piégées par rapport aux trois stations de Furfooz.

(c)

Station	Technique	n	H'	Eq.
Villers/Lesse A	N	30	1,01	0,69
Hour C	N	23	0,99	0,73
Furfooz A	N	23	1,06	0,78
Furfooz E	N	17	0,92	0,75
Furfooz H	N	22	1,00	0,75
Naturelles		23	1,00	0,74
Naturelles e-type		4,64	0,05	0,03

La station de Villers-sur-Lesse, A, est à nouveau plus riche que les 4 autres stations naturelles.

Dans la figure 3-14, nous observons une variation dans le nombre d'espèces d'une station à l'autre et cela pour chaque type d'aménagements. Une variation intra-groupe est aussi mise en évidence ; Nous voyons que la biodiversité est quasi identique dans les stations aménagées par des techniques végétales et les stations naturelles.

Par contre, il n'y a pas de différence concernant la diversité de Shannon sur les berges aménagées par des techniques minérales et les berges aménagées par des techniques végétales. Les berges naturelles ont une valeur encore inférieure aux deux types de berges précédentes.

L'équitabilité la plus élevée se retrouve pour des berges minéralisées. Celles observées pour les berges naturelles et les berges aménagées par le génie végétale sont moindres mais proches l'une de l'autre.

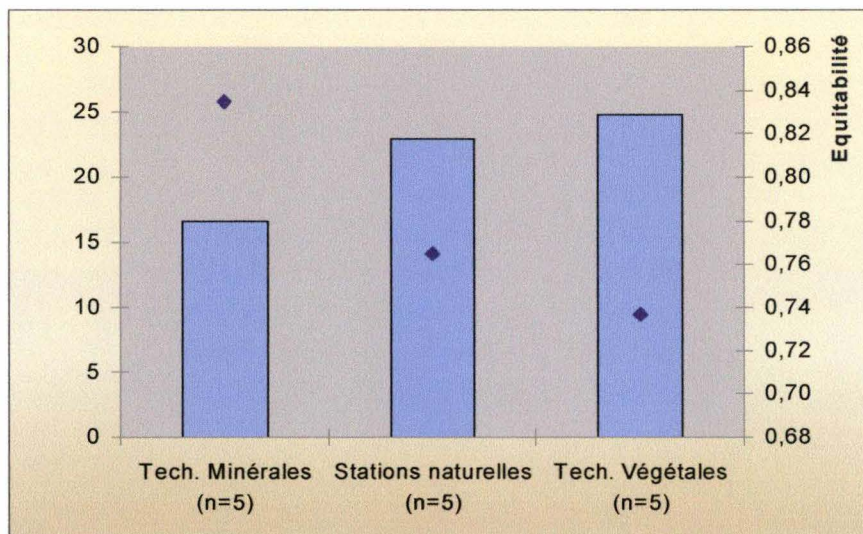


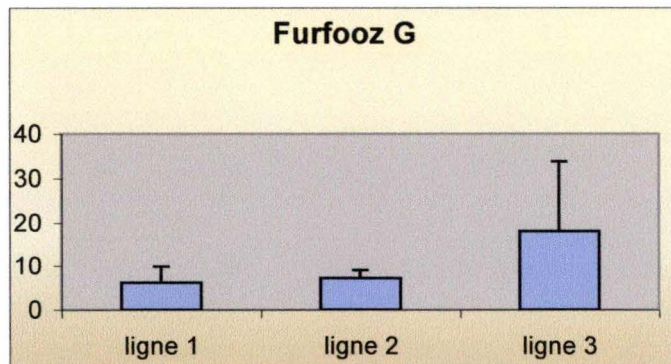
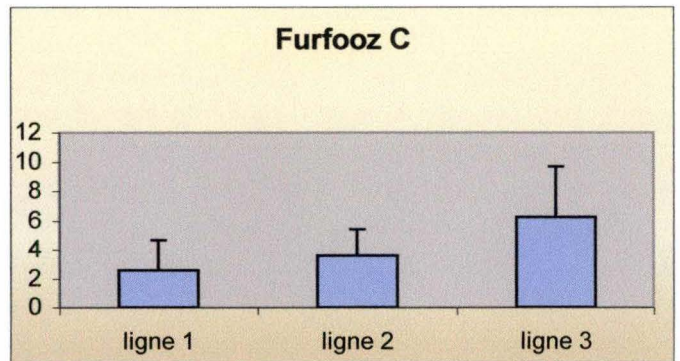
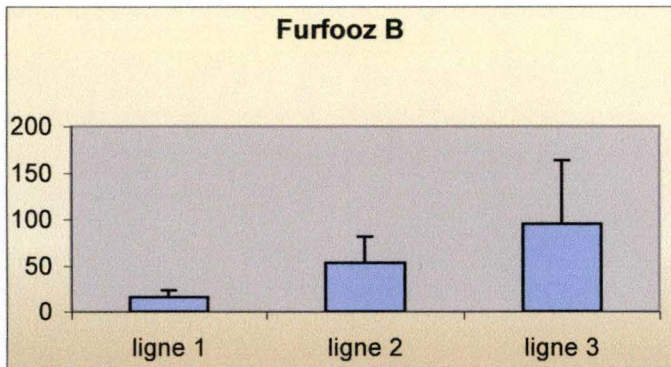
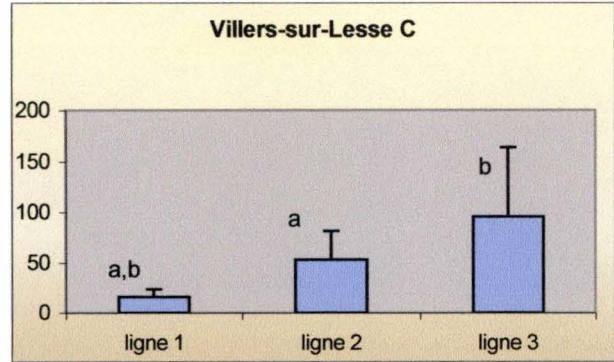
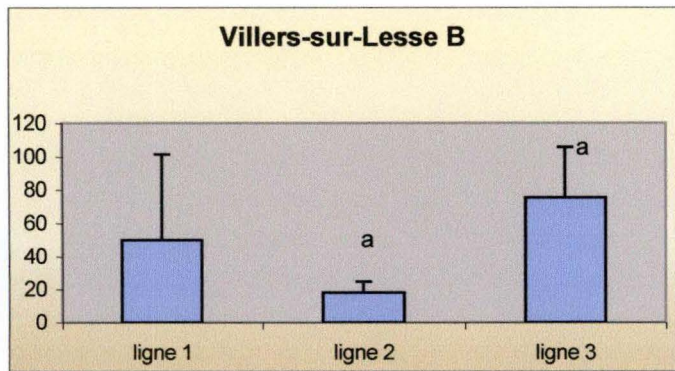
Figure 3-14 : Richesse spécifique et équitabilité des peuplements de carabes sur les berges aménagées (moyenne et écart-type)

### 3.2.4 Répartition spatiale des carabes

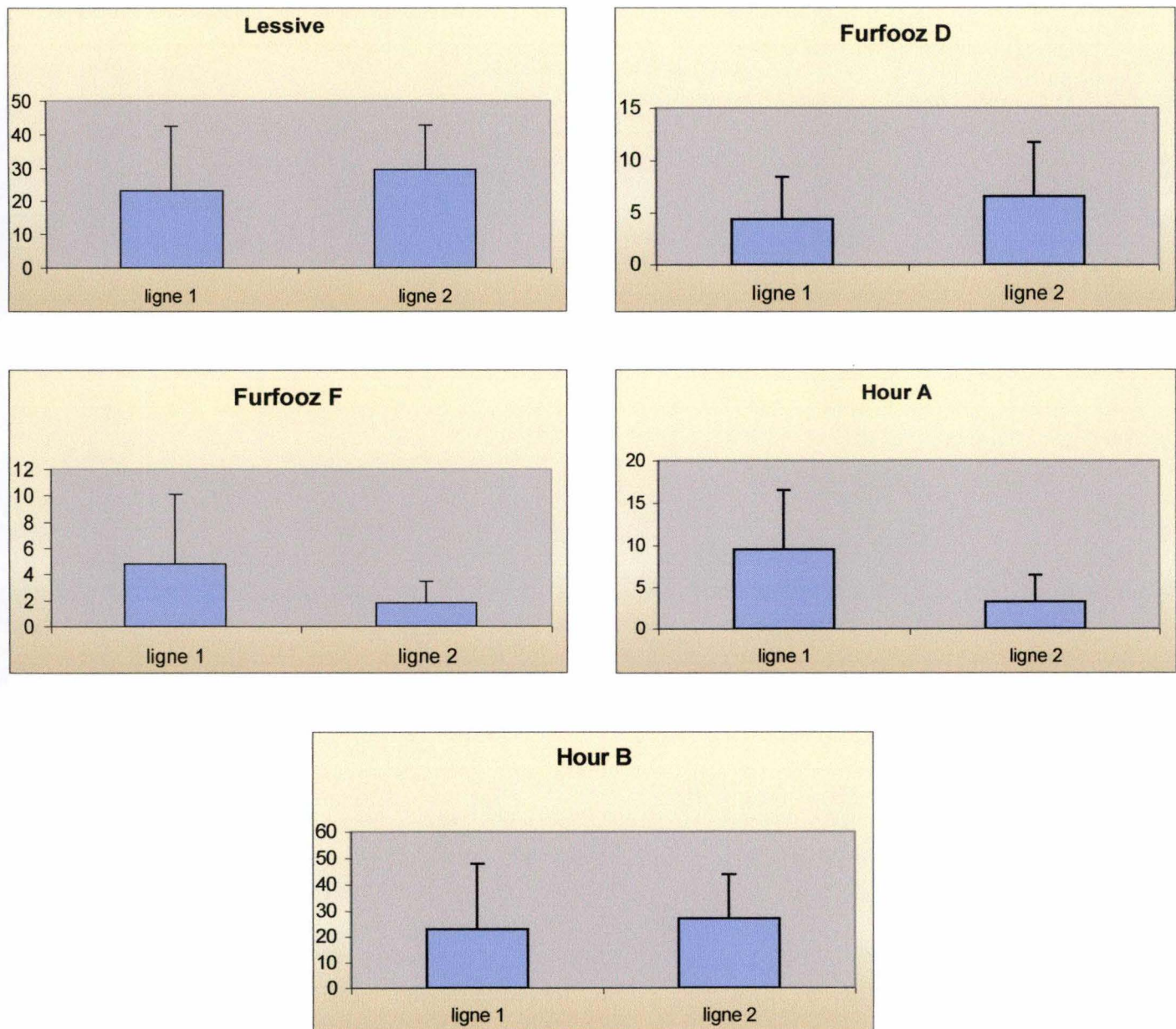
La méthode de piégeage utilisée était celle d'un arrangement spatial en grille (cf. 2.2.1). Nous voulions par ce procédé étudier la répartition des carabes sur la berge. Pour chaque station, nous avons étudié cette répartition sur les lignes de cette grille, deux lignes ou trois lignes selon la station.

Les figures 3-15, 3-16 et 3-17 représentent le nombre d'individus piégés par ligne et par période et ce, pour chaque station.

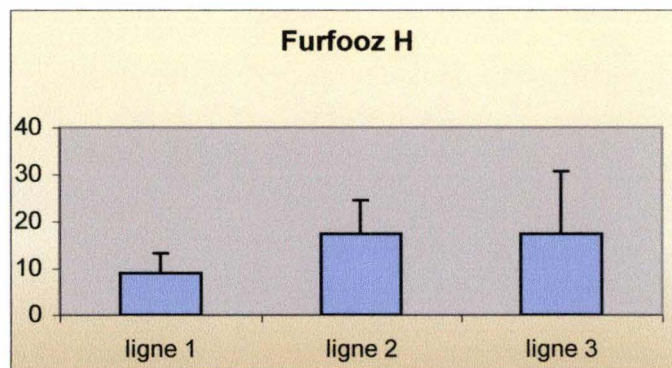
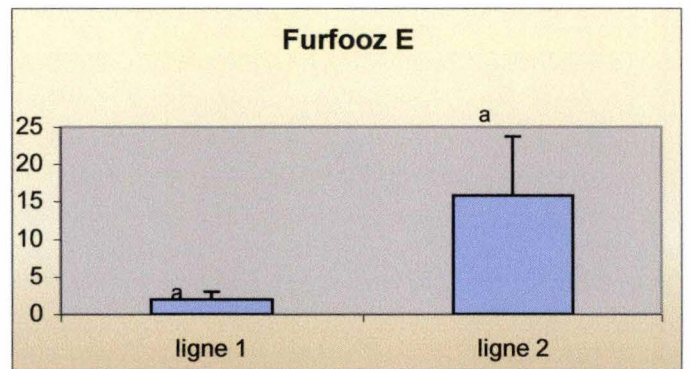
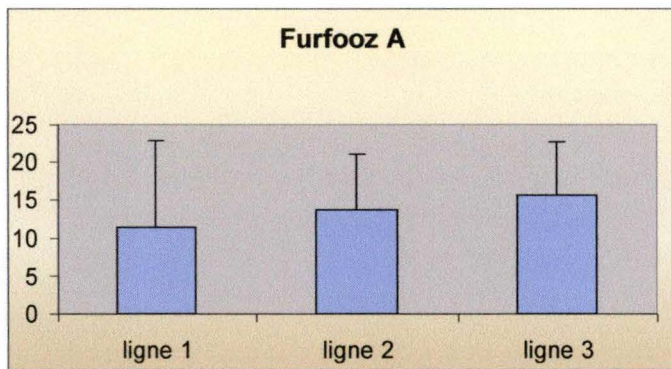
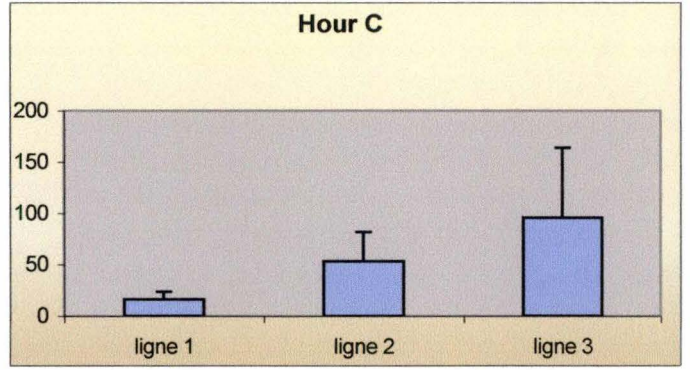
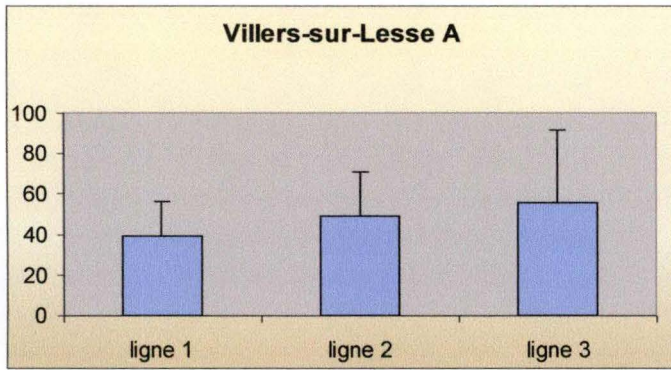
Seules 4 stations montrent des différences significatives entre les lignes de pièges. Par contre, pour l'ensemble des relevés, nous pouvons comparer la moyenne entre les lignes supérieures à la moyenne des lignes inférieures. Nous constatons que, dans 90 % des cas, la ligne supérieure (1) piège moins d'individus que la ligne 2 ou la ligne 3. L'hypothèse d'un éventuel gradient transversal se confirme. Ce gradient est probablement lié à l'influence du cours d'eau. Certaines espèces se retrouvent dans des milieux plus humides.



**Figure 3-15: Abondance des carabes capturés par ligne et par période de collecte sur les 5 stations aménagées par des techniques végétales (moyenne saisonnière et écart-type). Les lettres (a ou b) font référence aux lignes entre lesquelles des différences statistiquement significatives sont observées (test bilatéral, échantillon pairé,  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ )**



**Figure 3-16: Abondance des carabes capturés par ligne et par période de collecte sur les 5 stations aménagées par des techniques minérales (moyenne saisonnière et écart-type). Les lettres (a ou b) font référence aux lignes entre lesquelles des différences statistiquement significatives sont observées (test bilatéral, échantillon pairé,  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ )**



**Figure 3-17: Abondance des carabes capturés par ligne et par période de collecte sur les 5 stations naturelles (moyenne saisonnière et écart-type). Les lettres (a ou b) font référence aux lignes entre lesquelles des différences statistiquement significatives sont observées (test bilatéral, échantillon pairé,  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ )**

### 3.2.5 Répartition temporelle des carabes

Hormis la répartition spatiale, il peut être intéressant d'étudier la phénologie des espèces capturées sur l'ensemble de la période d'échantillonnage (annexe 6). Nous avons pu piéger des espèces présentes sur la période entière (annexe 4): *Agonum assimile*, *A. pallipes*, *Bembidion lampros*, *B. properans*, *B. tetracolum*; *Pterostichus cupreus*, *P. nigrita*, *P. strenuus*, ... D'autres espèces ne sont apparues qu'en fin d'échantillonnage comme *Agonum viduus*, *Carabus granulatus*, *Ophonus pubescens*, ...

Enfin, certaines espèces apparaissent de manière ponctuelles, elles ne sont bien souvent représentées que par quelques individus: *Agonum viridicupreus*, *Amara nitida*, *Clivina collaris*, *Nothiophilus biguttatus*, *Ophonus griseus*, *Platyderus ruficollis*, *Pterostichus gracilis*, ...

### 3.2.6 Conclusions

Parmi les espèces piégées durant la période de récolte, la dominance de certaines espèces a été établie. En effet, voici les espèces les plus importantes; *Agonum assimile*, *A. pallipes*, *Bembidion lampros*, *B. properans*, *B. tetracolum*, *Nebria brevicollis*, *Pterostichus cupreus*, *P. nigrita* et *P. strenuus*. Les espèces les plus abondantes sont très souvent les mêmes dans toutes les stations, seul le nombre d'individus diffère. La découverte d'une espèce, n'ayant jamais été recensée en Belgique, *Platyderus ruficollis*, vient s'ajouter au nombre d'espèces piégées.

La richesse spécifique observée dans les stations naturelles et aménagées par des techniques végétales est plus importante que celle présente dans les stations aménagées par des techniques minérales. Par contre, ces dernières présentent une équitabilité plus élevée. La différence existant avec les deux autres types de berges n'est pas assez grande pour conclure à une éventuelle diversité supérieure dans ces stations.

Le dispositif de piégeage compte deux ou trois lignes selon la faisabilité. La comparaison entre ces lignes a montré des différences significatives pour les stations de Villers-sur-Lesse B, Villers-sur-Lesse C et Furfooz E. Ceci nous montre qu'aucune ligne ne peut être privilégiée lors d'un échantillonnage. De par l'expérience acquise sur le terrain, la disposition des lignes requiert tout de même quelques attentions: la ligne de piégeage du pied de berge peut être influencée par la fluctuation du niveau d'eau, le piégeage de la ligne du haut du talus peut être également altérée par la fréquentation des sites.

### **3.3. Association des carabes à une station**

Jusqu'à présent, nous avons caractérisé nos 15 stations à l'aide des variables biotiques végétales et abiotiques. La biodiversité et la répartition des carabes dans ces mêmes stations ont été étudiées.

Arrivé à ce stade, les communautés de carabes peuvent servir à caractériser les 15 stations d'échantillonnage. Pour ce faire, les méthodes de groupement et les méthodes d'ordination sont de nouveau utilisées.

#### **3.3.1 Similarité**

Une matrice de similarité est réalisée, elle compte 15 objets-stations (lignes) et 53 descripteurs-carabes (colonnes). L'indice de Steinhaus est préféré à l'indice de Kulczynski ; les deux indices sont appropriés aux variables quantitatives et exclus les doubles zéros.

Pour effectuer l'analyse factorielle des correspondances (AFC), la matrice de similarité est construite de deux manières différentes, l'indice de Steinhaus étant toujours employé. La première compte 6 objets-aménagements (lignes) et 36 descripteurs-carabes. La seconde matrice est basée sur 15 objets-stations (lignes) et 36 descripteurs-carabes (colonnes). La matrice effectuée sur 6 objets permettra peut-être de distinguer les stations selon le type d'aménagement effectué.

#### **3.3.2 Groupement hiérarchique**

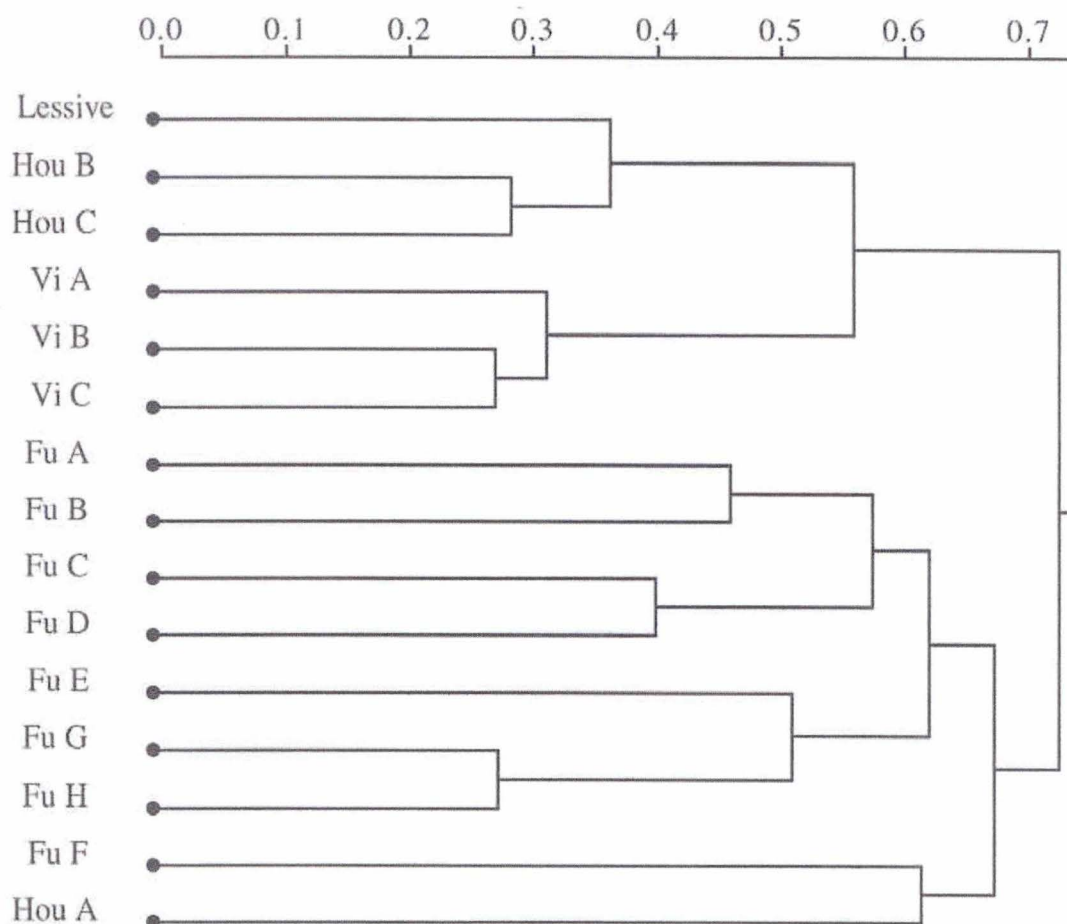
Le groupement (figure 3-18) des stations sur base de leur coefficient de similarité (indice de Steinhaus) est obtenu grâce à la méthode de Lance et Williams, en association moyenne (UPGMA), associe certaines stations.

Les stations de Villers-sur-Lesse B et Villers-sur-Lesse C se groupent avec un coefficient de similarité de 0,72 ( $D = 0.28$ ) et Villers-sur-Lesse A vient s'y grouper juste derrière (coefficient de 0,32). Ces trois stations ont des peuplements similaires, c'est-à-dire que les espèces dominantes sont les mêmes, à savoir : *Agonum assimile*, *A. pallipes*, *Bembidion elongatum*, *B. properans*, *B. tetracolum*, *Pterostichus cupreus*, *P. nigrita* et *P. strenuus*. Ces trois stations sont celles où le nombre d'espèces piégées est le plus important: 30 espèces à Villers-sur-Lesse A, 40 à Villers-sur-Lesse B et 29 à Villers-sur-Lesse C.

Les stations de Hour B et de Hour C sont assemblées (coefficient de 0,71), la station de Lessive vient s'y associer avec un coefficient de 0,63. Certaines espèces présentes dans cette station se démarquent : *Agonum pallipes*, *Nebria brevicollis*, *Pterostichus cupreus* et *P. versicolor*. A nouveau, le nombre d'espèces capturées peut expliquer ce groupement: 19, 23 et 21, respectivement à Hour B, Hour C et Lessive.

Enfin, deux stations méritent de s'y attarder: les stations de Furfooz G et de Furfooz H. Pour un coefficient de similarité de 0,72, ces stations sont groupées. Pourtant, nous ne pouvons mettre des peuplements similaires entre ces deux stations. Si une espèce est recensée à Furfooz G, elle ne se retrouve généralement pas à Furfooz H. Seule l'espèce *Carabus*

*granulatus* se retrouve dans les deux stations et avec le même nombre d'individus piégés (2). Certaines espèces dominent à Furfooz G (exemple : *Agonum obscurus*) mais elles ne sont pas présentes de manière importante à Furfooz H et inversement. Le nombre d'espèces des deux stations étant proche, 20 espèces à Furfooz G et 22 à Furfooz H.



**Figure 3-18 : Groupement selon l'association moyenne (UPGMA) basé les espèces de carabes, l'échelle représente la distance (D) entre les stations (D = 1 - coefficient de similarité)**

### 3.3.3 Groupement non hiérarchique

Pour  $k = 7$  (figure 3-19), certains groupements mis en évidence par la méthode de l'association moyenne se retrouvent lors de l'utilisation de la méthode k-means. Les stations de Villers-sur-Lesse sont associées, les stations de Hour B, Hour C et Lessive le sont également. Par cette méthode, nous n'avons pu mettre d'autres groupes en évidence.

k = 7

Fu B  
Fu C  
Fu F

Fu A  
Fu E  
Fu H

Fu G

Fu D

HA

VA

VB

VC

L

HB

HC

**Figure 3-19 : Groupement des stations(k-means) effectué sur base des espèces de carabes**

### 3.3.4 Méthode d'ordination

Pour rappel, deux matrices de similarité sont effectuées: l'une comptant 6 objets (aménagements) et l'autre 15 (stations). Par après, une AFC sera réalisée sur ces deux matrices. En fait, dans le premier cas, nous avons regroupé nos stations selon le type d'aménagement réalisé sur la berge : perré, enrochements, enrochements enterrés, caissons, plantations, naturelles. En second lieu, nous avons étudié les communautés de carabes sur chacune des quinze stations. Nous n'avons pris en compte que les espèces supérieures à trois individus, le nombre d'espèces considéré est donc de 36. Les espèces ne comptant qu'un ou deux individus sont éliminées. Les deux analyses et leurs résultats sont présentés ci-dessous.

#### 3.3.4.1 Peuplements de carabes par aménagements

Le premier axe explique 46 % de la variance totale tandis que le second axe en explique 23 %. Le premier plan factoriel explique donc 69 % de la variance totale. Dans la figure 3-20, quelques espèces se démarquent : *Carabus nemoralis* (Carnemo) et *Clivina collaris* (Clicoll) pour l'axe 1, *Nebria brevicollis* (Nebriab) et *Clivina fossor* (Clifoss) pour l'axe 1.

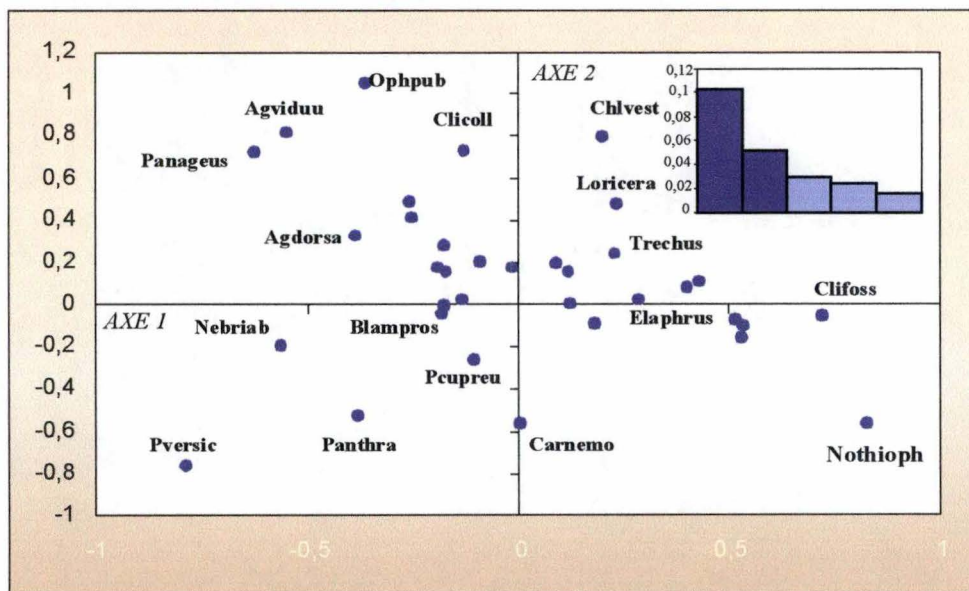


Figure 3-20 : Représentation des descripteurs dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2 de l'AFC de la matrice aménagements-espèces de carabes

Les stations regroupées en aménagements sont représentées à la figure 3-21. Sur l'axe 1, la technique du caisson se dissocie des aménagements minéraux. Pour l'axe 2, ce sont les plantations qui sont opposées aux enrochements enterrés, un gradient milieu ouvert- milieu fermé pourrait expliquer cet axe.

L'espèce eurytope *Pterostichus versicolor* (Pversic) expliquerait la position des enrochements enterrés. En effet, cette espèce est bien présente à Hour B.

Les stations aménagées à l'aide d'enrochements et d'un perré sont à priori des milieux où les espèces *Bembidion lampros* (Blampro), *Nebria brevicollis* (Nebriab) et *Pterostichus cupreus* (Pcupreu). Ces espèces sont toutes trois eurytopes, la dernière étant caractéristique des milieux ouverts.

Aucune autre espèce ne peut expliquer les berges naturelles et les berges aménagées par des techniques végétales, plantations et caisson.

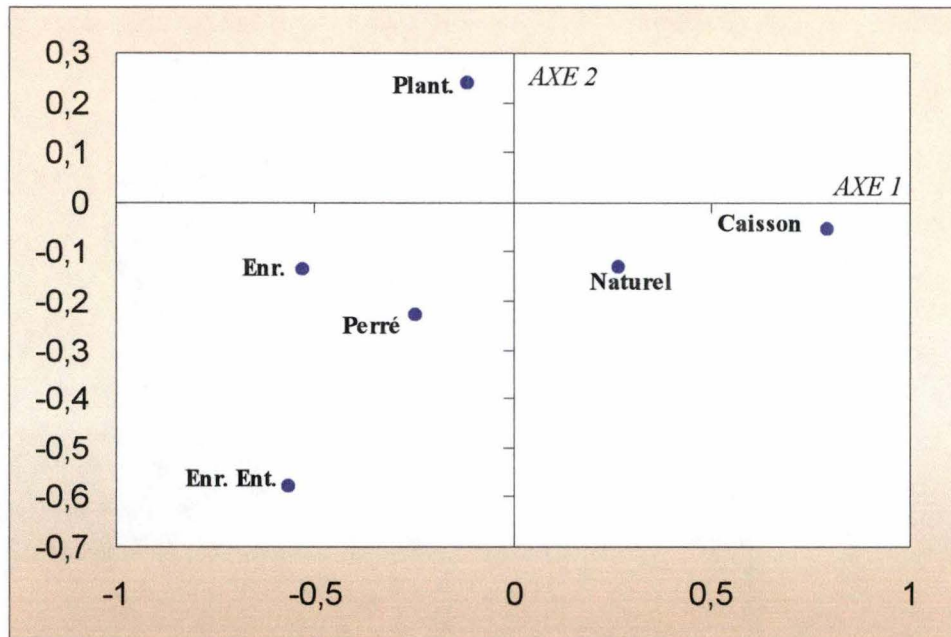


Figure 3-21 : Représentation des objets dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2 de l'AFC de la matrice aménagement-espèces de carabes

### 3.3.4.1 Peuplements de carabes par stations

En ayant 15 descripteurs (stations), une autre répartition des stations apparaît (figure 3-22 et 3-23). Les quatre premiers axes sont jugés intéressants. L'axe 1 explique 26 % de la variance totale, l'axe 2 explique 21 %, le troisième en explique 12 % et l'axe 4 explique 10 % de cette variance totale. Par ces quatre axes, il y a 69 % de la variance qui peut être expliquée.

Certaines espèces sont apparemment liées à certaines stations (figure 3-24 et 3-25). Ainsi, la station de Furfooz A est constituée d'une population de quelques espèces dominantes eurytopes: *Agonum assimile*, *Asaphidion flavipes*, *Loricera pilicornis*.

L'espèce, *Agonum assimile*, explique l'association des stations de Furfooz B et Furfooz C.

*Carabus nemoralis*, *Nebria brevicollis* et *Pterostichus versicolor* sont responsables de l'association des stations de Lessive, Hour B et Hour C; ces espèces sont également eurytopes.

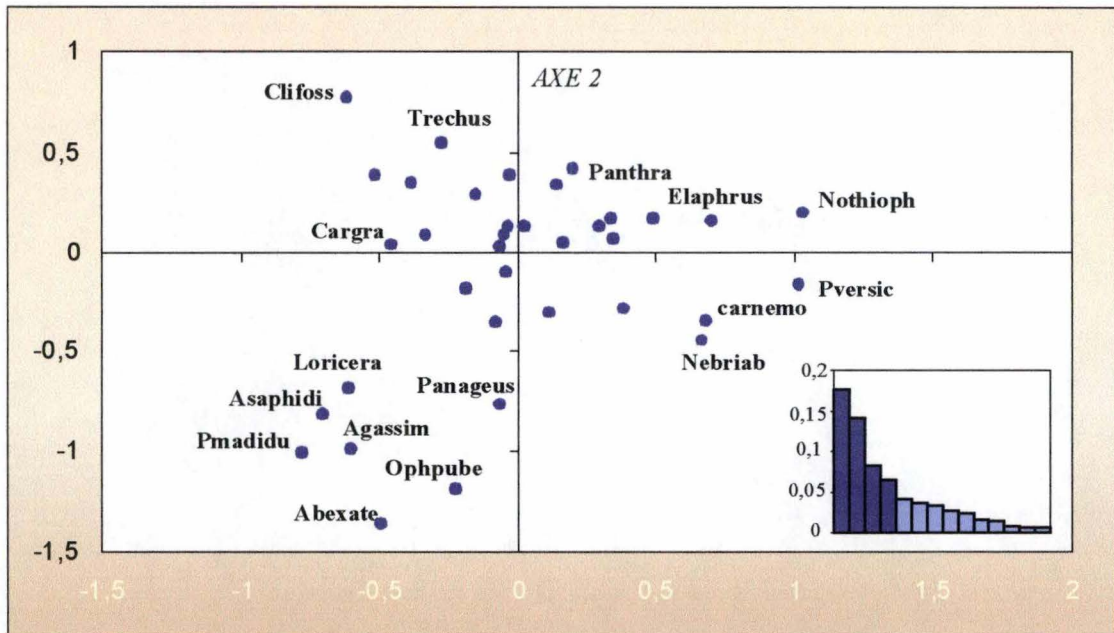


Figure 3-22 : Représentation des descripteurs dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2 de l'AFC stations-espèces, histogramme des valeurs propres

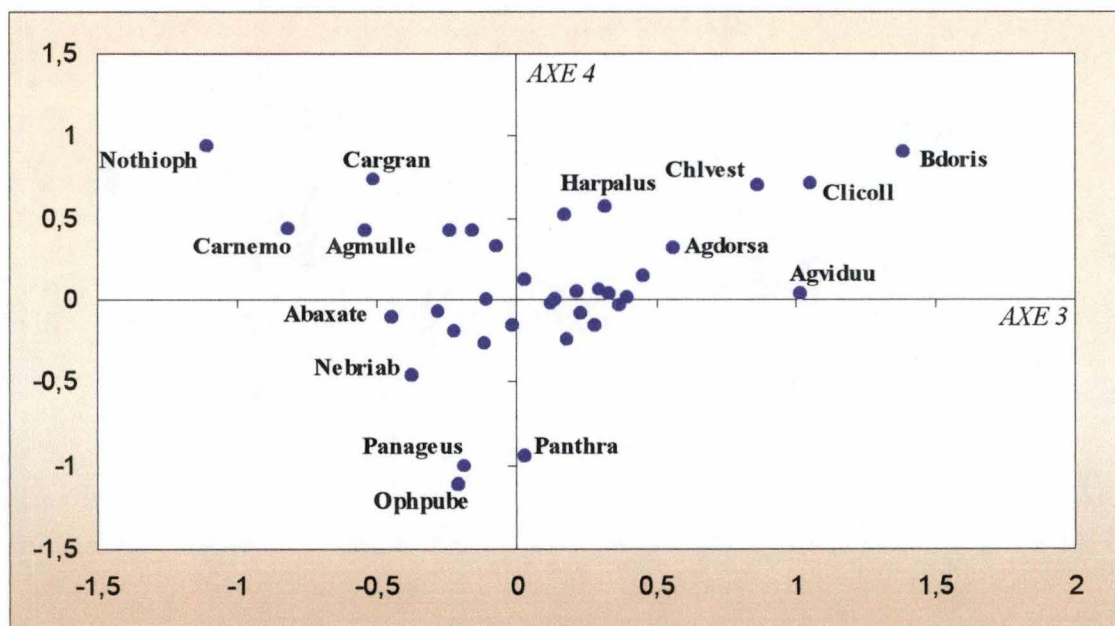


Figure 3-23 : Représentation des descripteurs dans le plan formé par l'axe 3 et l'axe 4 de l'AFC de la matrice stations-espèces

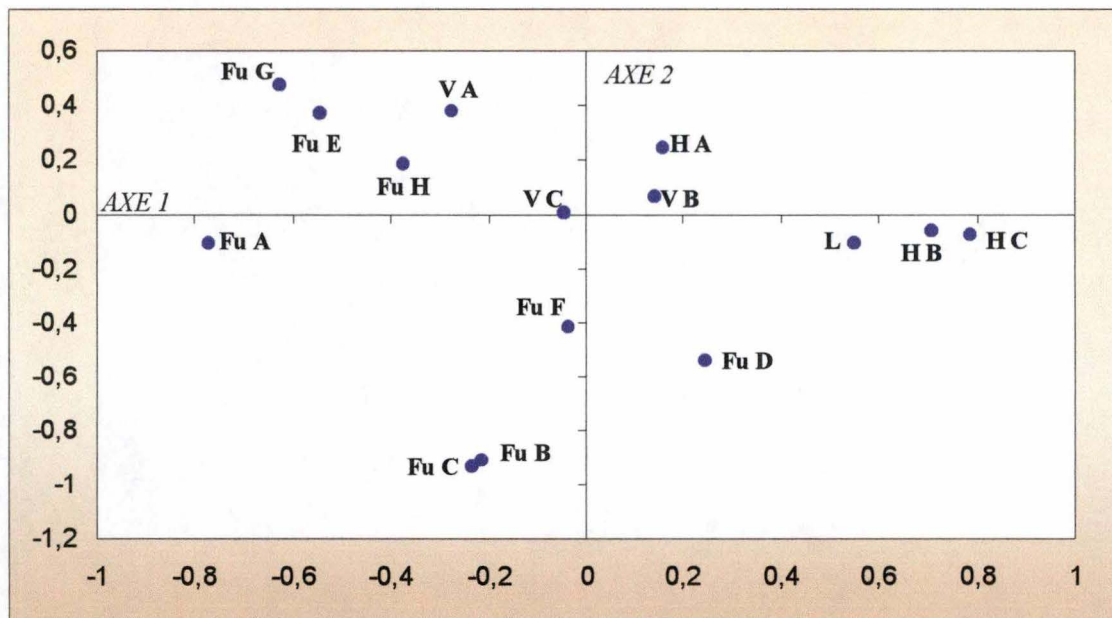


Figure 3-24 : Représentation des stations dans la plan formé par l'axe 1 et l'axe 2

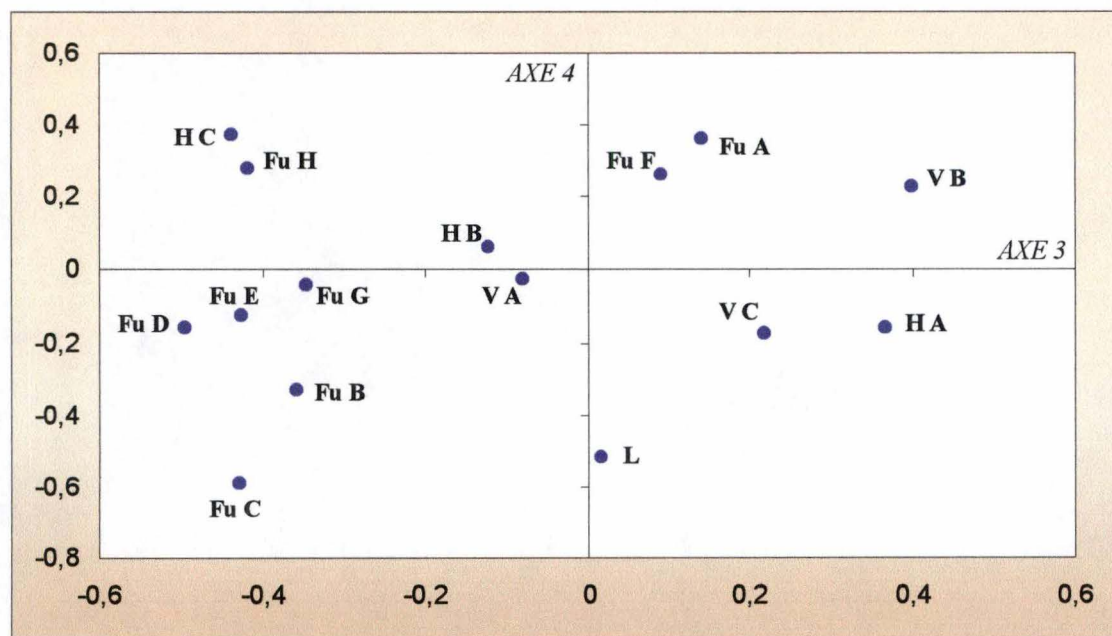


Figure 3-25 : Représentation des stations dans la plan formé par l'axe 3 et l'axe 4

### 3.3.5 Conclusions

A l'aide des méthodes de groupement, certaines stations ont pu être associées. Les stations de Villers-sur-Lesse présentent des espèces communes.

Les deux stations de Hour, B et C, se retrouvent également groupées. A nouveau, elles comptent des peuplements similaires, du point de vue des espèces et de leurs nombres.

La méthode par réallocation ne permet pas de mettre en évidence des groupes particuliers.

Quant à la méthode d'ordination, les deux types d'analyses effectuées permettent d'obtenir des associations carabes-aménagements et carabes-stations. Le premier traitement effectué met en évidence les stations aménagées avec des enrochements et un perré. Trois espèces peuvent expliquer ce groupement: *Bembidion lampros*, *Nebriabrevicollis* et *Pterostichus cupreus*.

La deuxième analyse cherchait à caractériser chaque station à l'aide d'espèces caractéristiques de ces stations. *Agonum assimile* semble lier les stations de Furfooz B et Furfooz C. Les stations de Lessive, Hour B et Hour C sont caractérisées par les espèces suivantes: *Carabus nemoralis*, *Nebria brevicollis* et *Pterostichus versicolor*.

Aucune espèce caractéristique des milieux rivulaires n'a pu expliqué la position des stations échantillonnées. De plus, nous n'avons jamais pu associer une espèce type avec une des 15 stations.

### **3.4 L'analyse canonique des correspondances**

#### **3.4.1 Introduction**

L'étape ultime de ce travail revient à comparer les variables environnementales avec les espèces de carabes.

Deux matrices regroupant deux types d'informations sont confrontées. L'une contient 15 objets-stations (lignes) et 11 variables environnementales-descripteurs (colonnes). Signalons quelques modifications en ce qui concerne le nombre de variables utilisées pour cette analyse: le pH du sol n'est pas retenu (données manquantes), les variables-aménagements sont divisées en trois catégories (aménagements effectués à l'aide de techniques minérales, de techniques végétales et les berges naturelles) et encodées sous la forme d'une variable binaire (0 ou 1). L'autre matrice est formée des 15 objets-stations (lignes) et des 36 descripteurs-espèces de carabes (colonnes). Les espèces prises en compte (36) sont celles possédant au moins trois individus collectés sur l'ensemble des pièges.

L'échelle de type 2 (scaling type 2) est préférée dans notre cas afin de conserver les distances entre les variables-réponses (Legendre & Legendre, 1998 ; ter Braak & Smilauer, 1998), c'est-à-dire dans notre cas les différentes espèces de carabes. Ceci nous permettra de mieux cibler les relations entre espèces de carabes et variables environnementales. Enfin, les données des deux descripteurs ont été standardisées : les variables environnementales ont été centrées et réduites, et les données d'abondance de carabes ont été transformées en logarithme ( $\log(n+1)$ ).

#### **3.4.2 Résultats**

Cette analyse peut compter au maximum 14 axes canoniques et 11 axes non-canoniques, ces derniers étant composés des valeurs résiduelles. La part de la variance expliquée par l'ensemble des axes canoniques est de 0,36, soit 70 % de la variance totale de la matrice espèces-stations. Les quatre premiers axes canoniques expliquent respectivement 15 %, 14 %, 11 % et 9 % de la variance totale des données carabes. Ces pourcentages relativement faibles sont fréquents lors d'analyse réalisée sur des données d'abondance d'espèces. Chacun de ces axes présente de très bonnes corrélations entre les variables environnementales et les espèces (respectivement,  $r = 0.984, 0.953, 0.931$  et  $0.977$ ). La relation canonique mise en évidence entre les variables environnementales et les espèces de carabes est statistiquement significative ( $p < 0,05$  pour 999 permutations, test de permutation de Monte-Carlo pour l'ensemble des axes canoniques sous le modèle réduit) (ter Braak & Smilauer, 1998).

L'ordination des variables environnementales et des espèces de carabes est illustrée aux figures 3-41 et 3-42. La participation des variables environnementales pour chaque axe est la suivante :

Axe 1 : la richesse spécifique en végétaux, la distance eau-piège (moyenne et amplitude) et les aménagements minéraux.

Axe 2 : la richesse spécifique en végétaux et les aménagements minéraux.

Axe 3 : les aménagements minéraux et végétaux, la richesse spécifique en végétaux.

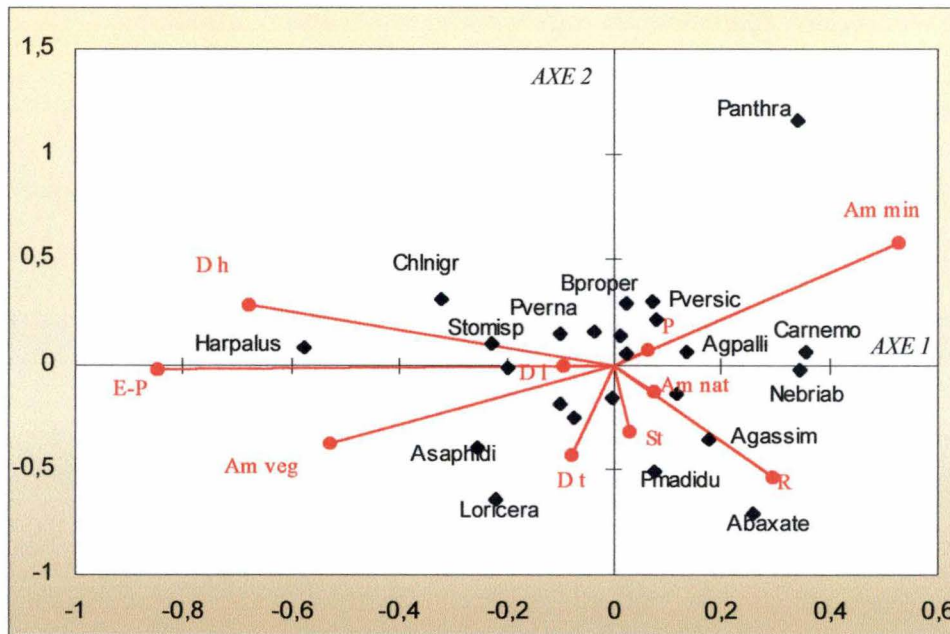
Axe 4 : les degrés stationnels de luminosité, trophique, hydrique, la richesse spécifique en végétaux, les aménagements minéraux et les aménagements végétaux.

Ainsi, nous constatons que chacune des variables mesurées contribue plus ou moins fortement à la répartition des différentes espèces de carabes. La construction du modèle de régression linéaire multiple montre d'ailleurs que chaque variable apporte une information supplémentaire à la compréhension de la variance globale de la matrice carabes-stations (tableau 3-6). Dans ce modèle, les variables environnementales sont ajoutées une à une aux variables précédentes afin d'améliorer la part de la variance canonique expliquée par le modèle. Les variables sont ainsi ajoutées dans l'ordre décroissant de leur apport respectif. Néanmoins seuls les 3 premières variables, qui à elles seules contribuent pour 50 % à la construction canonique du modèle, ont un apport statistiquement significatif ( $p < 0,05$ ) dans la compréhension de la variance de la matrice espèces-stations.

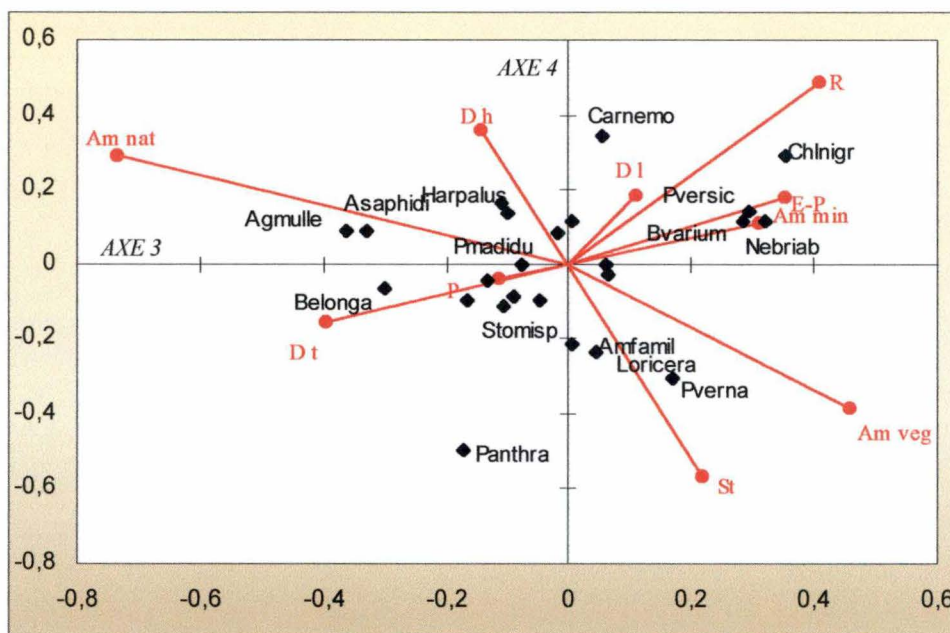
**Tableau 3-6 : Variables contribuant au modèle de régression linéaire multiple de l'ACC.  $p =$  probabilité de rejet de  $H_0$  ( $H_0 =$  la variable étudiée contribue à l'amélioration du modèle) par un test de permutation de Monte-Carlo (999 permutations).**

Variables	% de l'inertie canonique	% cumulé	p
E-P moyenne	19 %	19 %	-
Richesse en végétaux	17 %	36 %	0,020 *
Aménagement minéral	14 %	50 %	0,006 *
Degré trophique	11 %	61 %	0,151
Aménagement végétal	11 %	72 %	0,135
Degré lumineux	11 %	83 %	0,282
% recouvr. strate arbustive	6 %	90 %	0,574
Degré hydrique	6 %	94 %	0,742
Pente de la berge	6 %	100 %	0,705

Deux variables ne sont pas reprises dans le modèle car elles ne contribuent en rien à son amélioration. Il s'agit de la variable 'distance eau-pièges amplitude', et 'aménagement naturel'. Il s'agit en fait de variables possédant une forte colinéarité avec d'autres variables déjà ajoutées au modèle. La distance 'eau-piège amplitude' est corrélée à la distance 'eau-piège moyenne' (une seule station montre une distance élevée et une forte variation de ce paramètre). Par contre, l'information de type binaire 'aménagement naturel' est redondante puisque trouvée par défaut avec les réponses 0 aux variables 'aménagement minéral' et 'aménagement végétal'.



**Figure 3-41: Ordination des variables et des espèces selon l'axe 1 et l'axe 2 de l'ACC. Les points rouges représentent l'axe des variables environnementales (E-P = distance E-P moyenne et amplitude), les losanges noirs représentent les espèces de carabes qui contribuent à plus de 1 % de l'inertie totale des 4 premiers axes canoniques.**



**Figure 3-42: Ordination des variables et des espèces selon l'axe 3 et l'axe 4 de l'ACC. Les points rouges représentent l'axe des variables environnementales (E-P = distance E-P moyenne et amplitude), les losanges noirs représentent les espèces de carabes qui contribuent à plus de 1 % de l'inertie totale des 4 premiers axes canoniques.**

### 3.4.3 Caractère bioindicateur des espèces de carabes

Une analyse est réalisée sur les deux matrices stations-variables environnementales (X) et stations-carabes (Y). Les résultats nous permettront de voir si certaines espèces de carabes sont liées à une ou plusieurs variables environnementales. Notre attention se porte principalement sur les trois variables décrivant le type d'aménagement effectué sur les berges. Ainsi, certaines espèces pourront être considérées comme caractéristiques de certaines berges, aménagées à l'aide des techniques minérales, des techniques végétales ou naturelles.

Pour ce faire, une valeur, négative ou positive (proximité avec la variable), est attribuée à chacune des espèces de carabes et ceci pour chacune des trois variables. De plus, le poids et la tolérance sont deux facteurs apportant également une information. Un faible poids signifie que l'espèce est peu abondante dans l'ensemble des échantillons, une grande tolérance signifie que cette même espèce a une large distribution d'habitats.

Trois espèces peuvent caractériser (par leur absence ou leur présence) les aménagements minéraux : *Asaphidion flavipes*, *Loricera pilicornis* et *Pterostichus anthracinus*. Les deux premières espèces ont des valeurs négatives, c'est-à-dire qu'elles sont peu liées aux techniques minérales. En effet, ces espèces n'ont jamais été capturées sur ce type d'aménagement. Une valeur positive est attribuée à l'espèce *Pterostichus anthracinus*, signifiant le lien étroit existant entre cette espèce et les berges aménagées avec des techniques minérales. En effet, 50 % des individus piégés l'ont été sur ces berges. Cette espèce se rencontre dans la mousse, sous les pierres et les bois humides.

En ce qui concerne les aménagements de type végétaux, aucune espèce possédant une valeur positive, un poids élevé et une tolérance faible n'ont pu être mise en évidence. Par contre, l'espèce *Pterostichus anthracinus* est peu présente dans les sites aménagés par des techniques végétales, c'est-à-dire qu'elle est très peu liée à cette variable environnementale.

Les berges naturelles ne peuvent être caractérisées par aucune espèce.

En résumé, les deux espèces, *Asaphidion flavipes*, *Loricera pilicornis* ont montré des liens positifs avec les berges aménagées par des techniques végétales. tandis que *Pterostichus anthracinus* semble être une espèce indicatrice d'un aménagement minéral (présence) plutôt qu'un aménagement végétal (absence). D'autres espèces non présentes dans cette étude pourront éventuellement caractériser ces techniques à d'autres moments de l'année, non échantillonnées lors de cette étude.

## *IV. Discussion*

## 4. Discussion

La berge est un milieu où la diversité est grande vu sa position d'écotone entre les milieux terrestre et aquatique. Nous nous en sommes rendus compte lors de notre étude, tant sur le terrain qu'à l'occasion de nos travaux de détermination ; en plus des carabes, nous avons piégé une grande quantité d'autres invertébrés : diptères, hémiptères, annélidés.

### 4.1 Biodiversité

Durant la période d'échantillonnage (13 et 14/03 – 24/05), 3481 individus, répartis entre 53 espèces, ont été recensés. Certaines espèces capturées dans les 15 stations se révèlent être très abondantes, à savoir : *Agonum assimile* (235), *A. pallipes* (535), *Bembidion lampros* (188), *B. tetracolum* (557), *Nebria brevicollis* (262), *Pterostichus cupreus* (529), *P. nigrita* (423) et *P. strenuus* (178). L'espèce *Agonum pallipes* se rencontre dans des habitats rivulaires ; les autres espèces sont eurytopes et colonisent tous les milieux dont les berges. Par contre, d'autres espèces ne sont représentées que par un ou deux individus comme par exemple *Agonum viridicupreus*, *Amara eurynota*, *Ophonus griseus* et *Platyderus ruficollis*. Cette dernière espèce est présente à Villers-sur-Lesse, sur la station naturelle. Elle n'avait encore jamais été recensée en Belgique. Elle est très largement distribuée en Angleterre, elle est également présente en Irlande ; cette espèce est généralement liée à des substrats sableux (Lindroth, 1974).

L'ensemble de nos relevés nous a permis de nous rendre compte de la diversité des peuplements de carabes présent, notamment sur les 15 stations échantillonnées.

Des espèces caractéristiques des milieux rivulaires ont été recensées : *Agonum viduus*, *Bembidion doris*, *B. elongatum*, *B. quadriguttatum*, *B. varium*, *Chleanius nigricornis*, *C. vestitus*, *Elaphrus riparius*, *Panageus crux-major*, *Pterostichus anthracinus* et *Pterostichus gracilis*.

Nos échantillons contiennent des espèces rares selon Fournier & Loreau (1999) et Baufays (1994), à savoir : *Asaphidion flavipes* (35), *Bembidion elongatum* (84), *Pterostichus gracilis* (1), *Loricera pilicornis* (29) et *Trechus quadristriatus* (4). Ces espèces rares ont toutes été recensées dans des stations naturelles, bien qu'influencés de manière directe ou non par les facteurs anthropiques (agriculture, urbanisation, tourisme), et dans des stations aménagées à l'aide de techniques du génie végétal. Seuls trois individus de l'espèce *B. elongatum* ont été trouvés sur des berges aménagées avec des techniques minérales.

En Belgique, un peu plus de 380 espèces ont été identifiées (Desender et al., 1994). Desender et al. (1984) ont réalisé, durant l'année 1982, un recensement sur 5 cours d'eau de Flandre. Ils ont pu capturer 86 espèces. Baufays (1994) a étudié la répartition des peuplements de carabes de la haute et de la basse Meuse durant une année de prélèvements. Sur l'ensemble de ces stations, situées à la fois sur la Meuse et sur ces affluents, il avait pu piéger 88 espèces y compris certaines espèces qualifiées de rare comme *Agonum viduus*, *A. viridicupreus*, *Bembidion elongatum*. Celles-ci sont toutes des espèces sténotopes et donc inféodées à un type de milieu. Il est probable que le nombre plus faible d'espèces recensées lors de cette étude (53) pourrait être amélioré par une période de collecte plus longue, par exemple en piégeant en automne les espèces à reproduction plus tardive.

## 4.2 Répartition transversale

La méthode d'échantillonnage a permis d'étudier la répartition spatiale des carabes, par la mise en évidence d'un gradient transversal (haut du talus-pied de berge). Pour trois stations, une différence significative entre les lignes de piégeage a pu être mise en évidence. Le gradient est toujours du haut vers le bas de la berge, avec un nombre d'individus piégés plus important aux lignes relativement proches du cours d'eau. Par ailleurs, la comparaison simple, c'est-à-dire sans test de probabilité, montre vite une différence entre les lignes de piégeages. Les captures en terme de d'abondance totale varient dans le sens d'un gradient croissant entre la ligne 1 (haut de talus), la ligne 2 et la ligne 3 (ped de berge). Les variables environnementales étudiées ainsi que d'autres variables comme l'activité des carabes, directement liée à la disponibilité en nourriture, la prédation, la composition du substrat, peuvent être responsables de cette variation spatiale. La méthode en cercle (Boscaini et al., 1998), utilisée fréquemment pour échantillonner dans les cultures ou les forêts, est moins adaptée à la berge.

## 4.3 Evolution temporelle

Certaines espèces, comme *Agonum pallipes*, sont présentes durant toute la période d'échantillonnage alors que d'autres ne sont apparues que ponctuellement. Plusieurs raisons peuvent être invoquées : les inondations qui engendrent une modification du substrat, l'évolution de la végétation, la variation des conditions climatiques et la période de reproduction en sont quelques-unes. Signalons néanmoins que la brièveté de notre travail (72 jours de collecte) est peu adaptée à l'étude de la phénologie de ces espèces.

## 4.4 Facteurs environnementaux

Nous avons mis en évidence par diverses analyses (l'ACC en particulier) l'importance de certaines variables environnementales. Pour rappel, toutes nos variables participent à l'explication de la variance totale mais trois d'entre elles prédominent : la distance eau-piège, la richesse spécifique des végétaux ainsi que les aménagements de type minéral. Il ne faut pas pour autant conclure en affirmant que par exemple le niveau d'eau est le facteur déterminant. En effet, les mesures ont été obtenues sur de courtes périodes (5 relevés de 15 jours). De plus, si une mesure élevée est incluse dans les résultats, celle-ci peut rapidement influencer la tendance de la variable 'distance eau-piège'. En fait, l'ensemble des facteurs détermine des microclimats particuliers. La répartition spatiale et temporelle varie donc à mesure que ces facteurs fluctuent. A notre niveau, c'est-à-dire à l'échelle de nos stations, nous avons donc mis en évidence les paramètres influençant la répartition des espèces de carabes. Nous avons vu dans l'introduction que plusieurs auteurs qualifient la composition du substrat comme facteur déterminant (Den Boer, 1963 ; Thiele, 1977). D'autres facteurs de répartition sont jugés intéressants : la pente de la berge (Palmen & Platanoff in Lott, 1996), la structure de la végétation (Talvi, 1995) et les facteurs biotiques, prédation et compétition (Thiele, 1977). La composition du substrat (granulométrie) et les facteurs biotiques n'ont malheureusement pas pu être étudiés lors de ce travail. Par contre, la pente de la berge, facteur pris en compte lors de notre étude, ne nous a pas semblé être un facteur déterminant principal des espèces de carabes, tandis que l'importance de la structure de la végétation est à nouveau soulignée.

## 4.5 Aménagements

L'impact des aménagements a également été étudié. La richesse, la diversité de Shannon et l'équitabilité évoluent suivant le type de berges. Le nombre moyen d'espèces recensées sur les berges aménagées avec des techniques végétales (25) et les berges naturelles (23) est plus élevé que celui observé sur les berges aménagées par des techniques minérales (17). Quant à la diversité, elle est quasi identique entre les trois types de berges. L'équitabilité est un peu plus importante sur les stations aménagées à l'aide de techniques minérales (0.83) que sur les autres stations naturelles (0.73) et aménagées par les techniques végétales (0.76). D'autre part, lors des analyses multivariées basées sur les variables environnementales, les communautés végétales et les carabes, rarement les méthodes de groupement et d'ordination n'ont permis de classer les stations sur base de l'aménagement subi ou de son caractère naturel. De plus, par l'étude de l'importance relative des diverses variables environnementales dans l'explication de la variance des résultats carabes, seul l'aménagement de type minéral a semblé structurer en partie les peuplements de carabes.

## 4.6 Caractère bioindicateur des carabes

Une espèce, un groupe d'organismes sont considérés comme bioindicateurs d'une qualité s'ils peuvent montrer, par des modifications quantitatives ou qualitatives (Helawell, 1986), un impact d'une pollution, d'un aménagement, ... Pour les macroinvertébrés aquatiques, les genres, les espèces et le nombre d'individus sont tenus en compte lors de l'établissement d'un indice dans un type de milieu.

Nous pouvons considérer nos carabes, c'est-à-dire le nombre d'espèces et le nombre d'individus par espèces, pour caractériser le milieu étudié, les berges dans notre cas. Nous avons constaté que certaines espèces se sont révélées être plus abondantes que d'autres. Ces espèces abondantes sont souvent très répandues, eurytopes, sauf *Agonum pallipes* qui est sténotope aux milieux rivulaires. Cette espèce se retrouve dans les trois types de berges, aménagées ou non. Celle-ci ne peut donc pas être définie comme indicatrice pour un de ces types de berges. Par ailleurs, les berges naturelles ou aménagées ont sans nul doute subi les influences anthropiques. D'une certaine manière, nous voyons que si elles ont subi de fortes influences, les aménagements, et de faibles influences (agriculture, tourisme), elles ont des peuplements similaires. Par l'analyse canonique des correspondances, nous avons mis en évidence une espèce liée aux enrochements, *Pterostichus antracinus*. Seuls 17 individus ont été recensés. Nous ne pouvons donc pas généraliser en disant que cette espèce est indicatrice des berges aménagées par des techniques minérales.

Ce genre de travail devant requérir des connaissances systématiques importantes, le nombre de stations choisis (15), le nombre de pièges placés dans chacune des stations, le temps des relevés et des tris, sont quelques facteurs ayant engendré une période d'échantillonnage courte. En effet, ces études demandent de s'intéresser à l'ensemble de la population pouvant coloniser un milieu. Autrement dit, le cycle annuel des espèces devrait mieux être pris en compte. La Lesse est un cours d'eau influençant fortement les milieux proches, les berges en particulier. L'étude annuelle des peuplements de carabes sur ce cours d'eau n'est sans doute pas possible, le choix de période représentative d'espèces dites "reproducteurs de printemps" et "reproducteurs d'automne" doit pouvoir montrer les espèces caractéristiques du milieu, les plus fréquentes et les espèces les plus rares.

V. CONCLUSIONS ET  
PERSPECTIVES

## 5. Conclusions et perspectives

L'étude des peuplements de carabes sur différents types de berges naturelles et aménagées par techniques végétales et minérales a mis en évidence l'importance de certaines variables environnementales dont principalement la richesse spécifique des végétaux. La diversité est intéressante (53 espèces différentes) mais elle montre un caractère eurytope de la plupart des espèces.

Le piégeage des carabes montre une plus grande diversité sur les berges naturelles et les berges aménagées par des techniques du génie végétal.

Un des objectifs était de voir si les carabes pouvaient être utilisés comme bioindicateurs d'une certaine qualité écologique des berges. Le lien établi entre l'espèce *Pterostichus anthracinus* et les berges aménagées par des techniques minérales, nous montre que certaines espèces pourraient indiquer une qualité écologique. La courte période d'échantillonnage ne nous a pas permis de recenser toutes les espèces présentes sur certaines berges. Un travail sur une plus longue période pourrait mettre en relation d'autres espèces avec ces berges aménagées ou non.

Une espèce ou un groupe d'organismes est considéré comme bioindicateur s'il est directement lié à la variable environnementale. Les paramètres mesurés lors de la période d'échantillonnage sont plus ou moins liés aux espèces de carabes.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons essentiellement aux variables de type aménagement. Nous n'avons pas pu montrer de manière directe le lien entre ces aménagements et les espèces de carabes. Même si la variable 'aménagement minéral' est lié aux carabes, nous ne pouvons conclure en disant que ces invertébrés sont des bioindicateurs.

Les carabes sont liés à un grand nombre de facteurs de répartition. Dès lors, l'utilisation des carabes en tant que bioindicateur d'une certaine qualité écologique des berges ne semble pas approprié dans le cas de notre étude. Dans ces milieux, très diversifiés, une multitude de facteurs évoluent sans cesse. Les carabes sont peut-être des insectes trop sensibles à plusieurs facteurs en même temps.

Il faut insister sur le fait que cette étude est limitée dans le temps. Il serait donc intéressant de développer cette expérience sur un laps de temps plus important correspondant au cycle de vie des espèces en respectant le protocole standardisé suivant:

- l'utilisation d'une technique de piégeage similaire,
- la mise en relation avec différents facteurs environnementaux (ceux mesurés dans ce mémoire et d'autres comme la composition du substrat, les mesures de précipitation et de température),
- les relevés à effectuer tous les 15 jours si les conditions climatiques et anthropiques le permettent,
- les paramètres à mesurer plus fréquemment lors des relevés: mesures de précipitations et de température.

Ce mémoire met en évidence l'importance de la colonisation faunistique des berges et donc la nécessité de prendre ce paramètre en compte lors des aménagements notamment par le choix des espèces semées et plantées.

*BIBLIOGRAPHIE*

## Bibliographie

**Amoros, C., Petts, G.E.**, 1993, Hydrosystèmes fluviaux, Coll. d'écologie 24, *Masson*, Paris, 300 p

**Andersen, J.**, 1995, A comparison of pitfall trapping and quadrat sampling of Carabidae (Coleoptera) on river banks, *Entomologica Fennica*, Vol. 6, pp 65-77

**Baguette, M.**, 1992, Sélection de l'habitat des carabidae en milieu forestier, Thèse de doctorat, Faculté des sciences biologiques, U.C.L., 103 p

**Baguette, M., Dufrière, M.**, 1989, Etude préliminaire des traits d'histoire naturelle et des caractéristiques écologiques des Carabides en expansion et en régression en Belgique, *Notes faunistiques de Gembloux* 18, pp 19-34

**Baufays, P.**, 1994, Etudes des communautés fluviales de Carabides le long d'un gradient biogéographique de la haute Meuse, Mémoire de fins d'études, U.C.L., 71 p

**Baert, L., Desender, K., Maelfait, J-P.**, 1989, Some examples of the practical use of spiders and carabid beetles as ecological indicators, Comptes-rendus du symposium " Invertébrés de Belgique", pp 437-442

**Benzécri, J.P., et coll.**, 1973, L'analyse des données. Tome II : L'Analyse des Correspondances. Ed. Dunod, Paris. 619 p.

**Berthelmann, J., Gerken, B., Dörfer, K., Kamps-Schob, S., Gertenbach, D., Buschmann, M.**, 1991, Composition and distribution of carabid communities along rivers and ponds in the region of upper weser (Nw/ Nds/ Frg) with respect to protection and management of a floodplain ecosystem, *Regulated Rivers: Research & Management*, Vol. 6, pp 313-320

**Blamey, M., Fitter, A., Fitter, R.**, 1997, Guide des fleurs sauvages, Les compagnons du naturaliste, Ed. delachaux et niestlé, 352 p

**Bohac, J.**, 1999, Staphylinid beetles as bioindicators, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74, pp 357-372

**Boscaini, A., Franceschini, A., Maiolini, B.**, 1998, The Role of Invertebrate Communities as Indicators of Environmental Characteristics of European River Margins, *European Wet Grasslands: Biodiversity, Management and Restoration*, pp 151-162

**Boscaini, A., Franceschini, A., Maiolini, B.,** non daté, Carabid (Insecta : Coleoptera) communities of riparian ecotones of some european rivers, *Aspetti ecologici E naturalistici dei sistemi lagunari E costieri*, pp 410-420

**Butovsky R.O.,** 1994, Carabids in roadside ecosystems: perspectives of bioindication, *Carabid Beetles: Ecology and Evolution*, in Desender K. et al, 1994, pp 241-246

**Desender, K.,** 1985, Liste des espèces de Carabes et de Cicindèles de Belgique, (Coleoptera, Carabidae), Documents de travail, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 21, pp 36

**Desender, K.,** 1986 a, Distribution and ecology of carabid beetles in Belgium (Coleoptera, Carabidae), Part 1, Documents de travail, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 26, pp 30

**Desender, K.,** 1986 b, Distribution and ecology of carabid beetles in Belgium (Coleoptera, Carabidae), Part 2, Documents de travail, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 27, pp 24

**Desender, K.,** 1986 c, Distribution and ecology of carabid beetles in Belgium (Coleoptera, Carabidae), Part 3, Documents de travail, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 30, pp 23

**Desender, K.,** 1986 d, Distribution and ecology of carabid beetles in Belgium (Coleoptera, Carabidae), Part 4, Documents de travail, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 34, pp 48

**Desender, K.,** 1989, Ecomorphological adaptations of riparian Carabid beetles, *Comptes-rendus du symposium "Invertébrés de Belgique"*, pp 309-314

**Desender, K.,** 1993, Loopkevers langs de grensmaas, *Jaarboek Likona*, pp 41-50

**Desender, K., Dufrière, M., Maelfait, J-P.,** 1994, Long term dynamics of carabid beetles in Belgium : a preliminary analysis on the influence of changing climate and land use by means of a database covering more than a century, *Carabid beetles: Ecology and Evolution*, pp 247-252

**Desender, K., Maelfait, J-P.,** 1999, Diversity and conservation of terrestrial arthropods in tidal marshes along the River Schelde: a gradient analysis, *Biological Conservation* 87, pp 221-229

**Desender, K., Pollet, M.,** 1988, Sampling pasture carabids with pitfalls: evaluation of species richness and precision, *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 53/ 3a

**Desender, K., Pollet, M., Segers, R.,** 1984, Carabid beetle distribution along humidity-gradients in rivulet-associated grasslands (Coleoptera, Carabidae), *Biol.Jb, Dodonaea*, 52, pp 64 - 75

**Desender, K., Segers, R.,** 1985, A simple device and technique for quantitative sampling of riparian beetle populations with some Carabid and Satphylinid abundance estimates on different riparian habitats (Coleoptera), *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 22 (4)

**Didier, J.,** 1997, Indice biotique d'intégrité piscicole pour évaluer la qualité écologique des écosystèmes lotiques, Thèse de doctorat, FUNDP, 313 p

**Direction de la Nature et des Forêts,** 1995, Communes et Biodiversité, Ministère de la Région Wallonne, 121 p

**Dufrêne, M.,** 1992, Biogéographie et écologie des communautés de carabidae en Wallonie, Thèse de doctorat, U.C.L., 197 p

**Dumé, G., Mansion, D., Rameau, J-C.,** 1989, Flore forestière française, Guide écologique forestier, Plaines et collines 1, 1785 p

**Dunn, J.P., Varchola, J.M.,** 1999, changes in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in farming systems bordered by complex or simple roadside vegetation, *Agriculture, Ecosystems and Environnement* 73, pp 41-49

**Evrard, M.,** 1996, Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes, *Presses universitaires de Namur*, Thèse de doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Namur, 205 p + annexes

**Fournier, E., Loreau, M.,** 1999, Effects of newly planted hedges on a ground-beetle diversity (Coleoptera, Carabidae) in an agricultural landscape, *Ecography* 22, pp 87-97

**GIREA,** 1987, Aménagement écologique des berges des cours d'eau navigables, La berge, interface terre-eau : ses caractéristiques, fonctions et utilisations, Ministère des travaux publics, Rapport 1, Administration des voies hydrauliques, 68 p

**GIREA,** 1989, Aménagement écologique des berges des cours d'eau navigables, Comparaisons des différentes techniques de consolidation de berge et recommandations, Ministère des travaux publics, Rapport 3, Administration des voies hydrauliques, 62 p + annexes

**GIREA,** 1999, Réhabilitation de bandes riveraines : synthèse et applicabilité en Wallonie, Ministère de la région wallonne, Service des Cours d'Eau non Navigables, 120 p

**Hellawell, J.M.,** 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management, *Pollution Monitoring Series*, Elsevier applied science publishers, 546 p

**Jacob, J-P., Paquay, M.,** 1992, Oiseaux nicheurs de Famenne, Atlas de Lesse et Lomme, Aves et Région Wallonne, 360 p

**Lachat, B.,** 1994, Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales, DIREN Rhône Alpes, Ministère de l'environnement, 143 p

**Lameere, A.,** 1900, Faune de Belgique, Tome 2, Insectes inférieurs, Ed.Lamartin, Bruxelles, 857 p

**Legendre, L., Legendre, P.,** 1984, Ecologie numérique. 1. Le traitement multiple des données écologiques, Coll. d'écologie 12, Ed.Masson, Paris, 254 p

**Legendre, L., Legendre, P.,** 1984, Ecologie numérique. 2. La structure des données écologiques, Coll. d'écologie 13, Ed.Masson, Paris, 247 p

**Legendre, L., Legendre, P.,** 1998, Numerical Ecology, Developments in Environmental Modelling 20, Ed.Elsevier, 853p

**Legendre, P., Vaudor, A.,** 1991, Le logiciel R, Analyse multidimensionnelle, analyse spatiale, Université de Montréal, 144 p

**Legrand, M-A.,** 1997, Suivis et propositions d'expérimentations de techniques douces d'aménagement des berges sur la Lesse, Mémoires de fins d'études, FUNDP, 86 p + annexes

**Lenoir, C.,** 1998, Bilan de l'utilisation des techniques végétales pour la stabilisation des berges en Wallonie, Mémoires de fins d'études, FUNDP, 78 p + annexes

**Lindroth, C.H.,** 1974, Handbooks for the identification of British insects, Coleoptera, Carabidae, *R. Ent. Soc.*, London, 148 p

**Lott, D.,** 1996, Beetles by rivers and the conservation of riparian and floodplain habitats, *Environmental Monitoring, Surveillance and Conservation Using Invertebrates*, EMS Publications, Newcastle upon Tyne, pp 36-41

**Lott, D., Eyre, M.,** 1996, Invertebrate sampling methods, Environmental monitoring, Surveillance and conservation using invertebrates, *EMS Publications*, Newcastle upon Tyne, pp 9-13

**Luff, M.,** 1996, Environmental assessments using ground beetles (Carabidae) and pitfall traps, Environmental monitoring, Surveillance and conservation using invertebrates, *EMS Publications*, Newcastle upon Tyne, pp 42 - 47

**Michel, P.**, 1998, Nouvel outil d'évaluation des impacts des aménagements des milieux aquatiques, Détermination des potentialités piscicoles des berges, Méthode PPIB, Coll. Environnement de l'Université de Montréal 12, pp 315-323

**Ministère de la région wallonne**, 1996, Les cours d'eau non navigables, Programme de formation permanente pour la division de la nature et des forêts, module "qualité des cours d'eau", partie 1, partie 2, Service des cours d'eau non navigables, 74 p

**Niemeier, S., Reich, M., Plachter, H.**, 1997, Ground Beetle Communities (Coleoptera: Carabidae) on the Banks of Two Rivers in the Eastern Carpathians, the Ukraine, *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Band 27, pp 365-372

**Sustek, Z.**, 1994, Impact of water management on a carabid community (Insecta : Coleoptera) in a central European floodplain forest, *Quad. Staz. Ecol. Civ. Mus. St. Nat.*, pp 293-313

**Talvi, T.**, 1998, Carabid beetle assemblages (Coleoptera) in a wooded meadow and in the adjacent habitats on the Saaremaa Island, Estonia, *Entomologica Fennica* Vol. 6, pp 169-175

**ter Braak, C J F., Smilauer, P.**, 1998, CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows, Software for Canonical Community Ordination (version 4), 347 p

**Thiele, H-U.**, 1977, Carabid Beetles in Their Environments, A study on Habitat Selection by Adaptations in Physiology and Behaviour, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New-York*, 369 p

**Verniers, G.**, 1995, Aménagement écologique des berges des cours d'eau, Techniques de stabilisation, *Presses universitaires de Namur*, 77 p

**Zulka, K.P.**, 1994, Carabids in Central European floodplain: species distribution and survival during inundations, 1994, *Carabid Beetles: Ecology and Evolution*, Desender K. et al, pp 399-405

ANNEXES

Annexe 1: Effet de zones riveraines sur la rétention des nitrates (GIREA, 1999).

Location	Riparian zone type	Input NO <sub>3</sub> -N mg L <sup>-1</sup>	Retention %	Hydrogeologic setting	Groundwater flow path	Reference
Maryland, USA	19 m Deciduous forest	7.4*	90	Shallow aquifer clay at 1.5-3.0 m	Shallow lateral	Peterjohn and Correll, 1984
Georgia, USA	50 m Deciduous forest	6.8	98	Shallow aquifer plinthite at 0.9-1.5 m	Shallow lateral	Lowrance et al., 1984a
North Carolina, USA	47 m Forest	7.9	>90	Shallow aquifer over Impermeable layer	Shallow lateral	Jacobs and Gilliam 1985
Pennsylvania, USA	16 m Forest	7.3	>90	Redrock at 1 m	Shallow lateral	Schnabel, 1986
Southwest France	18 m Grass	15.3-22.6**	11-65	Clay at 4 m	Shallow lateral	Pinay and Decamps, 1988
New Zealand	130 m Deciduous forest	2.8-5.2	100	Impermeable subsoil at 0.3-1 m	Shallow lateral	Cooper, 1990
			(organic soils) 0-60			
			(mineral soils)			
Ontario, Canada	9 m Grass	0.6	>90	Sand aquifer >10 m	Upward	Robertson et al., 1991
Georgia, USA	20 m Grass	39	66-98	Shallow aquifer plinthite at 0.9-1.5 m	Shallow lateral	Lowrance, 1992
Rhode Is., USA	55 m Pine and deciduous forest	13.5	94	Glaciofluvial outwash	Lateral near water table	Simmons et al., 1992 Hanson et al., 1994
Denmark	31 m Deciduous forest	8	>80	2-3 m peat over deep sands	Overland flow and upward at depth	Brusch and Nilsson 1993
Southern England	15-25 m Fen	13	55	Impermeable clay at 1-2 m	Shallow lateral	Haycock and Pinay, 1993
Maryland, USA	20 m Poplar	2-9	99	Shallow aquifer clay at 1.2-2.5 m	Shallow lateral	Jordan et al., 1993
	16 m Grass	3.2	84			
Illinois, USA	55 m Deciduous forest	8	>95	Shallow aquifer dense basal till at 0.6-1.3 m	Shallow lateral	Osborne and Kovacic, 1993
	16 m Deciduous forest	10-27	93			
	39 m Grass	12-44	75-90			
Maryland, USA	Deciduous forest	11	Low	Sand aquifer 7-20 m	Upward	Phillips et al., 1993
New Zealand	5 m Pine forest	5	98	Shallow organic soil over clay	Shallow lateral	Schipper et al., 1993, 1994

\* Mean annual concentration.

\*\* Concentration range.

**Annexe 2:** Nombre de captures et abondance relative des espèces de micromammifères selon le type d'habitat et la méthode de piégeage, amplitude d'habitat des espèces capturées

Espèce	Nombre de captures selon le type de bande									Nombre total de captures				Amplitude d'habitat
	Herbacée			Arbustive			Boisée			Ligne de piégeage		Clôture de déviation		
	Ligne de piégeage	Clôture de déviation	Nb sites	Ligne de piégeage	Clôture de déviation	Nb sites	Ligne de piégeage	Clôture de déviation	Nb sites	n	%	n	%	
Musaraigne cendrée	59	33	6	116	50	6	105	53	6	280	35,4	136	20,4	2,84
Musaraigne fuligineuse	1	1	2	5	0	2	9	15	6	15	1,9	16	2,4	1,59
Musaraigne pygmée	1	0	1	3	0	2	0	1	1	4	0,5	1	0,2	2,27
Grande musaraigne	31	11	6	23	34	6	33	20	6	87	11,0	65	9,8	2,95
Condylure étoilé	0	4	3	0	0	0	0	3	2	0	0,0	7	1,1	1,96
Campagnol des champs	20	7	5	11	10	6	5	8	3	36	4,6	25	3,8	2,78
Campagnol à dos roux de Gapper	2	11	3	0	14	4	24	13	6	26	3,3	38	5,7	2,36
Souris commune	7	0	3	2	0	2	4	1	4	13	1,7	1	0,2	2,51
Souris sylvestre	0	0	0	3	0	1	54	11	6	57	7,3	11	1,7	1,09
Souris sauteuse des bois	0	0	0	1	0	1	1	2	2	2	0,3	2	0,3	1,60
Souris sauteuse des champs	74	78	6	92	121	6	95	153	6	261	33,0	352	52,7	2,89
Écureuil roux	1	0	2	1	0	1	5	1	4	7	0,9	1	0,2	1,68
Tamia rayé	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0,1	1	0,2	1,00
Hermine	0	3	2	3	7	4	1	1	2	4	0,1	11	1,7	1,99
<b>TOTAL</b>	<b>196</b>	<b>148</b>		<b>260</b>	<b>236</b>		<b>337</b>	<b>283</b>		<b>793</b>		<b>667</b>		

**Annexe 3 : Relevés de végétations sur les sites de piégeage (Lessive, Villers-sur-Lesse, Hour et Furfooz**

**Relevés floristiques des 8 stations de Furfooz (1=Fu F, 2=Fu E, 3=Fu D, 4=Fu C, 5=Fu B, 6=Fu A, 7=Fu G, 8=Fu H)**

Numéro de la station	1	2	3	4	5	6	7	8
Superficie de la station (m2)	24	32	32	40	48	32	40	40
Nombre d'espèces	43	35	54	51	45	28	40	38
<b>STRATE ARBUSTIVE (% recouvr.)</b>								
<i>Salix sp.</i>	4	-	3		2	+	1	-
<i>Cornus sanguinea</i>	1	-	-	1	-	-	1	-
<i>Alnus glutinosa</i>	+	-	1	2	2	1	2	-
<i>Fraxinus excelsior</i>	-	1	2	1	1	-	1	-
<i>Prunus padus</i>	-	1	-	1	+	+	1	-
<i>Carpinus betulus</i>	-	1	-	1	1	-	-	-
<i>Crataegus monogyna</i>	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Corylus avellana</i>	-	-	-	+	1	-	-	-
<i>Acer pseudoplatanus</i>	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Quercus robur</i>	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Sambucus nigra</i>	-	-	-	-	-	+	1	-
<i>Prunus spinosa</i>	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Sorbus aucuparia (1)</i>	1	-	-	-	-	-	1	-
<i>Evonymus europaeus (1)</i>	-	1	-	-	2	-	-	-
<i>Viburnum lantana (1)</i>	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>Prunus serotina (1)</i>	-	-	2	1	+	-	-	-
<b>STRATE HERBACÉE</b>								
<b>Espèces des prairies de fauche et pâtures</b>								
<i>Arrhenaterum elatius</i>	-	+	1	1	1	-	1	1
<i>Heracleum sphondylium</i>	1	1	+	+	-	-	-	-
<i>Alchemilla xanthochlora</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Anthriscus sylvestris</i>	-	-	+	-	-	-	-	+
<i>Alopecurus pratensis</i>	-	-	1	-	+	1	-	-
<i>Galium mollugo</i>	1	-	1	3	2	1	-	+
<i>Taraxacum sp.</i>	+	-	+	-	-	-	1	1
<i>Dactylis glomerata</i>	1	1	1	1	+	-	1	-
<i>Lolium perenne</i>	1	-	-	-	1	-	1	2
<i>Holcus lanatus</i>	1	1	-	1	1	-	1	-
<i>Stellaria graminea</i>	-	-	-	+	1	+	-	-
<i>Agrostis capillaris</i>	2	-	-	-	-	-	1	-
<i>Poa trivialis</i>	1	1	1	1	1	-	1	1
<i>Phleum pratense</i>	1	-	+	-	-	-	1	1
<i>Leucanthemum vulgare</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Primula veris</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>	-	-	+	-	-	-	1	-
<i>Hypericum perforatum</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Hypericum maculatum</i>	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Veronica chamaedrys</i>	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Plantago lanceolata</i>	+	-	1	-	-	-	3	+
<i>Vicia cracca</i>	-	-	1	+	-	-	-	-
<i>Lathyrus pratensis</i>	-	-	+	1	-	-	-	-
<i>Centaurea jacea</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Achillea millefolium</i>	-	-	1	1	+	-	1	1
<i>Cardamine pratensis</i>	+	-	+	-	+	-	-	-
<i>Elymus repens</i>	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>Agrostis stolonifera</i>	-	-	-	-	2	-	-	1
<i>Ranunculus repens</i>	2	2	1	-	+	-	1	+
<i>Trifolium repens</i>	1	1	2	-	-	-	2	2
<i>Poa annua</i>	2	2	-	-	-	-	-	2
<b>Espèces nitrophiles et rudérales</b>								
<i>Urtica dioica</i>	2	4	2	2	2	5	-	3
<i>Galium aparine</i>	3	3	2	3	2	2	-	1
<i>Aegopodium podagraria</i>	1	-	2	-	-	-	-	2
<i>Rumex obtusifolius</i>	+	-	+	1	1	-	2	1
<i>Cirsium vulgare</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Alliaria petiolata</i>	1	2	1	1	-	1	+	1
<i>Artemisia vulgaris</i>	1	-	+	+	-	+	1	+
<i>Tanacetum vulgare</i>	1	+	+	1	+	1	-	+

<i>Aethusa cynapium</i>	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Arctium lappa</i>	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>Plantago major</i>	1	1	-	-	-	-	1	1
<i>Geum urbanum</i>	1	1	1	+	+	1	-	-
<i>Cruciata laevipes</i>	-	-	+	-	1	-	-	-
<i>Lamium album</i>	-	2	1	-	+	-	-	+
<i>Dipsacus fullonum</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hesperis matronalis</i>	-	1	-	-	-	+	-	-
<i>Chaerophyllum temulentum</i>	-	1	+	-	-	-	-	+
<i>Lamium purpureum</i>	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Galeopsis tetrahit</i>	-	-	-	+	1	+	-	-
<i>Sonchus asper</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Cirsium arvense</i>	-	-	1	+	+	-	+	-
<i>Potentilla anserina</i>	1	-	-	-	-	-	+	-
<b>Espèces des zones humides, bords des eaux</b>								
<i>Phalaris arundinacea</i>	-	-	-	1	1	1	2	2
<i>Fillipendula ulmaria</i>	1	+	2	1	-	1	+	-
<i>Angelica sylvestris</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Valeriana repens</i>	1	-	-	+	-	-	-	-
<i>Eupatorium cannabinum</i>	-	-	-	1	-	+	-	1
<i>Lycopus europaeus</i>	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Impatiens noli-tangere</i>	-	-	-	+	-	+	-	-
<i>Stellaria nemorum</i>	1	2	1	+	2	-	-	-
<i>Barbarea vulgaris</i>	1	+	-	-	+	-	+	+
<i>Calystegia sepium</i>	1	1	1	1	1	+	+	-
<i>Polygonum persicaria</i>	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Scrophularia umbrosa</i>	+	-	-	-	1	1	-	+
<i>Symphytum officinale</i>	-	1	3	1	1	1	-	1
<i>Achillea ptarmica</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Mentha aquatica</i>	-	-	-	-	-	-	-	1
<b>Espèces des bois frais, humides</b>								
<i>Silene dioica</i>	-	+	1	+	+	-	-	+
<i>Ranunculus ficaria</i>	1	1	1	1	-	1	-	1
<i>Anemone ranunculoides (2)</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Geranium robertianum</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cardamine impatiens</i>	1	-	+					
<i>Stachys sylvatica</i>	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>Glechoma hederacea</i>	-	-	-	-	1	+	+	1
<i>Dipsacus pilosus</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Veronica hederifolia</i>	-	+	+	+	-	-	+	-
<b>Divers</b>								
<i>Epilobium (sp)</i>	+	-	-	-	+	-	+	-
<i>Rubus sp.</i>	2	-	1	1	-	-	-	3
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	-	-	1	1	+	-	-	-
<i>Melilotus officinale</i>	-	-	+	-	-	-	+	-
<i>Medicago sativa</i>	-	-	-	-	-	-	+	-
<b>PIED DE BERGE</b>								
<i>Iris pseudacorus</i>	-	-	1	1	1	-	1	-
<i>Lycopus europaeus</i>	-	-	1	-	1	-	-	-
<i>Scirpus sylvaticus</i>	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Phalaris arundinacea</i>	-	-	-	-	1	1	-	1
<i>Lysimachia vulgaris</i>	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Eleocharis palustris</i>	-	-	-	-	-	1	-	-

**Relevés floristiques des 3 stations de Villers/Lesse 1=V s/L A, 2=V s/L B et 3=V s/L C**

Numéro de la station	3	2	1
Superficie de la station (m2)	40	48	40
Nombre d'espèces	23	32	14
<b>STRATE ARBUSTIVE (% recouvr.)</b>			
<i>Salix sp.</i>	4	3	2
<i>Alnus glutinosa</i>	1	1	1
<i>Fraxinus excelsior</i>	1	1	1
<i>Prunus padus</i>	1	-	-
<i>Carpinus betulus</i>	1	1	-
<i>Corylus avellana</i>	1	-	-
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1	1	-
<i>Prunus spinosa</i>	1	1	-
<i>Viburnum opulus</i>	1	-	-
<b>STRATE HERBACÉE</b>			
<b>Espèces des prairies de fauche et pâtures</b>			
<i>Arrhenaterum elatius</i>	2	2	-
<i>Heracleum sphondylium</i>	-	1	-
<i>Alopecurus pratensis</i>	-	1	-
<i>Dactylis glomerata</i>	3	-	-
<i>Holcus lanatus</i>	1	2	-
<i>Poa trivialis</i>	1	1	-
<i>Phleum pratense</i>	1	1	-
<i>Lotus corniculatus</i>	2	1	-
<i>Plantago lanceolata</i>	-	1	-
<i>Elymus repens</i>	1	1	-
<i>Agrostis stolonifera</i>	2	2	-
<i>Potentilla reptans</i>	-	1	-
<i>Ranunculus repens</i>	-	1	-
<b>Espèces nitrophiles et rudérales</b>			
<i>Urtica dioica</i>	1	2	4
<i>Galium aparine</i>	1	1	3
<i>Aegopodium podagraria</i>	-	1	-
<i>Rumex obtusifolius</i>	+	1	-
<i>Cirsium vulgare</i>	+	1	-
<i>Artemisia vulgaris</i>	-	+	-
<i>Tanacetum vulgare</i>	-	+	-
<i>Arctium lappa</i>	-	-	+
<b>Espèces des zones humides, bords des eaux</b>			
<i>Phalaris arundinacea</i>	1	2	-
<i>Eupatorium cannabinum</i>	-	1	-
<i>Calystegia sepium</i>	-	1	2
<i>Symphytum officinale</i>	+	-	+
<i>Stachys palustris</i>	-	1	-
<b>Espèces des bois frais, humides</b>			
<i>Silene dioica</i>	-	-	1
<i>Stachys sylvatica</i>	-	-	1
<i>Glechoma hederacea</i>	-	2	-
<i>Dipsacus pilosus</i>	-	-	+
<i>Veronica hederifolia</i>	-	+	+
<b>Divers</b>			
<i>Epilobium (sp)</i>	-	+	-
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	-	-	1
<b>PIED DE BERGE</b>			
<i>Phalaris arundinacea</i>	-	-	2





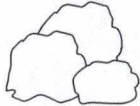

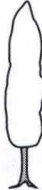

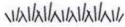












**Relevés floristiques des 3 stations de Hour (1=Hour A, 2=Hour B, 3=Hour C) et de la station de Lessive (4)**

Numéro de la station	1	2	3	4
Superficie de la station (m2)	20	32	40	20
Nombre d'espèces	19	30	26	30
<b>STRATE ARBUSTIVE (% recouvr.)</b>				
<i>Alnus glutinosa</i>	-	-	+	-
<i>Salix sp.</i>	-	1	1	-
<b>STRATE HERBACÉE</b>				
<b>Espèces des prairies de fauche et pâtures</b>				
<i>Arrhenaterum elatius</i>	2	1	-	-
<i>Anthriscus sylvestris</i>	-	-	+	-
<i>Galium mollugo</i>	+	-	-	1
<i>Alopecurus pratensis</i>	-	2	-	-
<i>Festuca pratensis</i>	-	1	2	1
<i>Dactylis glomerata</i>	1	3	1	2
<i>Lolium perenne</i>	1	1	-	-
<i>Holcus lanatus</i>	3	1	-	1
<i>Poa trivialis</i>	-	-	-	1
<i>Phleum pratense</i>	-	1	-	1
<i>Vicia cracca</i>	-	+	-	1
<i>Achillea millefolium</i>	-	1	+	-
<i>Elymus repens</i>	-	2	4	-
<i>Agrostis stolonifera</i>	3	1	1	3
<i>Taraxacum sp.</i>	-	-	-	1
<i>Potentilla reptans</i>	-	-	-	1
<i>Ranunculus repens</i>	1	1	2	2
<i>Trifolium repens</i>	-	1	1	-
<i>Cynosorus cristatus</i>	-	1	-	-
<b>Espèces nitrophiles et rudérales</b>				
<i>Urtica dioica</i>	2	+	+	2
<i>Galium aparine</i>	1	-	-	1
<i>Rumex obtusifolius</i>	1	1	+	-
<i>Rumex crispus</i>	-	-	-	+
<i>Artemisia vulgaris</i>	-	1	-	-
<i>Plantago major</i>	-	+	+	-
<i>Geum urbanum</i>	-	-	-	+
<i>Dipsacus fullonum</i>	-	-	-	+
<i>Cirsium arvense</i>	-	1	1	-
<i>Sisymbrium officinale</i>	-	-	+	-
<i>Potentilla anserina</i>	-	-	-	1
<b>Espèces des zones humides, bords des eaux</b>				
<i>Phalaris arundinacea</i>	1	1	1	-
<i>Fillipendula ulmaria</i>	+	-	-	1
<i>Eupatorium cannabinum</i>	-	-	-	1
<i>Lycopus europaeus</i>	-	-	-	+
<i>Lythrum salicaria</i>	1	+	+	1
<i>Impatiens noli-tangere</i>	-	-	-	+
<i>Stachys palustris</i>	-	-	-	+
<i>Carex hirta</i>	-	1	-	-
<i>Barbarea vulgaris</i>	-	+	+	+
<i>Calystegia sepium</i>	1	-	-	2
<i>Polygonum persicaria</i>	-	+	1	-
<i>Mentha sp.</i>	1	1	-	-
<b>Espèces des bois frais, humides</b>				
<i>Epipactis helleborine</i>	-	-	+	-
<i>Stachys sylvatica</i>	-	-	-	1
<i>Glechoma hederacea</i>	-	1	1	2
<i>Dipsacus pilosus</i>	-	-	+	-
<b>Divers</b>				
<i>Linaria vulgaris</i>	-	1	+	-
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	1	-	-	1
<i>Senecio sp.</i>	+	-	-	-
<i>Cirsium sp.)</i>	-	+	+	-
<i>Rubus sp.</i>	1	-	-	1
<b>PIED DE BERGE</b>				
<i>Fillipendula ulmaria</i>	-	-	+	-
<i>Lycopus europaeus</i>	-	-	+	-
<i>Phalaris arundinacea</i>	1	-	-	1

Annexe 4:

LEGENDE

Echelle : 1/100<sup>e</sup>

	Aulne <i>Alnus glutinosa</i>	Baldingère <i>Phalaris arundinaca</i>	
	Saule <i>Salix spp.</i>	Iris jaune <i>Iris pseudacorus</i>	
	Arbustes divers	Végétations herbacées diverses	
	Peuplier <i>Populus spp.</i>	Orties <i>Urtica dioica</i>	
	Prairie	Enrochements	
	Champs	Perré moellonné	
	Dépôt alluvions	Caisson	
	Galets	Fascines	
	Enrochements	Chemin stabilisé	
	Clôture	Chemin de terre	
	Piège		

**Annexe 5** : Dates d'installation et relevés des dispositifs d'échantillonnage

<i>Station</i>	<i>Installation</i>	<i>Relevé 1</i>	<i>Relevé 2</i>	<i>Relevé 3</i>	<i>Relevé 4</i>	<i>Relevé 5</i>
Villers-sur-Lesse A	13/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	9/05/00	24/05/00
Villers-sur-Lesse B	13/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Villers-sur-Lesse C	13/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Lessive	13/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Hour A	13/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Hour B	13/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Hour C	13/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Furfooz A	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	9/05/00	24/05/00
Furfooz B	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Furfooz C	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Furfooz D	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Furfooz E	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Furfooz F	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Furfooz G	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00
Furfooz H	14/03/00	21/03/00	4/04/00	20/04/00	8/05/00	24/05/00

**Annexe 6** : Répartition temporelle des espèces de carabes, x= présence de l'espèce

Espèce	Relevé 21/03	Relevé 4/04	Relevé 20/04	Relevé 8- 9/05	Relevé 24/05
<i>Abax ater</i>		x		x	
<i>Agonum assimile</i>	x	x	x	x	x
<i>Agonum dorsalis</i>	x	x	x	x	x
<i>Agonum mülleri</i>		x	x	x	x
<i>Agonum obscurus</i>				x	x
<i>Agonum pallipes</i>	x	x	x	x	x
<i>Agonum sp</i>				x	x
<i>Agonum viduus</i>				x	x
<i>Agonum viridicupreus</i>	x				
<i>Amara eurynota</i>				x	x
<i>Amara familiaris</i>	x	x	x	x	x
<i>Amara nitida</i>		x			
<i>Asaphidion flavipes</i>	x	x	x	x	x
<i>Bembidium doris</i>	x				
<i>Bembidium elongatum</i>	x	x	x	x	x
<i>Bembidium guttula</i>		x	x		
<i>Bembidium lampros</i>	x	x	x	x	x
<i>Bembidium normannum</i>	x				
<i>Bembidium properans</i>	x	x	x	x	x
<i>Bembidium quadriguttatum</i>			x		
<i>Bembidium quadrimaculatum</i>		x	x		
<i>Bembidium tetracolum</i>	x	x	x	x	x
<i>Bembidium varium</i>	x	x	x	x	x
<i>Carabus granulatus</i>				x	x
<i>Carabus nemoralis</i>		x	x	x	x
<i>Chlaenius nigricornis</i>			x	x	x
<i>Chlaenius vestitus</i>				x	x
<i>Clivina collaris</i>			x		
<i>Clivina fossor</i>			x	x	
<i>Elaphrus riparius</i>			x	x	
<i>Harpalus aeneus</i>		x	x	x	x
<i>Loricera pilicornis</i>		x	x	x	x
<i>Nebria brevicollis</i>			x	x	x
<i>Nothiophilus biguttatus</i>			x		
<i>Ophonus griseus</i>				x	
<i>Ophonus pubescens</i>				x	x
<i>Panageus crux-major</i>			x	x	x
<i>Platyderus ruficollis</i>		x			
<i>Pterostichus anthracinus</i>	x	x	x		
<i>Pterostichus concinnus</i>				x	
<i>Pterostichus cupreus</i>	x	x	x	x	x
<i>Pterostichus diligens</i>	x				
<i>Pterostichus gracilis</i>			x		
<i>Pterostichus madidus</i>			x	x	x
<i>Pterostichus niger</i>				x	
<i>Pterostichus sp.</i>				x	
<i>Pterostichus nigrita</i>	x	x	x	x	x
<i>Pterostichus strenuus</i>	x	x	x	x	x
<i>Pterostichus vernalis</i>	x	x	x	x	x
<i>Pterostichus versicolor</i>		x	x	x	
<i>Pterostichus vulgaris</i>	x				
<i>Stomis pumicatus</i>			x	x	
<i>Trechus quadristriatus</i>	x	x	x	x	x