

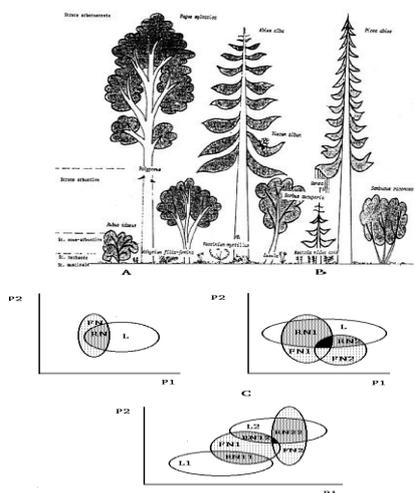
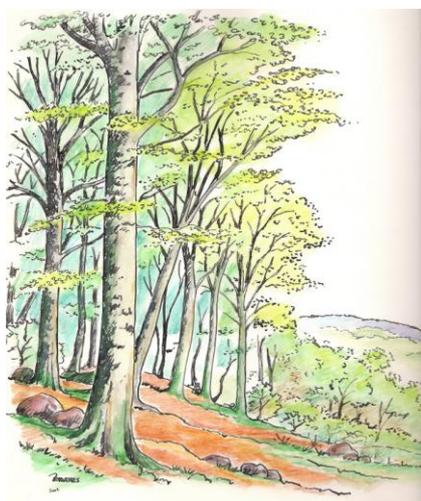
## MASTER STVE

Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

Mention « Espaces, Ressources, Milieux »

Spécialité « **Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes** »

# Mesure de la redondance fonctionnelle dans les écosystèmes forestiers de la France tempérée



**VICTOR CORNEJO**

**2010-2011**

Encadré par Damien Marage,  
enseignant- chercheur.

Mémoire de fin d'études,  
soutenu à Nancy le 06/09/2011

UMR-LERFoB. Laboratoire d'étude des Ressources Forêt-Bois





# **Mesure de la redondance fonctionnelle dans les écosystèmes forestiers de la France tempérée**

Mémoire de fin d'études

**VICTOR CORNEJO**

**2010-2011**



## FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE

|   |   |
|---|---|
| Master STVE d'AgroParisTech Nancy<br>Spécialité « Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes »       | TRAVAUX<br>D'ÉLÈVES   |
| TITRE : Mesure de la redondance fonctionnelle dans les écosystèmes forestiers de la France tempérée | Mots clés : Redondance fonctionnelle, groupes fonctionnels, traits d'histoire de vie. |
| AUTEUR(S) : VICTOR CORNEJO  | Année : 2010-2011   |
| Caractéristiques :  |   |

### CADRE DU TRAVAIL

|   |                                |                  |
|---|--------------------------------|------------------|
| ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : LERFoB. Laboratoire d'étude des Ressources Forêt-Bois               |                                |                  |
| Nom du responsable : Damien Marage  |                                |                  |
| Fonction : Maitre de stage  |                                |                  |
| Nom du correspondant AgroParisTech Nancy :  |                                |                  |
| Stage <input checked="" type="checkbox"/>   | Autre <input type="checkbox"/> | Date de remise : |
| Contrat avec Gref Services Nancy <input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON |                                |                  |

### SUITE À DONNER (réservé au service des études APT)

- Consultable et diffusable  
 Confidentiel de façon permanente  
 Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable

## RESUME

Dès 1990, le projet international GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems) du programme IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) a travaillé sur la question des équivalences écologiques. En écologie fonctionnelle, certaines fonctions importantes des écosystèmes pourraient être simultanément assurées par plusieurs espèces qui seraient en quelque sorte des « équivalents écologiques », dont le corollaire est la notion d'espèce redondante. Cependant, l'équivalence écologique des espèces est à manier avec précaution : elle n'a de sens que pour une fonction bien précise, dans un écosystème bien précis. Une même espèce peut très bien assurer des fonctions différentes dans différents écosystèmes. Pour les espèces végétales du tapis herbacé, cette redondance paraît limitée car l'accès et l'utilisation des ressources trophiques sont assez uniformes. Par conséquent, cette étude a pour objectif travailler sur les espèces herbacées de quatre écosystèmes de Hêtraies.

Tout d'abord, une matrice de traits fonctionnels des espèces herbacées a été construite par chaque habitat. Ensuite, des analyses multivariées ont été appliquées sur cette matrice à fin d'obtenir des groupes d'espèces. Une fois formés les groupes, cette redondance fonctionnelle a été évaluée.

Cette approche de redondance fonctionnelle sur les espèces herbacées tapis nous donne une idée de la dynamique de cette strate et une meilleure vision du fonctionnement de l'écosystème et des rôles fonctionnels des espèces.

Une liste d'espèces typiques avec une analyse de redondance fonctionnelle a été élaborée pour ces quatre habitats à l'aide des gestionnaires forestiers. Elle pourra être utilisée aussi pour le monitoring de la structure et du fonctionnement de la strate herbacée.

Mots clés : Redondance fonctionnelle, groupes fonctionnels, traits d'histoire de vie.

## **REMERCIEMENTS**

Je souhaite, tout d'abord, exprimer ma gratitude à Madame Fournier pour m'avoir donné l'opportunité d'effectuer ce master au sein de l'AgroParistech. Je remercie également Damien Marage, mon encadrant, pour son aide et son suivi tout au long de mon étude et pour la confiance qu'il m'a accordé.

Je tiens aussi à remercier Pierre Merian pour son aide en statistiques, ses conseils et sa bonne humeur de tous les jours. Merci également à Anthony Van Zuylen et Pauline Pecquet pour leur énorme patience dans la correction de l'orthographe de ce rapport et à toute l'équipe du Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois pour leur accueil.

Enfin, il me reste à adresser une petite pensée à mes camarades sud-américains qui m'ont donné leur soutien à tout moment. Egalement mes pensées à mes grands-parents et à Kevin Perez pour m'avoir donné son support à distance. Et un remerciement spécial à Dieu pour toutes les bénédictions et son soutien dans les moments difficiles.

## SOMMAIRE

### REMERCIEMENTS

|  |    |
|--|----|
| 1.- PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL.....   | 2  |
| 2.- INTRODUCTION.....  | 2  |
| 3.- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....   | 3  |
| 3.1.- REDONDANCE FONCTIONNELLE .....   | 3  |
| 3.2.- METHODE POUR MESURER LA REDONDANCE FONCTIONNELLE :<br>APPROCHE DE GROUPES FONCTIONNELS SUGGEREE PAR WALKER<br>(1992).....          | 4  |
| 3.3.- GROUPES FONCTIONNELS .....   | 5  |
| 3.4.- TRAITS D'HISTOIRE DE VIE .....   | 6  |
| 4.- CAS D'ETUDE.....   | 7  |
| 4.1.- LES HABITATS ET LES ESPECES .....  | 7  |
| 4.2.- DETERMINATION DES TRAITS D'HISTOIRE DE VIE .....   | 9  |
| 4.3.- REDUCTION DE TRAITS ECOLOGIQUES QUANTITATIFS.....  | 11 |
| 4.4.- DEFINITION DE GROUPES FONCTIONNELS .....   | 11 |
| 5.- RESULTATS.....   | 19 |
| 5.1.- REDUCTION DE TRAITS ECOLOGIQUES QUANTITATIFS.....  | 19 |
| 5.2.- DEFINITION DES GROUPES FONCTIONNELS D'ESPECES POUR<br>L'HABITAT HETRAIES-CHENAIES A ASPERULE ODORANTE ET MELIQUE<br>UNIFLORE ..... | 13 |
| 5.2.1.- TRAITS D'HISTOIRE DE VIE DE DONNEES<br>QUALITATIVE.....  | 13 |
| 5.2.2.- GROUPEMENT DES ESPECES .....   | 13 |
| 5.3.- ESPECES REDONDANTES .....  | 21 |
| 6. - DISCUSSION .....  | 23 |
| 6.1- STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DE L'ECOSYSTEME DE L'HABITAT<br>HETRAIES-CHENAIES A ASPERULE ODORANTE ET MELIQUE UNIFLORE...23          |    |
| 6.2.- LIEN AVEC LES ESPECES TYPIQUES .....   | 17 |
| 6.3.- INFLUENCE DU CHANGEMENT DE LUMIERE SUR LES GROUPES<br>FONCTIONNELS.....  | 19 |
| 6.4.- DETERMINATION D'ESPECES TYPIQUES AVEC UNE ANALYSE DE<br>REDONDANCE FONCTIONNELLE .....   | 20 |
| 6.5.- LISTE D'ESPECES TYPIQUES PROPOSEE .....  | 21 |
| 7.-CONCLUSIONS.....  | 22 |
| BIBLIOGRAPHIE.....   | 30 |

### ANNEXES

## 1.- PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

J'ai été accueilli dans l'équipe d'écologie forestière du Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois (LERFoB) au sein d'AgroParisTech-ENGREF\* sous la direction de Meriem Fournier.

Le LERFoB est une unité mixte de recherche (UMR INRA - ENGREF 1092) où les équipes de travail se répartissent entre l'INRA de Nancy et AgroParisTech-ENGREF. Il poursuit trois missions :

- Modéliser l'impact des évolutions climatiques et sylvicoles sur les ressources forestières pour le siècle passé et à venir.
- Développer des outils d'aide à la décision des gestionnaires forestiers et de milieux naturels.
- Enseigner au sein de l'ENGREF et de plusieurs universités.

\* ENGREF.- (École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts)

## 2.- INTRODUCTION

Le sujet à traiter est inscrit au programme de recherche 2010-2013 sur l'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers de la France tempérée (convention Muséum national d'Histoire naturelle, MNHN et AgroParisTech-ENGREF).

Dès la création de Natura 2000, réseau écologique européen de sites dédiés à la protection des habitats naturels et semi-naturels et d'espèces rares, endémiques ou menacées. Il a été nécessaire de disposer de mécanismes et méthodologies chaque fois plus efficaces pour le bon monitoring et l'évaluation des écosystèmes (Maciejewski, 2010). Pour ce motif, Carnino, en 2009, a travaillé sur une méthode d'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers d'intérêt communautaire à l'échelle du site Natura 2000, donc des critères pour le diagnostic ont été créés, tels que : l'intégrité de la composition dendrologique, la quantité des gros arbres vivants, la dynamique de renouvellement, le bois mort et la flore typique de l'habitat sans que finalement ces listes soient établies par elle.

Maciejewski, en 2010, a travaillé sur une méthodologie d'élaboration de listes d'espèces typiques en continuité du travail de Carnino. La méthode qu'elle a proposée est constituée de deux étapes. Une partie sur l'analyse de données et sur l'ajustement des modèles de distribution d'abondance des espèces par habitat et l'autre sur l'étude des traits d'histoire de vie des espèces retenues. Elle a fait un lien entre les espèces les plus abondantes et les espèces qui présentent un intérêt patrimonial, une situation de vulnérabilité, une importance socio-culturelle, entre autres, ce qui, à la fin, permet d'obtenir une liste plus courte de ces espèces qui seront appelées « espèces typiques ». Le but est d'apporter aux gestionnaires une aide dans le cadre d'un diagnostic de l'état de conservation de l'habitat.

Maciejewski a trouvé dans les habitats étudiés une moyenne d'abondance, située entre 43% et 63 %, de l'ensemble des espèces établies comme typiques. Ce pourcentage sera un seuil (indicateur) qui nous donnera la proportion d'espèces typiques qu'il faut regarder pour avoir un bon état de conservation de l'écosystème. Pendant l'établissement de cette méthodologie d'espèces typiques viens à la discussion la terminologie d'espèces redondantes dans l'écosystème où « *la notion de redondance fonctionnelle peut justifier l'utilisation d'un seuil peu élevé, ce qui signifie que l'on peut observer peu d'espèces typiques et considérer que l'état de conservation au vu de ce critère est bon* » (Maciejewski, 2010).

Cette notion évoque que des espèces animales ou végétales peuvent avoir des rôles similaires dans l'ensemble de l'écosystème (en termes de fonctionnalité à la stabilité). Autrement dit, une espèce va occuper la place et les fonctions d'une espèce redondante si cette dernière disparaissait. Par conséquent, pour affiner le travail des espèces typiques, il faut considérer la notion de redondance fonctionnelle pour le choix définitif de cette liste (Marage & Maciejewski, 2010).

L'objectif de cette étude est, qu'à partir d'une base de données sur les traits d'histoire de vie, on tentera de mettre en évidence cette redondance fonctionnelle pour la flore herbacée de quelques habitats et de la mettre en lien avec les espèces typiques afin d'améliorer cette liste.

### 3.- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### 3.1.- REDONDANCE FONCTIONNELLE

Pendant les dernières décennies, chez les écologues, une terminologie sur la « *redondance fonctionnelle* » des espèces s'est développée dans le cadre de la dynamique et de la structure de l'écosystème.

Dans le présent travail, on visera l'hypothèse de redondance fonctionnelle proposée par Walker (1992) décrite comme :

- Le rôle équivalent des entités vivantes dans les écosystèmes.
- L'ensemble des espèces qui partagent un rôle similaire dans le fonctionnement de l'écosystème et qui peuvent être regroupées dans des *groupes fonctionnels* (Walker, 1992 ; Lavorel, 2000).
- L'élimination de quelques-uns pourrait ou pas avoir une implication directe dans la stabilité de l'écosystème (Erlich et Walker, 1998).

Le modèle ou la courbe qui décrit cette hypothèse de redondance fonctionnelle avant un changement dans la biodiversité va avoir une portion invariable avant une variation de cette dernière. C'est-à-dire que la perte de biodiversité est compensée par d'autres espèces ou que l'introduction de celles-ci n'ajoute rien au système (Naeem *et al* in Loreau *et al*, 2002) (Fig1).

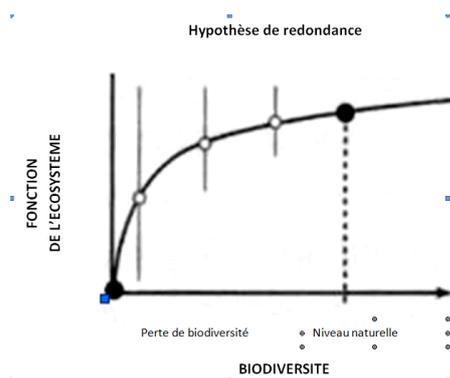


Figure 1. Représentation graphique de l'hypothèse de redondance fonctionnelle (Extrait de Naeem *et al* in Loreau *et al*, 2002)

Une remarque de Walker fait référence à la quantité d'espèces et à leur abondance respective dans les groupes fonctionnels. Deux types d'espèces « drivers » et « passagers » sont présentes. Les premiers, autrement dit « déterminants », sont les espèces les plus importantes tant que leur disparition implique des changements dans le fonctionnement de l'écosystème. Par contre, les passagers dans une même échelle de temps, ne conduiront à aucun changement (sensu Walker, 1992 ; Erlich & Walker, 1998 ; Wellnitz & LeRoy Poff, 2001).

Ils mentionnent que dans un contexte de changement climatique les espèces « passagers » auraient probablement été les espèces les plus aptes à réagir avant de nouveaux scénarios climatiques. Une autre application de la redondance concerne la résilience de l'écosystème. Il est important de travailler sur l'ensemble des espèces qui appartiennent aux groupes fonctionnels et non de manière individuelle (Ehrlich et Walker 1998).

Walker, en 1992, a suggéré que le principal but est de conserver toutes les espèces pour assurer la continuité du fonctionnement intégral de l'écosystème et que cette stratégie nous guide vers la détermination de groupes fonctionnels et des espèces redondantes. Cette vision conservationniste continue d'être débattue dans l'actualité, surtout quant à la manière de mesurer cette redondance et à son application dans la conservation des écosystèmes.

Pour spécifier le terme « fonction » dans le présent travail, on le définit comme la relation entre les parties et l'ensemble du système, où les objets ou les organismes ne sont que « les protagonistes » des processus ou alors qu'ils deviennent les porteurs de fonctions (Kurt, 2005). Autrement dit qu'il leur a été attribué un rôle dans le système. Par exemple, une plante peut avoir différentes fonctions écologiques dans l'écosystème comme : productrice de litière, accumulatrice de biomasse, formatrice de banque de graines, espèce de lente croissance liée aux espèces climax, dispersion large ou courte de graines, refuge pour les animaux, etc. (do Vale *et al.*, 2010).

### **3.2.- METHODE POUR MESURER LA REDONDANCE FONCTIONNELLE : APPROCHE DE GROUPES FONCTIONNELS SUGGEREE PAR WALKER (1992)**

Walker, pour mieux comprendre la façon dont l'usage de la redondance fonctionnelle a une liaison avec la relation de la diversité écologique et la fonction de l'écosystème, a proposé une approche de groupes fonctionnels. La base qu'il a proposée se réfère à l'application de ces groupes fonctionnels et comment ils régulent les processus éco-systémiques ainsi que la façon dont ils vont maintenir la fonctionnalité de l'écosystème. Et ensuite, il recommande d'évaluer les changements dans les abondances des groupes fonctionnels si ceux-ci peuvent affecter les processus de l'écosystème. Ainsi, les groupes avec peu ou pas de redondance vont justifier la priorité de conservation.

La réflexion sur le nombre de redondances qui existeront dans la complexité de l'écosystème est encore inconnue et reste à l'avis d'experts.

Cette approche présente les étapes suivantes :

- 1.- Faire l'analyse de la fonction de l'écosystème en identifiant les limitations importantes dans le système liées aux classements fonctionnels appropriés.
- 2.- Trier les espèces avec leurs attributs fonctionnels importants (traits d'histoire de vie).
- 3.- Déterminer le nombre d'espèces dans chaque groupe et examiner les interactions entre celles-ci.
- 4.- Prendre en compte l'importance de ces groupes fonctionnels dans l'écosystème évalué.

Pour lui, cette approche nous donnera probablement des réponses pour réduire le déclin de la biodiversité amené par l'impact de l'homme. L'importance de maintenir cette biodiversité est divisé par deux raisons :

- une raison écologique concerne la complexité de l'écosystème (incluant des aspects de richesse spécifique, de variabilité génétique, de la diversité fonctionnelle et de la plasticité phénotypique entre autres) qui doit perdurer pour le bon fonctionnement et la stabilité de l'écosystème.
- la deuxième raison concerne les bénéfices que la nature fournit à la société humaine ou fournira un jour.

Il conclut que son approche ne peut pas être obligatoirement prise en compte dans les politiques ou les actions vers une lutte contre le déclin de la biodiversité car la complexité de l'écosystème est encore difficile à comprendre. D'autre part, il conseille de se focaliser surtout sur les aspects critiques qui affectent la résilience d'un écosystème.

### 3.3.- GROUPES FONCTIONNELS

Blondel (2003) a remarqué que la plupart des chercheurs utilisent, à la fois, deux concepts qui se ressemblent dans le sens du groupement mais qui sont amplement différents tels que : les *guilds* et les *groupes fonctionnels*. Dans son essai, nous lisons que « ... *guild* se réfère premièrement au mécanisme de partage des ressources par espèces dans un cadre compétitif tandis que *groupe fonctionnel* concerne une ressource, ou un autre composant écologique, qui est utilisée par différentes espèces afin de fournir un service ou une fonction spécifique de l'écosystème ».

D'autres chercheurs comme Root, le premier à utiliser le terme *guild* dans un point de vue zoologique, ont défini *guild* comme un groupe d'espèces apparentées qui consomment la même classe de ressources environnementales sans considérer aucune fonctionnalité des espèces pendant l'établissement du *guild* ( Root, 1967 ; cité par Blondel, 2003). Sous ce concept, le terme *guild* a principalement été utilisé pour le domaine animal et non végétal. De sorte que la classification et la quantification de l'utilisation des ressources sont plus compliquées à déterminer chez les plantes que chez les animaux. ( Simberloff et Dayan, 1991; de Kroon et Olf, 1995, cités par Blondel, 2003).

En ce qui concerne le terme de *groupe fonctionnel*, Blondel (2003) a repéré que Cummins, en 1974, a été l'un des premiers à l'utiliser et a souligné « ... la nécessité d'identifier les groupes fonctionnels des organismes, au moins partiellement d'une façon indépendante des déterminations traditionnelles taxonomiques, afin de répondre à des questions importantes orientées sur les processus de l'écosystème ». Quelques années après, Lavorel *et al* (1997) et Lavorel et Garnier (2002) ont appliqué ce terme, chez les plantes, comme les réponses similaires face aux facteurs environnementaux, les nommant donc « *groupes de réponse* » (cités par Blondel, 2003).

Naem, en 1996, va définir les *groupes fonctionnels* en se référant à la fonction de l'écosystème comme « ...*groupes des espèces qui partagent des attributs biogéochimiques en commun* ».

Si on se réfère à des groupes fonctionnels chez les plantes, on parlera plutôt de Types Fonctionnelles de Plantes (TFP) qui sont définis comme « ...*des groupes non-phylogénétiques des espèces qui effectuent un rôle similaire dans un écosystème basé sur un ensemble de caractéristiques biologiques.* » (Gitay et Noble, 1997 ; cités par Lavorel *et al*, 1997).

L'intérêt de ne faire qu'une classification d'espèces « groupes », sinon plusieurs, en prenant en compte les caractéristiques biologiques afin de mieux comprendre comment fonctionne un écosystème, a pris une relative importance ces dernières années ( Lavorel *et al*, 1997). Ils ont identifié 4 types de classifications des espèces à partir de leurs caractéristiques biologiques ou « traits d'histoire de vie » :

a) des groupes émergents basés sur la corrélation entre leurs traits de vie pour reproduire des groupes de traits de vie qui correspondent aux principales formes de végétaux (arbres, arbustes, herbes, etc.). C'est une méthode inductive mais elle ne prend pas en compte les traits liés aux fonctions de l'écosystème.

b) Des groupes de plantes qui peuvent être identifiées par leurs stratégies adaptatives qui seront liées à l'utilisation et à la disponibilité des ressources. Les stratégies adaptatives feront partie des attributs de forme, physiologiques et/ou phénologiques qui changent face à différents facteurs environnementaux (Grime, 1997). Ce classement est traduit sur le triangle de Grime, où les espèces sont groupées en fonction de leurs réactions à la perturbation (espèces de type R), au stress abiotique (espèces de type S) et à la compétition (espèces de type C). L'utilisation de cette classification a été grandement appliquée dans plusieurs études surtout de distribution et de dynamique des communautés.

c) Des groupes fonctionnels avec un rôle écologique similaire. Ils sont classés selon leur relation et leur contribution aux processus de l'écosystème (tels que le recyclage de nutriments ou du carbone) et à la fois selon leurs réponses aux changements climatiques. Cette dernière spécification concerne plutôt leurs mécanismes de réponse (Woodward et Cramer, 1996, cités par Lavorel *et al*, 1997).

d) Des groupes spécifiques par réponse à la perturbation. Ce groupe va traiter des espèces qui auront une réponse similaire aux multiples facteurs environnementaux.

Normalement la construction des groupes fonctionnels prend en considération une présélection des traits d'histoire de vie qui dépendront des experts et des analyses de corrélation utilisées sur les données (Lavorel *et al*, 1997).

### 3.4.- TRAITS D'HISTOIRE DE VIE

Les premiers critères pour le classement des plantes étaient leurs traits morphologiques et biologiques, tels que le milieu que la plante occupe, la forme de nutrition, la durée de vie des plantes, la hauteur, etc. (Rameau *et al*, 1989). Par exemple, une façon arbitraire de classement a été proposée par Raunkier (1934), en fonction de l'adaptabilité, en considérant la disposition des organes qui assurent la pérennité de la plante (bourgeons, bulbes et d'autres structures qui renferment des tissus méristématiques) par rapport à la surface du sol. Il distingue cinq classes (extrait d'Amman, 2002) :

- Les Phanérophytes (arbres, arbustes et lianes) dont le bourgeon terminal est situé au-dessus de 50 cm.
- Les Chaméophytes (arbrisseaux) dont le bourgeon terminal est situé à une hauteur inférieure à 50 cm.
- Les Hémicryptophytes (plantes à rosette) dont les bourgeons sont situés à la surface du sol.
- Les Géophytes (à bulbe, à rhizome ou à tubercule) dont les bourgeons sont situés dans le sol.
- Les Thérophytes qui correspondent aux plantes annuelles.

Pour une bonne représentation des fonctions écologiques de l'écosystème, on se doit de choisir les traits écologiques les plus importants dans la démarche du système (do Vale *et al*, 2010) et surtout les traits associés à la physiologie des plantes (Girão *et al*, 2007 cités par do Vale *et al*, 2010).

Körner, en 1993, a proposé des critères de sélection que les traits doivent avoir pour la création des groupes fonctionnels (Médail, 1998). Ces critères sont :

- 1.- Prendre les traits biologiques structuraux, physiologiques et/ou vitaux.
- 2.- Prendre en compte les patrons spatiaux (verticalité des espèces, par exemple la hauteur de la plante).
- 3.- Prendre en compte les patrons temporels (phénologie).

Face à cette approche, Leishman et Westoby (1992) ont utilisé quatre groupes de traits dans le triage de 300 plantes : les traits morphologiques, les traits vitaux, les traits phénologiques et les traits concernant la biologie des graines (Médail, 1998).

Diaz *et al* (1999), ont mis en évidence qu'il y a deux types de traits : les « hard traits » et les « soft traits », où les « hard traits » sont les plus difficiles à mesurer et peuvent être remplacés par d'autres plus évidents à considérer, les « soft traits ». La fonction écologique qui accomplit ces « hard traits » pourra être corrélée avec les « soft traits » (Knevel *et al*, 2003). Par exemple, la surface foliaire (« soft trait ») a une corrélation positive avec le taux de croissance relative (« hard trait ») (Garnier *et al*, 1997 cités par Knevel *et al*, 2003).

Une méta-analyse, parue en 2003, compile plusieurs essais en se référant aux traits écologiques qui à la fin constitueront un guide de protocoles pour la standardisation et la mesure des traits fonctionnels dans le monde entier. Il va prendre en compte : les traits de la plante entière, les traits de la feuille, les traits de la tige et de la racine et finalement des traits régénératifs (Cornelissen *et al*, 2003). (Voir annexe 1).

#### 4.- CAS D'ETUDE

##### 4.1.- LES HABITATS ET LES ESPECES

La forêt tempérée, en France, est composée principalement de chênes et de hêtres dans sa strate arborée (Ramade, 1984). Dans le présent travail, quatre habitats seront évalués :

- Les hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélisse uniflore.
- Les hêtraies-chênaies subatlantiques à Chèvrefeuille.
- Les hêtraies-chênaies à Jacinthe des bois.
- Les hêtraies, hêtraies-sapinières calcicoles à Orge d'Europe.

(Extrait du travail d'Habitats Forestiers Français, Gégout *et al*. 2008)

L'espèce forestière prédominante de ces habitats est *Fagus sylvatica*. Cette essence est un indicateur de la succession finale et de l'équilibre de l'écosystème (Jacamon, 1983).

Structurellement, la forêt possède une forte complexité, conséquence de la conjonction de multiples facteurs où les organismes végétaux ou animaux sont hiérarchisés dans un type de division verticale appelée « strate » (Bouillard, 1992). Au total, quatre strates sont prédominantes dans une forêt typique tempérée européenne (Fig 2) : les strates arborée, arbustive, herbacée et muscinale.

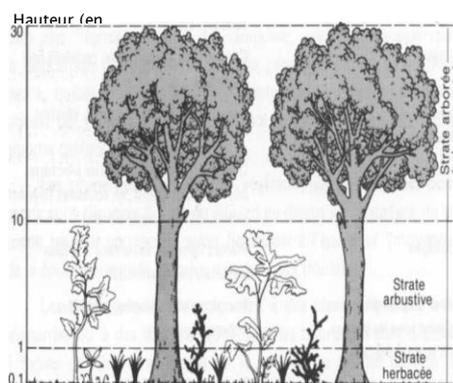


Figure 2: Stratification verticale d'une forêt caducifoliée (extrait de Ramade, 1984)

Chacune de ces strates dépendra fortement de l'hydrométrie de l'air, de l'humidité zonale du sol ou de la quantité de lumière qui atteint les différents niveaux de la forêt (Bouillard, 1992). C'est la strate arborée, par sa pérennité et sa dimension, qui déterminera la distribution de la lumière verticalement, et en lien avec la nature du sol, déterminera une variété assez grande de la biodiversité dans les autres strates (arbustive et herbacée) (Ramade, 1984). Il mentionne que les espèces de la strate herbacée ont une période végétative courte, adaptée aux conditions du sous-bois à cause de l'ombrage rapide au début du printemps, saison de la frondaison. C'est la strate herbacée, objet de l'étude, qui comporte : des herbes, des petits arbustes, des fougères et des plantules d'arbres.

Ellenberg (1986), souligne que la forte biodiversité du sous-bois est influencée par la concurrence des ressources. Sans concurrence, pratiquement toutes les plantes pourraient être capables de vivre (optimum écologique) malgré les différents degrés de vitalité. Toutes les plantes ont un optimum physiologique (en termes de quantité d'eau, d'acidité et de fertilité). Les sites où l'on trouve les plantes concentrées et vigoureuses sont les mêmes sites où les concurrents sont aussi moins vigoureux. Par conséquent, l'optimum écologique est souvent différent de l'optimum physiologique.

La structure, la composition et l'âge de la couverture forestière peuvent avoir de l'influence sur la communauté du sous-bois due à l'effet de microclimat (Ister et Gokbulak, 2009), de la concurrence pour les ressources souterraines (Preper, 1990 ; Macdonald et Fenniak, 2007 cités par Ister et Gokbulak, 2009), de la qualité et quantité de litière et du degré de décomposition (Graae et Heskjeer, 1997 ; Svenning et Skov, 2002 cités par Ister et Gokbulak, 2009).

Dans la strate herbacée, la régénération des arbres fait aussi partie de la concurrence pour les ressources et ainsi la lutte entre individus conduit vers un bilan instable qui pourrait être altéré par des faibles changements entre les facteurs. C'est pourquoi Ellenberg (1986) considère que la composition floristique des herbacées peut refléter un changement dans l'habitat et que ces groupes écologiques, constitués par ces plantes peuvent nous donner des informations sur les conditions environnementales qui affectent la communauté dans son ensemble.

De tous les composants de la strate herbacée, ce sont les herbes qui prédominent. La régénération des arbres ne sera pas évaluée ni celle des arbustes qui se trouvent à plus de 2 mètres du niveau du sol car ils ne restent pas toute leur vie au niveau de cette strate. De la même manière, les fougères et les mousses ne font pas partie de l'analyse car ils présentent des caractéristiques de vie différentes des herbacées. De plus, on ne dispose pas d'informations suffisantes quant à leur interaction avec d'autres organismes de l'écosystème (Maciejewski, 2010).

Finalement, on ne considérera pour l'analyse que les espèces herbacées, les petits arbustes et quelques lianes à caractère herbacé. Après avoir défini les composants de la strate herbacée de chaque habitat, nous disposons encore de beaucoup d'espèces. La plupart d'entre elles sont peu nombreuses et ont été retirées lorsque leur abondance était inférieure à 0.05 et/ou de 0.1 pourcent.

Par exemple, pour l'habitat Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélique uniflore, seule 58 parmi les 269 espèces de la strate herbacée ont été gardées (après avoir enlevé les espèces peu abondantes) (Tableau 1). La liste d'espèces totales et leur abondance par habitat est disponible en annexe 2.

Tableau 1 : Nombre d'espèces de la strate herbacée de chaque habitat (Base de données Ecoplant)

| Habitat   | Nombre totale d'espèces de la strate herbacée | Nombre d'espèces à retenir | Nombre de relevés |
|---|---|----------------------------|-------------------|
| Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélique uniflore | 269   | 58                         | 274               |
| Hêtraies-chênaies subatlantiques à Chèvrefeuille          | 171   | 65                         | 215               |
| Hêtraies-chênaies à Jacinthe des bois                     | 198   | 69                         | 287               |
| Hêtraies, hêtraies-sapinières calcicoles à Orge d'Europe  | 208   | 64                         | 77                |

#### 4.2.- DETERMINATION DES TRAITS D'HISTOIRE DE VIE

Amman, en 2002, mentionne que l'une des problématiques pour classer les plantes en groupes fonctionnels va dépendre du type d'étude à réaliser et des objectifs ciblés. Par exemple, dans le groupement des essences forestières, c'est l'aspect de la réaction à la lumière des essences qui sera considéré. Cet aspect est important pour les arbres car leurs graines ont un comportement germinatif différent selon les conditions d'intensité de lumière ainsi qu'en fonction de la physiologie du développement des plantules et des arbres juvéniles (Rameau, 2000).

L'intensité de lumière a été l'un des facteurs qui détermine la stratification dans une forêt où la canopée favorise l'établissement des espèces sciaphiles (Pieper, 1990 et Nilsson *et al* ; 2008 cités par Ister et Gokbulak, 2009). Dans cette étude, cet aspect écologique n'est pas considéré car les espèces de l'étude se trouvent dans la strate herbacée et reçoivent une quantité de lumière constante. Toutefois, cette caractéristique pourrait faire l'objet d'une discussion pour savoir comment ces espèces réagiront à un changement de lumière provoqué par des facteurs naturels ou anthropiques. De la même manière, les caractéristiques édaphiques et climatiques seront considérées homogènes pour chaque habitat.

L'une des limitations de ce travail est la saisie correcte des traits fonctionnels des espèces. On ne dispose que de cinq sources d'information sur des traits écologiques :

- LEDA Traitbase ([www.leda-traitbase.org](http://www.leda-traitbase.org)).
- Baseflor ([www.tela-botanica.org](http://www.tela-botanica.org)).
- Flore Forestière Française (Rameau *et al*, 1989).
- Banque de graines dans le sol du Norhwest européen (Thompson *et al*, 1997).
- Jardin Botanique Royale (<http://data.kew.org/sid/sidsearch.html>).

En se basant sur les protocoles de standardisation de la mesure des traits fonctionnels dans le monde entier (Cornelissen *et al*, 2003), on a finalement choisi :

a) Les traits de la plante entière.- Hauteur maximale, hauteur minimale.

La taille de la plante est souvent liée à l'aspect compétitif, à la fécondité et au comportement avant de possibles perturbations dans l'écosystème. Normalement, la taille est corrélée allométriquement aux autres traits écologiques : la biomasse sur le sol, la profondeur racinaire, la taille des feuilles et la croissance latérale des feuilles (Cornelissen *et al*, 2003).

b) Traits de la feuille.- Surface foliaire, taille de feuille et poids de feuille.

La surface foliaire a de bonnes corrélations avec le taux potentiel de croissance relative ou le taux photosynthétique maximal. Avoir des valeurs basses signifie avoir un investissement important dans la défense des feuilles (contre l'herbivorie) et un long cycle de vie. Les zones riches en ressources présentent souvent des plantes avec une aire foliaire plus grande et vice-versa.

La taille de la feuille est importante dans le bilan d'eau de la plante et dans le bilan énergétique de la feuille. Les plantes subissant des stress (chaleur, froid, sécheresse et hautes radiations) ont tendance à avoir de petites feuilles. Dans une zone climatique, cette variation de la taille peut être corrélée aux facteurs allométriques (taille de la plante, taille de la branche, etc.) et à des stratégies écologiques avant la disponibilité de nutriments et les perturbations.

Le poids sec des feuilles est corrélé avec la densité moyenne des tissus feuillus et est inversement proportionnel à la surface foliaire. Les feuilles qui ont un poids lourd sont plutôt plus résistantes aux dégâts physiques (herbivores, vent, grêle, etc.) (Cornelissen *et al*, 2003).

c) Traits régénératifs.- Mode de dispersion et la masse du graine.

Le mode de dispersion a des conséquences sur les distances de dispersion et de régénération des plantes. Les petites graines sont normalement dispersées loin de la plante mère, par contre les ressources stockées dans les grosses graines aident les plantules à s'établir et à survivre contre les dégâts environnementaux (sécheresse, herbivorie, etc). Les petites graines sont souvent enterrées plus en profondeur et liées à la longévité (Cornelissen *et al*, 2003).

Leishman et Westoby (1992) prennent la pollinisation (trait phénologique) comme un trait écologique à analyser.

Dans un travail sur la corrélation du type de pollinisation avec la taille des plantes dans les forêts britanniques, Colleen (1996) récapitule que la pollinisation est liée aux associations animales plutôt qu'au vent. A partir de cette prémisse, on espère que les plantes pollinisées par les animaux présentent une grande flexibilité vis-à-vis d'autres traits écologiques, grâce à ce succès de pollinisation, par exemple dans la taille de la plante. Néanmoins, son analyse a montré que les plantes pollinisées par le vent sont généralement plus grandes que les plantes pollinisées par les animaux. Ces résultats montrent probablement une double vulnérabilité des espèces, associée d'une part à une pollinisation animale (avant les changements environnementaux) et d'autre part à la dégradation des habitats.

Les traits d'histoire de vie liés à la pollinisation et considérés dans ce travail seront : le type d'inflorescence, la sexualité, le vecteur de pollinisation, la période de floraison, la couleur de la fleur, le début de floraison, la fin de floraison.

Il est également important de prendre des traits écologiques qui prennent en compte la banque de graines (traits de type de reproduction et de dispersion). On dispose de la base de données des graines dans le sol du Nord-est européen de Thompson *et al* (1997), duquel on utilisera la densité de la banque de graines (moyenne, maximale et minimale), la longévité maximale des graines et la profondeur de grains enterrés : moyenne, maximale, minimale.

L'âge de floraison, la durée de la vie, la période de chute des graines (vitesse terminale) et la hauteur de ses organes reproductifs des plantes seront aussi considérés.

Vingt-sept traits écologiques seront considérés dans l'analyse (Tableau 2).

Tableau 2.- Traits écologiques de vie qui sont pris en compte dans le travail.

| Caractéristique     | Traits de vie   |
|---------------------|---|
| Taille de la plante | Hauteur Maximale, hauteur minimale, hauteur minimale et maximale des organes reproductifs.  |
| Feuille             | Taille de feuilles, poids de feuilles, surface d'aire foliaire.   |
| Banque de graines   | Densité moyenne, maximale et minimale de la banque de graines, longévité maximale de graines, profondeur moyen, maximale et minimal de graines enterrées. |
| Phénologie          | Durée de vie de plantes, âge de floraison.  |
| Pollinisation       | Inflorescence, Sexualité, vecteur de pollinisation, période de floraison, couleur de fleur, début de floraison, fin de floraison.                         |
| Dispersion          | Moyenne de dissémination, type de fruit, poids de graines, vitesse terminale maximal et minimal.  |

#### 4.3.- REDUCTION DE TRAITS ECOLOGIQUES QUANTITATIFS

On a dit auparavant qu'il existe des corrélations entre les traits d'histoire de vie, surtout les traits qui présentent des valeurs quantitatives.

Une Analyse en composantes principales (ACP) sera appliquée sur les seize traits quantitatifs (Annexe 3).

L'application d'une ACP va nous permettre d'évaluer les ressemblances entre les individus en prenant en compte l'ensemble des variables et va nous permettre de faire un bilan des liaisons linéaires à partir de coefficients de corrélation (Cornillon, 2010).

A la fin, on obtient les traits les plus significatifs et les plus importants dans la distribution des espèces. Pour l'application de ce traitement statistique, une matrice a été créée dans laquelle les colonnes portent sur les variables en question et les lignes portent sur les espèces de la strate herbacée (159 espèces au total des 4 habitats) (par exemple voir annexe 4).

#### 4.4.- DEFINITION DE GROUPES FONCTIONNELS

L'objectif final d'un groupement est d'avoir les groupes fonctionnels de chaque habitat.

Les traits quantitatifs choisis précédemment se transformeront en données qualitatives au moyen d'un classement et seront ajoutés au reste des variables qualitatives où une nouvelle matrice sera formée : les colonnes avec les traits qualitatifs et les lignes avec les espèces de chaque habitat.

Une analyse de correspondances multiples (ACM) sera appliquée sur cette matrice (par exemple voir annexe 5). Une ACM va nous permettre dans le même sens qu'une ACP, d'évaluer les ressemblances entre les individus et en plus de dégager leurs profils. Elle permet également de faire un bilan des liaisons entre variables et d'étudier les associations des modalités (Cornillon, 2010). Ensuite une classification ascendante hiérarchique (CAH) va grouper les espèces dans des classes plus homogènes. Un dendrogramme montrera la hiérarchie des individus où la distance choisie est la distance euclidienne et l'indice d'agrégation celui de Ward (Cornillon, 2010).

Le choix du nombre de groupes nécessaires sera fait de manière subjective.

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé sous R avec le package Rcmdr.

## 5.- RESULTATS

Dans cette partie, ne seront présentés que les résultats issus de l'analyse des Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélèque uniflore. L'analyse des autres hêtraies est présentée en annexe 16.

### 5.1.- REDUCTION DE TRAITS ECOLOGIQUES QUANTITATIFS

Précédemment, la variable « Densité maximale de la banque de graines » a été enlevée. Celle-ci présentait des valeurs extrêmes pour certaines espèces, elle les regroupait de manière équivoque.

L'ACP a été appliquée sur les traits restants en obtenant les graphiques de variables suivantes (Fig 3). Les trois premières composantes principales extraient 45.4268 % de toute la variabilité. Ils possèdent 19.78%, 13.46 % et 12.17% de la proportion représentée respectivement (Annexe 6).

Dans la figure 3, concernant les variables pour les trois premières composantes, on observe les vecteurs qui contribuent le plus à chaque composante et à la distribution des espèces (Annexe 7).

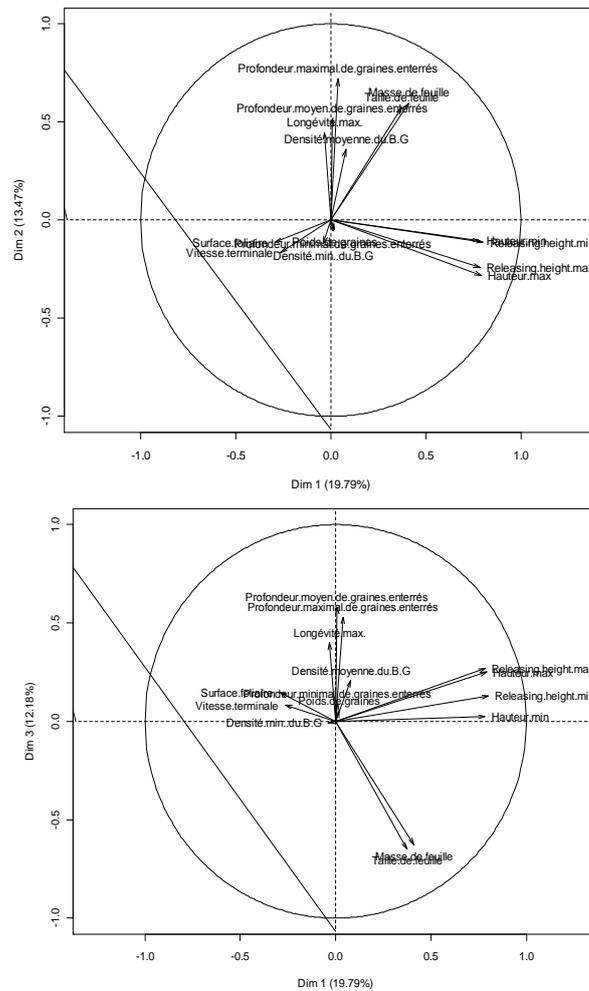


Figure 3.- ACP sur les 16 traits écologiques quantitatives : graphe de variables

La hauteur (maximale et minimale) de la plante et la hauteur (minimale et maximale) des organes reproductifs sont les plus importantes pour la composante 1. Pour la composante 2, la profondeur maximale de graines enterrées et la masse de la feuille sont importantes et finalement, la masse de feuille et la taille de la feuille pour la composante 3 (Annexe 7).

Sur la graphique, les flèches qui ont un angle de séparation plus étroit seront les plus corrélées.

A la simple vue du graphique, les variables importantes (la hauteur maximale et minimale de la plante, la hauteur minimale et maximale des organes reproductifs) de la composante 1 et 2 sont bien corrélées.

De même, la taille et la masse de la feuille ont une bonne corrélation. La longévité maximale et la profondeur maximale et moyenne de graines enterrées aussi.

On prendra finalement les variables suivantes :

- *La hauteur maximale* car on dispose des données les plus complètes et bien corrélées avec d'autres traits d'importance.
- *La taille de la feuille* qui est corrélée à la masse de la feuille.
- *La profondeur maximale de graines enterrées* importante pour les composantes 2 et 3 et corrélée avec la profondeur moyenne de graines enterrées.
- *La vitesse terminale* pour maintenir la distribution du groupe d'espèces et à la fois parce qu'elle est corrélée avec la surface foliaire.

## **5.2.- DEFINITION DES GROUPES FONCTIONNELS D'ESPECES POUR L'HABITAT HETRAIES-CHENAIES A ASPERULE ODORANTE ET MELIQUE UNIFLORE**

Fiche des caractéristiques et de l'aire de répartition de cet habitat (Annexe 8).

### **5.2.1.- TRAITS D'HISTOIRE DE VIE DE DONNEES QUALITATIVES**

Les 4 traits quantitatifs retenus précédemment ont été transformés en traits qualitatifs par un simple classement.

Au total il y a 15 traits qualitatifs avec leurs 55 attributs à analyser (Annexe 9).

### **5.2.2.- GROUPEMENT DES ESPECES**

Une ACM et une CAH sont appliquées sur cette nouvelle matrice « espèces et traits » où les variables et les modalités ayant une importance dans la formation des groupes sont entre autres : la pollinisation, la couleur de la fleur, le fin de floraison et l'inflorescence. (Voir annexe 10 et 11).

Dans la figure 4 et l'annexe 12, on montre les espèces groupées selon la ressemblance des caractéristiques des individus (Annexe 11).

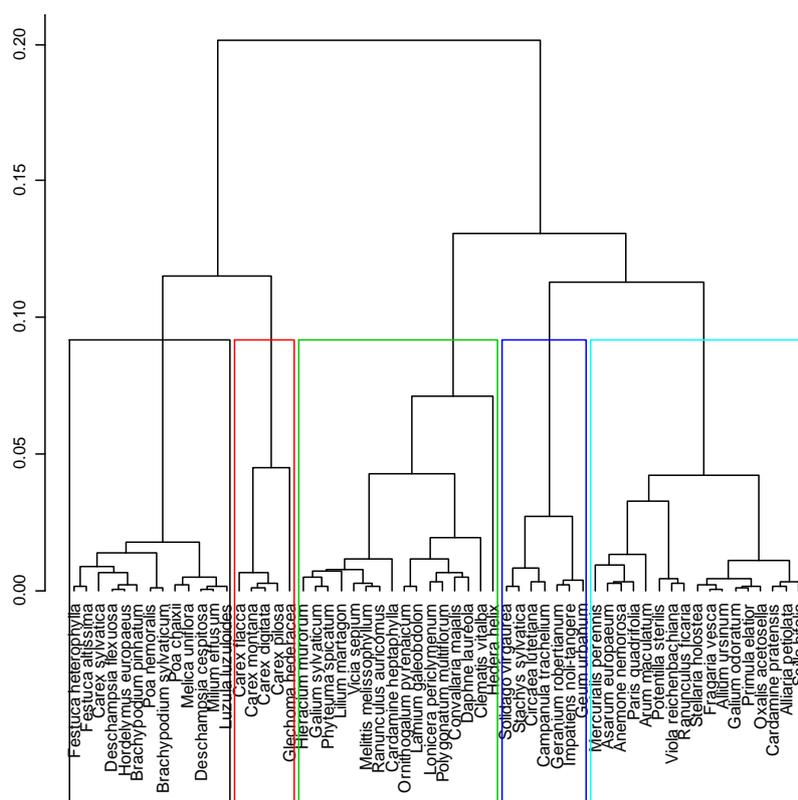


Figure 4.- Classification Ascendante Hiérarchique pour les Hêtraies-chênaies à Asperule odorante et Mélisque uniflore

### 5.3.- ESPECES REDONDANTES

Il y a 5 groupes établis pour cet habitat pour lequel l'ensemble des espèces de chaque groupe sont des espèces redondantes entre elles. En effet, elles partagent des caractéristiques communes tout en accomplissant un même rôle dans l'écosystème « groupes fonctionnels » (Tableau 3).

Les groupes 1,3 et 5 possèdent assez d'espèces redondantes à l'inverse des groupes 2 et 4 qui disposent de moins d'espèces redondantes. On remarque aussi que le groupe 2 est formé principalement des espèces du genre *Carex*.

Pour déterminer quelles espèces seront vitales pour maintenir le bon fonctionnement et la stabilité de l'écosystème, on propose de prendre au moins une des espèces les plus abondantes. (Annexe 13).

Le résultat nous donne subjectivement les espèces et les groupes d'espèces qui ont une participation dans la fonctionnalité de l'écosystème. Les espèces plus abondantes sont colorées dans le tableau 3. Le reste des espèces ne sont pas assez abondantes, elles sont seulement des espèces redondantes (Tableau 3).

Tableau 3.- Groupes fonctionnels, espèces plus abondantes et leur abondance

|                               | GROUPES FONCTIONNELS           |                           |                                |                               |                              |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                               | 1                              | 2                         | 3                              | 4                             | 5                            |
| ESPECES DE LA STRATE HERBACEE | <i>Melica uniflora</i>         | <i>Carex montana</i>      | <i>Hedera helix</i>            | <i>Circaea lutetiana</i>      | <i>Anemone nemorosa</i>      |
|                               | <i>Carex sylvatica</i>         | <i>Carex flacca</i>       | <i>Lamium galeobdolon</i>      | <i>Solidago virgaurea</i>     | <i>Galium odoratum</i>       |
|                               | <i>Brachypodium sylvaticum</i> | <i>Glechoma hederacea</i> | <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> | <i>Geranium robertianum</i>   | <i>Mercurialis perennis</i>  |
|                               | <i>Festuca heterophylla</i>    | <i>Carex digitata</i>     | <i>Vicia sepium</i>            | <i>Impatiens noli-tangere</i> | <i>Arum maculatum</i>        |
|                               | <i>Milium effusum</i>          | <i>Carex pilosa</i>       | <i>Polygonatum multiflorum</i> | <i>Stachys sylvatica</i>      | <i>Viola reichenbachiana</i> |
|                               | <i>Festuca altissima</i>       |                           | <i>Lonicera periclymenum</i>   | <i>Campanula trachelium</i>   | <i>Allium ursinum</i>        |
|                               | <i>Poa nemoralis</i>           |                           | <i>Ranunculus auricomus</i>    | <i>Geum urbanum</i>           | <i>Convallaria majalis</i>   |
|                               | <i>Deschampsia cespitosa</i>   |                           | <i>Galium sylvaticum</i>       |                               | <i>Scilla bifolia</i>        |
|                               | <i>Deschampsia flexuosa</i>    |                           | <i>Daphne laureola</i>         |                               | <i>Oxalis acetosella</i>     |
|                               | <i>Hordelymus europaeus</i>    |                           | <i>Cardamine heptaphylla</i>   |                               | <i>Fragaria vesca</i>        |
|                               | <i>Poa chaixii</i>             |                           | <i>Melittis melissophyllum</i> |                               | <i>Stellaria holostea</i>    |
|                               | <i>Luzula luzuloides</i>       |                           | <i>Clematis vitalba</i>        |                               | <i>Ranunculus ficaria</i>    |
|                               | <i>Brachypodium pinnatum</i>   |                           | <i>Phyteuma spicatum</i>       |                               | <i>Asarum europaeum</i>      |
|                               |                                |                           | <i>Hieracium murorum</i>       |                               | <i>Cardamine pratensis</i>   |
|                               |                                |                           | <i>Lilium martagon</i>         |                               | <i>Potentilla sterilis</i>   |
|                               |                                |                           |                                | <i>Primula elatior</i>        |                              |
|                               |                                |                           |                                | <i>Paris quadrifolia</i>      |                              |
|                               |                                |                           |                                | <i>Alliaria petiolata</i>     |                              |
| Abondance (%)                 | 8.43                           | 4.31                      | 31.55                          | 0.49                          | 18.09                        |
| Abondance total (%)           | 9.98                           | 4.31                      | 33.26                          | 2.1                           | 20.61                        |

 Espèces les plus abondantes

Ces 58 espèces représentent 70,28 % de l'abondance de toutes les espèces de la strate herbacée.

Les espèces redondantes du *groupe 1* représentent 9.98% de l'abondance de cette strate où 8.43 % appartiennent qu'aux espèces principales.

Le *groupe 2* a 4.31 % d'abondance. Toutes sont importantes en abondance.

Le *groupe 3* représente 33.26% de l'abondance de cet écosystème. 31.55 % appartiennent aux espèces principales.

Le *groupe 4* représente 2.10% d'abondance. L'unique espèce importante *Circaea lutetiana* a 0.498 % en abondance.

Le *groupe 5* représente 20.61% d'abondance où 18,09 % de l'abondance proviennent des espèces importantes.

*Hedera helix* est la plus abondante de cet habitat et du *groupe 3* avec un taux de 24.47 % (Annexe 13).

## 6. - DISCUSSION

### 6.1- STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DE L'ÉCOSYSTÈME DE L'HABITAT HÊTRAIES-CHENAIES A ASPERULE ODORANTE ET MELIQUE UNIFLORE

Dans cet écosystème, la strate arborée est composée de 14 espèces, principalement *Fagus sylvatica* et *Quercus petraea* (Maciejewski, 2011). De même, la strate arbustive compte 14 espèces et finalement 269 espèces de la strate herbacée. Cette diversité dans le sous-bois peut avoir une influence sur le type de couverture forestière, sur sa composition et son âge, ainsi que sur la qualité et la quantité de litière qui se décomposera (Ister et Gokbulak, 2009).

Seulement 58 espèces de la strate ont été groupées. Celles-ci nous donnent une idée du fonctionnement de cette strate en lien avec ses groupes fonctionnels principaux.

Les groupes où l'on retrouve le plus ces espèces sont les groupes 1, 3 et 5 avec respectivement 13, 15 et 18 espèces.

Par rapport au fonctionnement de l'habitat, Maciejewski mentionne que cet écosystème possède une grande diversité dans les vecteurs de reproduction et dissémination.

Sur l'ensemble des 58 espèces, 29 sont pollinisées par insectes et 11 soit par les insectes ou soit par le vent. Cette strate dépend probablement d'une pollinisation par insectes pour son maintien. Par le regroupement de ces espèces, la caractéristique écologique de pollinisation a été pris en compte dans les groupes 1, 3, 4 (Annexe 11).

Le groupe 1, de *Melica uniflora* et de *Carex sylvatica*, est caractérisé par une pollinisation par le vent et non pas par les insectes. Ce groupe présente des inflorescences composées principalement du type *racème de racèmes* aux fleurs vertes. La couleur des fleurs vertes nous donne un indice que cette caractéristique n'est pas liée à la pollinisation par insectes.

Le groupe 3, de *Hedera helix* et de *Clematis vitalba*, est pollinisé par les insectes, une inflorescence du type *cyme* principalement et des fleurs claires.

Le groupe 4, de *Circaea Lutetiana* et *Geranium robertianum*, présente une pollinisation diplogame (par le vent et par les insectes). Ces espèces ne disposent pas d'une inflorescence et d'une couleur de fleur caractéristique.

Les groupes 2 et 5 n'ont pas une pollinisation marquée, et sont formés pour d'autres caractéristiques.

Le type de dissémination de graines a plusieurs modalités chez les espèces les plus abondantes, la dissémination par les animaux ou par les fourmis. Maciejewski, en 2010, mentionne que pour cet habitat le type de dissémination myrmécochore nous donne probablement un indice de la présence potentielle de fourmis. Néanmoins, la variable « dissémination » a été utilisée que dans la formation du groupe 3. Autrement dit, les autres groupes formés ont différentes modalités de dissémination parmi leurs espèces.

Les graines du groupe 3 sont disséminées pour le vent principalement mais aussi par des animaux. Ce type de dissémination, par le vent, correspond probablement aux plantes d'une grande taille comme dans les cas de *Hedera helix*, *Clematis vitalba*, et *Lonicera periclymenum* qui surpassent deux mètres de hauteur quand elles deviennent en lianes. De plus, quelques espèces ont un fruit, de type baie, appétissant, et seront disséminées par les rongeurs et les oiseaux.

Étant donné que les espèces d'autres groupes ont différentes modalités de dissémination (par la gravité, par le vent, par les fourmis, etc), c'est le groupe 5 qui possède la moitié de ses

espèces disséminée pour les fourmis. Ce groupe peut donc être un bon indicateur des populations de fourmis.

Une autre variable écologique ayant fait partie des critères de regroupement est le début et la fin de floraison. Cette caractéristique est importante car elle reflète la façon dont les groupes de plantes profitent des pollinisateurs et des ressources à des moments différents. Le groupe 1 a une floraison qui commence en été mais n'est pas pollinisée par des insectes mais par le vent. Par contre, le groupe 3, avec une pollinisation entomogame, a sa floraison qui dure en moyenne 3 mois, commençant au printemps et se terminant en été. De la même façon, le groupe 5 a une floraison du printemps à l'été mais le temps durant lequel les fleurs sont ouvertes ne dure que 2 mois. Ce groupe est formé de petites plantes de moins de 0.5 mètres avec des fleurs solitaires. Il est probable que ce groupe de petites plantes profite dans un court temps de la lumière avant le feuillage complet des arbres ou de la concurrence d'autres herbacées. Exemple *Viola reichenbachiana* et *Anemone nemorosa*.

Le groupe 4 a une floraison marquée en été et qui dure en moyenne plus de 4 mois jusqu'à l'automne. Ce décalage dans la floraison, en comparaison à d'autres groupes, nous fait supposer que ces espèces auront un effet positif pour les pollinisateurs dans l'automne.

La taille a été une autre variable dans le regroupement des espèces. La taille est associée à la capacité compétitive, à la tolérance aux stress environnementaux et à la quantité de biomasse (Cornelissen *et al.*, 2003). Le groupe 3 de *Hedera helix*, espèce sempervirente, présente une grande taille qui arrive à surpasser les deux mètres de hauteur. Cette caractéristique peut donner des abris aux animaux ou permettre aux oiseaux de nidifier au sol en se cachant des prédateurs (Maciejewski, 2010). Le groupe 1 possède une taille de plantes entre 0.5 et 1 mètre de hauteur. Dans le groupe 5, les espèces de petite taille prédominent (moins de 0.5 cm).

Le groupe 2 possède une inflorescence sessile (épi, capitule, etc.) et de couleur foncée dans la plupart de cas. La sexualité est dite monoïque et les feuilles sont petites (moins de 1000mm<sup>2</sup>). Le groupe 4 possède une taille de feuilles moyenne entre 1000 et 5000 mm<sup>2</sup> et elles ont une durée de vie courte (un an) principalement.

Dans le groupe 5, la profondeur des graines enterrées se situe entre 20 et 40 cm et a une vitesse terminale de graines supérieure à 3.5 m/s.

## 6.2.- LIEN AVEC LES ESPECES TYPIQUES

La définition d' « espèces typiques » n'est pas encore réglementée, elle va prendre en considération un tas de suggestions pour sa création. Marage et Maciejewski, en 2011, ont proposé implicitement une perspective fonctionnelle dans le choix des espèces typiques, où ils choisissent de mettre un poids supérieur aux espèces plus abondantes et chacune d'elles va accomplir un rôle différent dans l'ensemble de l'écosystème. En se basant sur les recommandations de Bensettiti *et al* (2006), les espèces typiques doivent être des espèces caractéristiques de l'habitat. C'est-à-dire, disposer de fréquences élevées, être des espèces indicatrices qui appartiennent à la liste préétablie dans les cahiers d'habitats, des espèces avec un fort coefficient de fidélité et, que celles-ci ne soient ni très communes, ni trop rares et facilement identifiables, avec une durée de vie de type pérenne de préférence.

Dans le choix final des espèces typiques de Maciejewski (2010), elle a considéré en plus les traits d'histoire de vie de certaines espèces tels que : la pollinisation, la dissémination, la floraison, la fructification, la type biologique, etc.

Selon Maciejewski, pour l'habitat **Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélisque uniflore** les espèces *Hedera helix*, *Anemone nemorosa*, *Galium odoratum*, *Melica uniflora* y *Ornithogalum pyrenaicum* sont des espèces typiques de la strate herbacée.

Les groupes fonctionnels auxquels ces espèces correspondent sont : le groupe 3 ( *Hedera helix*, *Ornithogalum pyrenaicum*), le groupe 5 (*Anemone nemorosa*, *Galium odoratum*) et *Melica uniflora* comme le seul représentant du groupe 1. Toutes ces espèces sont comprises dans la liste des plus abondantes (Annexe 13). Il n'y a pas des espèces des groupes 2 et 4 dans cette liste.

Les groupes 1, 3 et 5 présentent assez d'espèces importantes pour le fonctionnement de l'écosystème ainsi que des espèces redondantes. On recommande de retenir les espèces les plus abondantes de chaque groupe telles que *Melica uniflora*, *Anemone nemorosa* et *Hedera helix*. Dans ce contexte, on devrait retirer *Galium odoratum* et *Ornithogalum pyrenaicum* de la liste de Maciejewski.

Le groupe 2 est représenté par 5 espèces principalement du genre *Carex*, où l'espèce plus abondante sera la *Carex montana*. Par contre, le groupe 4 dispose d'une seule espèce (*Circaea lutetiana*) mais avec beaucoup de redondance. Cette espèce peut être considérée comme une espèce clé à suivre pour être la principale et unique de son groupe.

En conclusion, une liste préliminaire sera celle qui prendra l'espèce la plus abondante de chaque groupe fonctionnel.

Une autre considération à prendre en compte dans la formation de cette liste sera l'état de protection des espèces au niveau de la France. Pour cet habitat de 58 espèces, il y a 16 espèces qui possèdent un statut de protection tant au niveau départemental que régional (source : Inventaire du patrimoine naturel. <http://inpn.mnhn.fr> ) (Annexe 14).

Pour affiner cette liste, on considérera celles qui ont un statut de protection compris sur l'aire de répartition de l'habitat d'étude. Donc, elles ne seront que 4 espèces : *Asarum europaeum*, *Carex pilosa*, *Lilium martagon* et *Ornithogalum pyrenaicum*.

On remarque que *Carex pilosa* et *Ornithogalum pyrenaicum* sont déjà incluses comme des espèces importantes pour le fonctionnement de l'écosystème. Elles font partie des groupes fonctionnels 2 et 3 respectivement (tableau 3). *Ornithogalum pyrenaicum* avait été déjà choisie dans la liste d'espèces typiques de Maciejewski, sûrement du fait de son état protégé. En conclusion, ces deux espèces sont suggérées dans la liste, *Ornithogalum pyrenaicum* choisie précédemment et *Carex pilosa* ajoutée par après.

Les espèces indicatrices doivent être reconnues facilement pour les gestionnaires. Dans ce sens, le genre *Carex* du groupe 2 posera des problèmes de reconnaissance sur le terrain. On a deux espèces *Carex* qui pourraient potentiellement faire partie de cette liste. On sait que le groupe 2 est représenté par 5 espèces et toutes font parties des abondantes et ce groupe ne dispose pas d'espèces redondantes. Selon Walker (1992), les groupes avec peu ou pas de redondance vont justifier la priorité de conservation. Par rapport à l'abondance de ce groupe, l'ensemble des espèces n'a pas une grande participation avec seulement 4.31 % d'abondance. Dans ce sens, il faudrait retenir toutes les espèces de ce groupe.

### 6.3.- INFLUENCE DU CHANGEMENT DE LUMIERE SUR LES GROUPES FONCTIONNELS

La lumière sera analysée comme un facteur de réponse avant une perturbation dans la forêt. Sous la canopée, l'intensité de lumière se maintiendra constante. Par exemple la récolte d'arbres va changer d'une manière positive l'entrée de lumière sur le tapis herbacé. La gestion de la densité des arbres dans les stations forestières peut affecter la diversité fonctionnelle en changeant les conditions environnementales (lumière, évapotranspiration, etc.) et amène à une augmentation ou une diminution de l'abondance et de la richesse des types fonctionnels de plantes du sous-bois (Bailey *et al*, 1998 ; Lookingbill *et al*, 2004 cités par Ares *et al* , 2010)

De la même façon, des phénomènes climatiques tels que les dépérissements d'arbres, la perte de feuillage ou la chute d'arbres à cause du vent auront un impact similaire sur les conditions de lumière sur le tapis herbacé.

Pour l'habitat **Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélique uniflore**, la plupart des espèces ont un comportement tolérant à la demi-ombre (43 de 58 espèces) (Annexe 15). On peut dire que le tapis herbacé est formé principalement des espèces intermédiaires en intensité de lumière « demi-ombre ».

Il y a 14 espèces tolérantes à l'ombre, nettement sciaphiles (Tableau 4). On recommande de prendre en compte ces espèces sciaphiles car elles sont plus sensibles au changement de l'augmentation de lumière et surtout du fait que 10 espèces importantes en abondance présentent cette caractéristique (Tableau 5).

Seulement une espèce est héliophile *Clematis vitalba* mais son abondance n'est pas significative.

Tableau 4.- Groupes d'espèces en lien à leur comportement à la lumière

| <b>Groupes fonctionnels</b> | <b>Espèces Tolérantes à l'ombre</b> | <b>Espèces à Demi-ombre principalement *</b> | <b>Espèces Héliophiles</b> |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|----------------------------|
| <b>GF1</b>                  | 4                                   | 9  | 0                          |
| <b>GF2</b>                  | 1                                   | 4  | 0                          |
| <b>GF3</b>                  | 3                                   | 11   | 1                          |
| <b>GF4</b>                  | 1                                   | 6  | 0                          |
| <b>GF5</b>                  | 5                                   | 13   | 0                          |
| <b>Total</b>                | <b>14</b>                           | <b>43</b>                                    | <b>1</b>                   |

\* Ces espèces peuvent avoir un comportement multiple demi-ombre – ombre ou héliophile- demi-ombre.

Tableau 5.- Groupes d'espèces importantes en abondance en lien à leur comportement à la lumière

| <b>Groupe fonctionnel</b> | <b>Tolérant à l'ombre</b> | <b>Demi-ombre principalement *</b> |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| <b>GF1</b>                | 3                         | 3                                  |
| <b>GF2</b>                | 1                         | 4                                  |
| <b>GF3</b>                | 2                         | 3                                  |
| <b>GF4</b>                | 0                         | 1                                  |
| <b>GF5</b>                | 4                         | 6                                  |
| <b>Total</b>              | <b>10</b>                 | <b>17</b>                          |

\* Ces espèces peuvent avoir un comportement multiple demi-ombre – ombre ou héliophile- demi-ombre.

Les groupes fonctionnels 1,3 et 5 présentent une importante quantité d'espèces tolérantes à l'ombre.

Pour le groupe 1 : *Melica uniflora*, *Carex sylvatica*, *Festuca altissima*.

Pour le groupe 3 : *Lamium galeobdolon*, *Polygonatum multiflorum*.

Pour le groupe 5 : *Galium odoratum*, *Arum maculatum*, *Allium ursinum*, *Oxalis acetosella*.

Le groupe 2 présente que *Carex digitata* comme l'espèce tolérante à l'ombre.

Une augmentation de lumière pourrait possiblement provoquer une diminution dans l'abondance de ces espèces sciaphiles. Cependant, il y a d'autres espèces qui ont un comportement positif vers la lumière : *Vicia sepium* pour le groupe 3 et *Fragaria vesca* pour le groupe 5. Ces espèces compenseront probablement la perte d'autres espèces sensibles à la lumière.

Le groupe 2, caractérisé par les *Carex*, présente des espèces avec différents comportements à la lumière. Par contre, le groupe 4 de *Circaea lutetiana* présente des espèces redondantes avec un comportement à demi-ombre.

Les espèces catégorisées comme redondantes ont un comportement principalement de demi-ombre mais ont une forte tendance à tolérer la lumière. C'est probablement une mise évidence de la bonne résilience que peut avoir cet écosystème avant les changements de lumière.

En conclusion, les espèces à considérer comme typiques de cet habitat et à la fois indicatrices d'un changement à l'entrée de lumière seront : la plus abondante de chaque groupe et celle qui a un comportement de tolérance à l'ombre. Elles sont les suivantes : *Melica uniflora* (groupe 1), *Carex digitata* (groupe 2), *Lamium galeobdolon* (groupe 3), *Galium odoratum* (groupe 5).

#### **6.4.- DETERMINATION D'ESPECES TYPIQUES AVEC UNE ANALYSE DE REDONDANCE FONCTIONNELLE.**

( ) Groupe fonctionnel

- Du point de vue d'abondance (les espèces plus abondantes de chaque groupe). *Melica uniflora* (1), *Carex montana* (2), *Hedera helix*(3), *Circaea lutetiana* (4) et *Anemone nemorosa* (5).
- Du point de vue du statut de protection. *Ornithogalum pyrenaicum* (3) et *Carex pilosa* (2).
- Du point des espèces indicatrices aux changements de lumière et plus abondantes. *Melica uniflora*(1), *Carex digitata*(2), *Lamium galeobdolon*(3) et *Galium odoratum*(5).
- Du point de vue de la simplicité dans la reconnaissance des espèces pour les questionnaires. Tous les *Carex* du groupe 2.

*Melica uniflora* est choisie car elle est la plus abondante du groupe 1 et c'est une indicatrice des perturbations (espèce sciaphile).

Pour le groupe 2 on recommande de prendre tout le genre *Carex*.

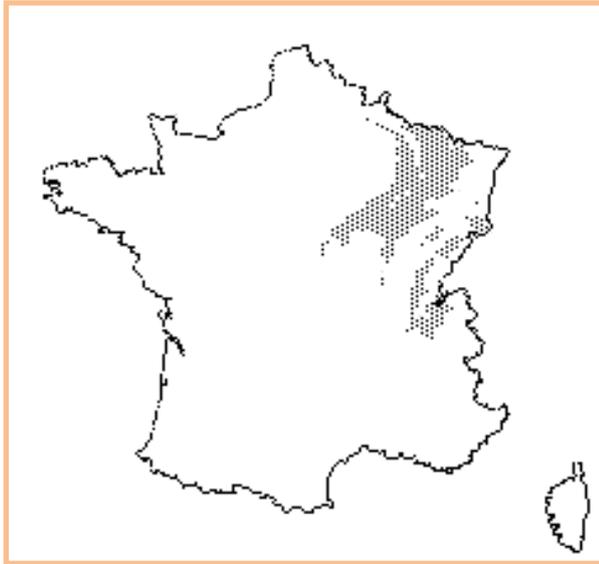
Pour le groupe 3 qui a trois espèces redondantes avec différents critères, on recommande de prendre l'*Ornithogalum pyrenaicum* car cette espèce est protégée dans la région et celle-ci est aussi abondante.

Pour le groupe 4, on retient *Galium odoratum* car c'est une indicatrice des perturbations de la lumière et aussi la deuxième la plus abondante dans son groupe.

Pour le groupe 5, on va prendre *Circaea lutetiana* la seule espèce du groupe.

## 6.5.- LISTE D'ESPECES TYPIQUES PROPOSEE

### Habitat : Hêtraies-chênaies à *Asperule odorante* et *Mélique uniflore*



Aire de répartition de l'habitat  
Hêtraies-chênaies à *Asperule odorante* et *Mélique*

#### Espèces typiques de la strate herbacée

- Melica uniflora* (1)
- Carex sp* (2)
- Ornithogalum pyrenaicum* (3)
- Galium odoratum* (4)
- Circaea lutetiana* (5)



1



2



3



4



5

Pour les autres habitats voir l'annexe 16.

## 7.- CONCLUSIONS

Cette approche fonctionnelle du tapis herbacé nous donne une idée de la dynamique de cette strate. En plus, un groupement de la biodiversité herbacée nous donne une meilleure vision du fonctionnement de l'écosystème et des rôles fonctionnels des espèces.

Des 6 types de traits d'histoire de vie (Tableau 2) seulement 4 ont été les plus caractéristiques dans la formation des groupes fonctionnels au sein des habitats :

- la pollinisation : vecteur de pollinisation, début de floraison et fin de floraison.
- la phénologie : durée de vie des plantes.
- le trait de plante entière : la hauteur maximale.
- la dispersion : le type de fruit.

Les groupes fonctionnels avec peu d'espèces redondantes et une faible abondance sont des groupes d'espèces adaptés à quelques conditions particulières. Par exemple : une floraison en automne, une durée de vie courte (plantes annuelles), etc. Etant donné les caractéristiques de ces groupes, il sera recommandé de suivre ceux-là.

Les groupes fonctionnels avec peu d'espèces redondantes et une abondance élevée, avec généralement une seule espèce abondante (comme le cas *Hedera helix*), nous mèneront à considérer cette espèce comme une espèce-clé. Le recours au suivi de cette espèce est donc à privilégier car un changement négatif de son abondance et le fait de ne pas disposer des espèces redondantes, provoquera possiblement une diminution de la fonctionnalité de l'écosystème.

Les groupes fonctionnels avec beaucoup d'espèces redondantes et une abondance élevée seront probablement capables de se maintenir après des perturbations. C'est-à-dire, qu'ils auront une bonne capacité de résilience.

La plupart des groupes fonctionnels ont des espèces avec un comportement multiple à la lumière (demi-ombre/ombre ou demi-ombre/héliophile). C'est-à-dire les groupes d'espèces seront probablement capables de réagir à un changement de lumière. Il s'agit là d'un indicateur de bonne résilience.

Dans ce rapport, un autre objectif est de mettre en lien cette redondance avec la liste d'espèces typiques de Maciejewski (2010). Selon elle, pour l'habitat Hêtraies-Chênaies à Aspérule Odorante et Mélique uniflore les espèces *Melica uniflora* (groupe 1), *Hedera helix* et *Ornithogalum pyrenaicum* (groupe 3), *Anemone nemorosa* et *Galium odoratum* (groupe 5) sont des espèces typiques de la strate herbacée. Cette liste ne présente pas tous les groupes fonctionnels des espèces mais additionne plutôt des espèces redondantes. Selon notre critère de redondance fonctionnelle, la liste finale comptera tous les groupes fonctionnels avec une redondance minimum : *Melica uniflora* (groupe 1), *Carex sp* (groupe 2), *Ornithogalum pyrenaicum* (groupe 3), *Circaea lutetiana* (groupe 4) et *Galium odoratum* (groupe 5).

La liste établie avec une évaluation d'espèces redondantes devra être un outil pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats et aussi pour le monitoring de la structure et du fonctionnement de la strate herbacée.

Pour le suivi de ce travail, on recommande de tester le rôle fonctionnel des espèces typiques retenues ; par exemple faire une étude de comparaison entre des habitats dégradés et des habitats conservés pour essayer de mesurer la réponse des groupes fonctionnels avant les perturbations. Finalement on conseille, pour aller plus en avant, de faire une analyse plus approfondie de la diversité des groupes fonctionnels entre les habitats.

## BIBLIOGRAPHIE

- Amann N. *Les groupes fonctionnels d'essences et leur traits de vie: étude approfondie sur les essences du bassin versant de Gap Chaudun*. Lerfob, Nancy, 2002, 23p.
- Ares A., Neill A. and Puettmann K., 2010. *Understory abundance, species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands*. *Forest Ecology and Management*. 260 : 1104-1113.
- Bailey J.D., Mayrsohn C., Doescher P.S., St. Pierre E. and Tappeiner J.C., 1998. *Understory vegetation in old and young Douglas-fir forests of Western Oregon*. *Forest Ecology and Management*. 112 : 289-302.
- Bensettiti F., Rameau J.-C. et Chevallier H. (coord.), 2001. « *Cahiers d'habitats* » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire*. Tome 1 - Habitats forestiers. MATE/MAP/MNHN. Ed. La Documentation française, Paris, 2 volumes : 339 p. et 423 p. + cédérom.
- Blondel J., 2003. Guilds or functional groups : does it matter ?. *Oikos*. 100 : 223-231.
- Bouillard B. *Petit encyclopédie de la Forêt*. Ellipses, Paris, 1992, 344p.
- Carnino N., 2009. *Etat de conservation des habitats d'intérêt communautaire a l'échelle du site : Méthode d'évaluation des habitats forestiers*. Muséum National d'Histoire Naturelle / Office National des Forêts, 49 p. + annexes.
- Collen K., 1996. *Identifying plant functional types using floristic data bases: Ecological correlates of plant range size*. *Journal of Vegetation Science* 7: 417-424.
- Cornelissen J.H.C., Lavorel E., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H., van der Heijden M.G.A., Pausas J.G., Poorter H., 2003. *A handbook, of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide*. *Australian Journal of Botany*. 51 : 335-380.
- Cornillon P.A. *Statistiques avec R*. Presses universitaires de Rennes, Rennes, 2010, 274p.
- Cummins K., 1974. *Structure and function of stream ecosystems*. *Bioscience*. 24 : 631-641.
- de Kroon H. and Olff H., 1995. *On the use of the guild concept in plant ecology*. *Folia Geobot. Phytotax.* 30 : 519-528.
- Diaz S., Cabido M., Zak M., Martinez Carretero E. and Anranibar J., 1999. *Functional implications of trait-environment linkages in plant communities*. In : Weiher, E. and Keddy P.A. (Eds) *The search for assembly rules in ecological communities*, pp. 338-362. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- do Vale V., Schiavini I., de Oliveira A. et Gusson E., 2010. *When ecological functions are more important than richness: A conservation approach*. *Journal of Ecology and the natural Environment*. 2: 272-280.
- Ellenberg H. *Vegetation ecology of central europe*. Cambridge University press, United Kingdom, 1986, 731 p.
- Ehrlich P. et Walker B., 1998. *Rivets and redundancy*. *Jstor. Bioscience*. 48 : 387.
- Gegout J.-C., Rameau J.-C. Renaux B., Jabiol B., Bar M., Marage D., 2008. *Les habitats forestiers de la France tempérée typologie et caractérisation phytoécologique*. AgroParisTech-ENGREF / Office National des Forêts.

- Garnier E., Cordonnier P., Guillermin J.L. and Sonié L., 1997. *Specific leaf area and leaf nitrogen concentration in annual and perennial grass species growing in Mediterranean old-fields*. *Oecologia*. 111 : 490-498.
- Girão L.C, Lopez AV, Tabarelli M., 2007. *Changes in tree reproductive traits reduce functional groups in a riparian landscape*. *Plos One*. 9 : 1-12.
- Gitay H., and Noble I.R., 1997. *What are functional types and how should we seek them ?*. *Plant Functional Types : Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change* (Smith T.M., Shugart H.H. and Woodward F.I., eds), pp 3-19. Cambridge University Press.
- Graae B.J. and Heskjaer V.S., 1997. *A comparison of understory vegetation between untouched and managed deciduous forest in Denmark*. *Forest Ecology and Management*. 96 : 111-123.
- Grime, J.P., 1997. *Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory*. *The American Naturalist*. 111: 1119.
- Ister S. and Gokbulak F., 2009. *Effect of stand types on understory vegetation*. *Journal of Environmental Biology*. 30(4) : 595 – 600.
- Jacamon M. *Arbres et Forêt de Lorraine*. S.A.E.P, Colmar, 1983, 141p.
- Knevel I.C., Becker R.M., Bakker J.P., Kleyer M., 2003. *Life-history traits of the Northwest European flora: The LEDA database*. *Journal of Vegetation Science* 14: 611-614.
- Körner C., 1993. *Scaling from species to vegetation: the usefulness of functional group*, in: Schulze E.D., Mooney H.A. (Eds), *Biodiversity and ecosystem function*, *Ecological studies*, vol 99. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York. Pp. 117-140.
- Kurt J., 2005. *Function and “functioning” in ecology : what does it mean?*. *Oikos*. 111: 3.
- Lavorel S. and Garnier E., 2002. *Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits*. *Funct. Ecol.* 16 : 545-556.
- Lavorel S., McIntyre S., Landsberg and Forbes T.D.A., 1997. *Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance*. *Elsevier* 12: 474-477.
- Leishman M.R., Westoby M., 1992. *Classifying plants into groups on the basis of associations of individual traits. Evidence from Australian semi-arid woodlands*. *Journal of Ecology*. 80 : 417-424.
- Lookingbill T.R., Goldenberg N.E., Williams B.H., 2004. *Understory species as soil moisture indicators to logging : a study of redwood forest*. *Plant Ecology*. 194 : 179-194.
- Macdonald S.E and Fenniak T.E, 2007. *Understory plant communities of boreal mixedwood forests in western Canada: Natural patterns and response to variable-retention harvesting*. *Forest Ecology and Management*. 242 : 34-48.
- Maciejewski L. *Méthodologie d'élaboration des listes d' « espèces typiques » pour des habitats forestiers d'intérêt communautaire en vue de l'évaluation de leur état de conservation*. Mémoire fin d'études. Engref, Nancy, 2010, 114p.
- Marage D. Maciejewski L., 2010. *De la typicité des espèces... à l'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers*. Muséum National d'Histoire Naturelle / AgroParisTech-ENGREF, 10 p.

- Médail F., Roche P., Taton T., 1998. *Functional groups in phytoecology : an application to the study of isolated plant communities in Mediterranean France*. Acta oecologica. 19(3) : 263-274.
- Naeem S., Loreau M. and Inchausti P., 2002. *Biodiversity and ecosystem functioning: the emergence of a synthetic ecological framework*. In M. Loreau, S. Naeem and P. Inchausti, (Eds). Biodiversity and Ecosystem Functioning : Synthesis and Perspectives, pp. 3-11, Oxford University Press, United Kingdom.
- Nilsson C., Engelmark O., Cory J., Forsslund A. and Carlborg E., 2008. *Differences in litter cover and understorey flora between stands of introduced lodgepole pine and native Scots pine in Sweden*. Forest Ecology and Management. 255 : 1900-1905.
- Pieper R., 1990. *Overstory-understory relations in pinyon-juniper woodlands in New Mexico*. Journal of Range Management. 43: 413-415.
- Raunkiaer C., 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford, XVI. 632p.
- Ramade F. *Eléments d'écologie : écologie fondamentale*. McGraw-Hill, Paris, 1984 , 397 p.
- Rameau J.C. *Dynamique de la végétation : au niveau des paysages, au niveau des milieux forestiers*. Engref, Nancy, 2000, 132p.
- Rameau J.C, Mansion D., Dumé, J. Timbal G., Dupont P. et R Keller. *Flore forestière française, Tomes 1 (plaines et collines) et 2 (montagnes)*. IDF, Paris, 1989, 1785p et 2421p.
- Root R.B., 1967. *The niche exploitation pattern of the blue-gray gnatcatcher*. Ecological monographs. 37 : 317-350.
- Simberloff D. and Dayan T., 1991. *The guild concept and the structure of ecological communities*. Annu. Rev. Ecol.Syst. 22 : 115-143.
- Svenning J.C and Skov F., 2002. *Mesoscale distribution of understory plants in temperate forests (Kalo,Denmark) : The importance of environment and dispersal*. Plant Ecology. 160 : 169-185.
- Thompson K., Bakker J., Bekker R., *The soil seed banks of North West Europe*. Cambridge University press, United Kingdom, 1997, 276p.
- Walker B., 1992. *Biodiversity and ecological redundancy*. Conserv. Biol. 6 :18-23.
- Wellnitz T. & Poff L., 2001. *Functional redundancy in heterogeneous environments : Implications for conservation*. Ecology letters. 4 : 177-179.
- Woodward F.I. and Cramer W., 1996. *Plant functional types and climatic changes : introduction*. Journal of Vegetation Science 7: 306-308.

## ANNEXES

Annexe 1. Liste de traits discutés dans le protocole de Cornelissen *et al*, 2003.

| Variable  | Preferred unit   | Range of values       | Recommended sample size (N) |           | Range in CV (%) | Logical combinations | Available literature |
|---|--|-----------------------|-----------------------------|-----------|-----------------|----------------------|----------------------|
|   |  |                       | minimum                     | preferred |                 |                      |                      |
| <i>Traits that can be measured on any plants in the population that meet the trait criteria</i>   |  |                       |                             |           |                 |                      |                      |
| <b>Vegetative traits</b>  |  |                       |                             |           |                 |                      |                      |
| Growth form   | cat.   |                       | 3                           | 5         |                 |                      | +                    |
| Life form   | cat.   |                       | 3                           | 5         |                 |                      | +                    |
| Plant height  | m  | 0.01–100              | 10                          | 25        | 17–36           |                      | +                    |
| Clonality   | cat.   |                       | 5                           | 10        |                 |                      | +                    |
| Spinescence   | cat.   |                       | 3                           | 5         |                 |                      | +                    |
| Flammability  | cat.   |                       | 5                           | 10        |                 |                      |                      |
| Leaf life-span  | month  | 0.5–200               | 3, 12                       | 10, 12    | ?               | a                    |                      |
| Leaf phenology  | month  | 0.5–12                | 5                           | 10        | ?               | a                    | +                    |
| <b>Regenerative traits</b>  |  |                       |                             |           |                 |                      |                      |
| Dispersal mode  | cat.   |                       | 3                           | 3         |                 | b                    | +                    |
| Dispersule shape  | unitless   | 0–1                   | 3, 5                        | 10, 5     | ?               | b                    |                      |
| Dispersule size (mass)  | mg   | $10^{-3}$ – $10^7$    | 3, 5                        | 10, 5     | ?               | b                    |                      |
| Seed mass   | mg   | $10^{-3}$ – $10^7$    | 3, 5                        | 10, 5     | ?               | b                    | +                    |
| Resprouting capacity  | unitless   | 0–100                 | 5                           | 25        | ?               |                      | +                    |
| <i>Traits that may all be measured on the same plant individuals (note that belowground traits of small species are best sampled by whole-plant excavation)</i> |  |                       |                             |           |                 |                      |                      |
| <b>Leaf traits</b>  |  |                       |                             |           |                 |                      |                      |
| Specific leaf area (SLA)  | m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup><br>(mm <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup> ) | 2–80                  | 5, 2                        | 10, 2     | 8–16            | c                    |                      |
| Leaf size (individual leaf area)  | mm <sup>2</sup>  | 1–10 <sup>6</sup>     | 5, 2                        | 10, 2     | 17–36           | d                    | +                    |
| Leaf dry matter content (LDMC)  | mg g <sup>-1</sup>   | 50–700                | 5, 2                        | 10, 2     | 4–10            | c                    |                      |
| Leaf nitrogen concentration (LNC)   | mg g <sup>-1</sup>   | 10–50                 | 5, 2                        | 10, 2     | 8–19            | d                    | +                    |
| Leaf phosphorus concentration (LPC)   | mg g <sup>-1</sup>   | 0.5–5                 | 5, 2                        | 10, 2     | 10–28           | d                    | +                    |
| Physical strength of leaves   | N (or N mm <sup>-1</sup> )   | 0.02–4<br>(or 0.2–40) | 5                           | 10        | 14–29           |                      |                      |
| Photosynthetic pathway  | cat.   |                       | 3                           | 3         |                 |                      | +                    |
| Leaf frost sensitivity  | %  | 2–100                 | 5                           | 10        | 9–26            |                      |                      |
| <b>Stem traits</b>  |  |                       |                             |           |                 |                      |                      |
| Stem specific density (SSD)   | mg mm <sup>-3</sup><br>(kg dm <sup>-3</sup> )                          | 0.4–1.2               | 5                           | 10        | 5–9             | e                    | +                    |
| Twig dry matter content (TDMC)  | mg g <sup>-1</sup>   | 150–850 ?             | 5                           | 10        | ?               |                      |                      |
| Twig drying time  | day  | ?                     | 5                           | 10        | ?               |                      |                      |
| Bark thickness  | mm   | ?                     | 5                           | 10        | ?               | e                    |                      |
| <b>Below-ground traits</b>  |  |                       |                             |           |                 |                      |                      |
| Specific root length (SRL)  | m g <sup>-1</sup>  | 10–500                | 5, 10                       | 10, 10    | 15–54           | f                    |                      |
| Fine root diameter  | mm   | ?                     | 5, 10                       | 10, 10    | 5–16            | f                    |                      |
| Root depth distribution   | g m <sup>-3</sup>  | ?                     | 5                           | 10        | ?               | f/g                  |                      |
| 95% rooting depth   | m  | 0–5 (10)              | 5                           | 10        | ?               | f/g                  |                      |
| Nutrient uptake strategy  | cat.   |                       | 5                           | 10        |                 |                      | +                    |

## Annexe 2

Liste d'espèces et leur abondance « Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et  
Mélique uniflore »

| N° | Espèce                         | Abondance  | N° | Espèce                         | Abondance  |
|----|--------------------------------|------------|----|--------------------------------|------------|
| 1  | <i>Hedera helix</i>            | 24.4758621 | 30 | <i>Asarum europaeum</i>        | 0.36133005 |
| 2  | <i>Anemone nemorosa</i>        | 5.59704434 | 31 | <i>Poa nemoralis</i>           | 0.36108374 |
| 3  | <i>Lamium galeobdolon</i>      | 4.22955665 | 32 | <i>Lonicera periclymenum</i>   | 0.36034483 |
| 4  | <i>Galium odoratum</i>         | 4.07438424 | 33 | <i>Cardamine pratensis</i>     | 0.34310345 |
| 5  | <i>Mercurialis perennis</i>    | 3.01724138 | 34 | <i>Potentilla sterilis</i>     | 0.33004926 |
| 6  | <i>Melica uniflora</i>         | 2.6182266  | 35 | <i>Ranunculus auricomus</i>    | 0.32561576 |
| 7  | <i>Carex sylvatica</i>         | 2.04950739 | 36 | <i>Primula elatior</i>         | 0.31305419 |
| 8  | <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> | 1.48054187 | 37 | <i>Stachys sylvatica</i>       | 0.28669951 |
| 9  | <i>Carex montana</i>           | 1.25172414 | 38 | <i>Deschampsia cespitosa</i>   | 0.2729064  |
| 10 | <i>Brachypodium sylvaticum</i> | 1.19630542 | 39 | <i>Galium sylvaticum</i>       | 0.25935961 |
| 11 | <i>Arum maculatum</i>          | 1.04852217 | 40 | <i>Daphne laureola</i>         | 0.23817734 |
| 12 | <i>Festuca heterophylla</i>    | 1.01206897 | 41 | <i>Euphorbia amygdaloides</i>  | 0.23226601 |
| 13 | <i>Viola reichenbachiana</i>   | 0.99581281 | 42 | <i>Cardamine heptaphylla</i>   | 0.23226601 |
| 14 | <i>Carex flacca</i>            | 0.97339902 | 43 | <i>Solidago virgaurea</i>      | 0.208867   |
| 15 | <i>Milium effusum</i>          | 0.91724138 | 44 | <i>Melittis melissophyllum</i> | 0.20738916 |
| 16 | <i>Allium ursinum</i>          | 0.8726601  | 45 | <i>Geranium robertianum</i>    | 0.20320197 |
| 17 | <i>Vinca minor</i>             | 0.78694581 | 46 | <i>Clematis vitalba</i>        | 0.20123153 |
| 18 | <i>Glechoma hederacea</i>      | 0.77684729 | 47 | <i>Hordelymus europaeus</i>    | 0.19433498 |
| 19 | <i>Convallaria majalis</i>     | 0.71896552 | 48 | <i>Phyteuma spicatum</i>       | 0.1864532  |
| 20 | <i>Carex digitata</i>          | 0.67438424 | 49 | <i>Poa chaixii</i>             | 0.16773399 |
| 21 | <i>Scilla bifolia</i>          | 0.65591133 | 50 | <i>Luzula luzuloides</i>       | 0.16724138 |
| 22 | <i>Festuca altissima</i>       | 0.63669951 | 51 | <i>Brachypodium pinnatum</i>   | 0.15738916 |
| 23 | <i>Carex pilosa</i>            | 0.63522168 | 52 | <i>Paris quadrifolia</i>       | 0.15541872 |
| 24 | <i>Polygonatum multiflorum</i> | 0.58669951 | 53 | <i>Impatiens noli-tangere</i>  | 0.15394089 |
| 25 | <i>Oxalis acetosella</i>       | 0.57192118 | 54 | <i>Hieracium murorum</i>       | 0.15       |
| 26 | <i>Fragaria vesca</i>          | 0.54285714 | 55 | <i>Stellaria holostea</i>      | 0.13891626 |
| 27 | <i>Circaea lutetiana</i>       | 0.49802956 | 56 | <i>Lilium martagon</i>         | 0.13004926 |
| 28 | <i>Vicia sepium</i>            | 0.48497537 | 57 | <i>Campanula trachelium</i>    | 0.12586207 |
| 29 | <i>Ranunculus ficaria</i>      | 0.41428571 | 58 | <i>Alliaria petiolata</i>      | 0.12044335 |

(Ecoplant, 2008)

Liste d'espèces et leur abondance « Hêtraies-chênaies subatlantiques à Chèvrefeuille »

| N° | Espèce                           | Abondance | N° | Espèce                          | Abondance |
|----|----------------------------------|-----------|----|---------------------------------|-----------|
| 1  | <i>Hedera helix</i>              | 19.782    | 34 | <i>Circaea lutetiana</i>        | 0.296     |
| 2  | <i>Anemone nemorosa</i>          | 5.086     | 35 | <i>Sanicula europaea</i>        | 0.287     |
| 3  | <i>Mercurialis perennis</i>      | 3.798     | 36 | <i>Geranium robertianum</i>     | 0.236     |
| 4  | <i>Lamium galeobdolon</i>        | 3.109     | 37 | <i>Luzula pilosa</i>            | 0.223     |
| 5  | <i>Melica uniflora</i>           | 2.793     | 38 | <i>Carex pilulifera</i>         | 0.221     |
| 6  | <i>Galium odoratum</i>           | 2.534     | 39 | <i>Galium aparine</i>           | 0.213     |
| 7  | <i>Convallaria majalis</i>       | 1.977     | 40 | <i>Potentilla sterilis</i>      | 0.197     |
| 8  | <i>Luzula sylvatica</i>          | 1.928     | 41 | <i>Vincetoxicum hirsutum</i>    | 0.193     |
| 9  | <i>Milium effusum</i>            | 1.671     | 42 | <i>Teucrium scorodonia</i>      | 0.187     |
| 10 | <i>Oxalis acetosella</i>         | 1.520     | 43 | <i>Galium mollugo</i>           | 0.186     |
| 11 | <i>Holcus mollis</i>             | 1.436     | 44 | <i>Ajuga reptans</i>            | 0.180     |
| 12 | <i>Viola reichenbachiana</i>     | 1.287     | 45 | <i>Stachys sylvatica</i>        | 0.178     |
| 13 | <i>Arum maculatum</i>            | 1.258     | 46 | <i>Rumex obtusifolius</i>       | 0.174     |
| 14 | <i>Carex flacca</i>              | 1.177     | 47 | <i>Stellaria holostea</i>       | 0.135     |
| 15 | <i>Brachypodium sylvaticum</i>   | 0.830     | 48 | <i>Orchis purpurea</i>          | 0.131     |
| 16 | <i>Carex sylvatica</i>           | 0.741     | 49 | <i>Polygonatum multiflorum</i>  | 0.131     |
| 17 | <i>Hyacinthoides non-scripta</i> | 0.727     | 50 | <i>Vicia sepium</i>             | 0.125     |
| 18 | <i>Ruscus aculeatus</i>          | 0.660     | 51 | <i>Cephalanthera damasonium</i> | 0.114     |
| 19 | <i>Primula elatior</i>           | 0.580     | 52 | <i>Melampyrum pratense</i>      | 0.100     |
| 20 | <i>Deschampsia cespitosa</i>     | 0.568     | 53 | <i>Veronica montana</i>         | 0.096     |
| 21 | <i>Tamus communis</i>            | 0.536     | 54 | <i>Campanula trachelium</i>     | 0.093     |
| 22 | <i>Euphorbia amygdaloides</i>    | 0.487     | 55 | <i>Ornithogalum pyrenaicum</i>  | 0.083     |
| 23 | <i>Glechoma hederacea</i>        | 0.480     | 56 | <i>Carex digitata</i>           | 0.082     |
| 24 | <i>Deschampsia flexuosa</i>      | 0.473     | 57 | <i>Juncus effusus</i>           | 0.082     |
| 25 | <i>Carex umbrosa</i>             | 0.454     | 58 | <i>Geum urbanum</i>             | 0.081     |
| 26 | <i>Festuca heterophylla</i>      | 0.432     | 59 | <i>Primula veris</i>            | 0.079     |
| 27 | <i>Primula vulgaris</i>          | 0.413     | 60 | <i>Veronica officinalis</i>     | 0.076     |
| 28 | <i>Poa nemoralis</i>             | 0.412     | 61 | <i>Rubia peregrina</i>          | 0.071     |
| 29 | <i>Daphne laureola</i>           | 0.387     | 62 | <i>Scilla bifolia</i>           | 0.070     |
| 30 | <i>Clematis vitalba</i>          | 0.386     | 63 | <i>Ranunculus auricomus</i>     | 0.062     |
| 31 | <i>Listera ovata</i>             | 0.375     | 64 | <i>Viola riviniana</i>          | 0.050     |
| 32 | <i>Carex remota</i>              | 0.333     | 65 | <i>Neottia nidus-avis</i>       | 0.050     |
| 33 | <i>Fragaria vesca</i>            | 0.310     |    |                                 |           |

(Ecoplant, 2008)

Liste d'espèces et leur abondance « Hêtraies-chênaies à Jacinthe des bois »

| N° | Espèce                           | Abondance  | N° | Espèce                         | Abondance  |
|----|----------------------------------|------------|----|--------------------------------|------------|
| 1  | <i>Hedera helix</i>              | 13.5623693 | 36 | <i>Primula vulgaris</i>        | 0.23937282 |
| 2  | <i>Anemone nemorosa</i>          | 10.1707317 | 37 | <i>Luzula pilosa</i>           | 0.21045296 |
| 3  | <i>Melica uniflora</i>           | 10.0919861 | 38 | <i>Adoxa moschatellina</i>     | 0.19477352 |
| 4  | <i>Hyacinthoides non-scripta</i> | 9.07317073 | 39 | <i>Potentilla sterilis</i>     | 0.18745645 |
| 5  | <i>Lamium galeobdolon</i>        | 6.60627178 | 40 | <i>Tamus communis</i>          | 0.18397213 |
| 6  | <i>Galium odoratum</i>           | 6.22090592 | 41 | <i>Glechoma hederacea</i>      | 0.18188153 |
| 7  | <i>Milium effusum</i>            | 5.10766551 | 42 | <i>Sanicula europaea</i>       | 0.1804878  |
| 8  | <i>Lonicera periclymenum</i>     | 4.28919861 | 43 | <i>Clematis vitalba</i>        | 0.17108014 |
| 9  | <i>Mercurialis perennis</i>      | 3.9456446  | 44 | <i>Digitalis purpurea</i>      | 0.15679443 |
| 10 | <i>Holcus mollis</i>             | 3.89442509 | 45 | <i>Narcissus jonquilla</i>     | 0.15679443 |
| 11 | <i>Oxalis acetosella</i>         | 2.38885017 | 46 | <i>Geum urbanum</i>            | 0.15470383 |
| 12 | <i>Euphorbia amygdaloides</i>    | 1.38222997 | 47 | <i>Solidago virgaurea</i>      | 0.15296167 |
| 13 | <i>Ranunculus ficaria</i>        | 1.31916376 | 48 | <i>Carex flacca</i>            | 0.15226481 |
| 14 | <i>Carex sylvatica</i>           | 1.20209059 | 49 | <i>Ajuga reptans</i>           | 0.14355401 |
| 15 | <i>Circaea lutetiana</i>         | 0.97073171 | 50 | <i>Fragaria vesca</i>          | 0.14320557 |
| 16 | <i>Polygonatum multiflorum</i>   | 0.95296167 | 51 | <i>Paris quadrifolia</i>       | 0.13170732 |
| 17 | <i>Viola riviniana</i>           | 0.82648084 | 52 | <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> | 0.12334495 |
| 18 | <i>Stellaria holostea</i>        | 0.7641115  | 53 | <i>Carex pilulifera</i>        | 0.11707317 |
| 19 | <i>Arum maculatum</i>            | 0.75958188 | 54 | <i>Hypericum pulchrum</i>      | 0.10696864 |
| 20 | <i>Geranium robertianum</i>      | 0.63867596 | 55 | <i>Moehringia trinervia</i>    | 0.10557491 |
| 21 | <i>Teucrium scorodonia</i>       | 0.58885017 | 56 | <i>Juncus effusus</i>          | 0.09686411 |
| 22 | <i>Allium ursinum</i>            | 0.58780488 | 57 | <i>Festuca heterophylla</i>    | 0.09407666 |
| 23 | <i>Deschampsia cespitosa</i>     | 0.51184669 | 58 | <i>Ranunculus auricomus</i>    | 0.09198606 |
| 24 | <i>Ruscus aculeatus</i>          | 0.40940767 | 59 | <i>Urtica dioica</i>           | 0.08397213 |
| 25 | <i>Viola reichenbachiana</i>     | 0.40522648 | 60 | <i>Galeopsis tetrahit</i>      | 0.07351916 |
| 26 | <i>Veronica montana</i>          | 0.39337979 | 61 | <i>Melampyrum pratense</i>     | 0.07247387 |
| 27 | <i>Primula elatior</i>           | 0.38362369 | 62 | <i>Veronica chamaedrys</i>     | 0.06933798 |
| 28 | <i>Stachys sylvatica</i>         | 0.36480836 | 63 | <i>Rubus idaeus</i>            | 0.06515679 |
| 29 | <i>Galium aparine</i>            | 0.33414634 | 64 | <i>Umbilicus rupestris</i>     | 0.06097561 |
| 30 | <i>Carex remota</i>              | 0.32229965 | 65 | <i>Luzula forsteri</i>         | 0.06062718 |
| 31 | <i>Deschampsia flexuosa</i>      | 0.31149826 | 66 | <i>Scrophularia nodosa</i>     | 0.05714286 |
| 32 | <i>Vicia sepium</i>              | 0.29407666 | 67 | <i>Daphne laureola</i>         | 0.05644599 |
| 33 | <i>Brachypodium sylvaticum</i>   | 0.26376307 | 68 | <i>Mycelis muralis</i>         | 0.05574913 |
| 34 | <i>Convallaria majalis</i>       | 0.24599303 | 69 | <i>Luzula sylvatica</i>        | 0.0543554  |
| 35 | <i>Poa nemoralis</i>             | 0.24320557 |    |                                |            |

(Ecoplant, 2008)

Liste d'espèces et leur abondance « Hêtraies, hêtraies-sapinières calciclives »

| N° | Espèce                           | Abondance   | N° | Espèce                              | Abondance |
|----|----------------------------------|-------------|----|-------------------------------------|-----------|
| 1  | <i>Galium odoratum</i>           | 9.241558442 | 33 | <i>Veronica urticifolia</i>         | 0.4480519 |
| 2  | <i>Mercurialis perennis</i>      | 6.551948052 | 34 | <i>Carex flacca</i>                 | 0.3805195 |
| 3  | <i>Hordelymus europaeus</i>      | 5.91038961  | 35 | <i>Paris quadrifolia</i>            | 0.3623377 |
| 4  | <i>Oxalis acetosella</i>         | 3.775324675 | 36 | <i>Lathyrus vernus</i>              | 0.3454545 |
| 5  | <i>Hedera helix</i>              | 3.481818182 | 37 | <i>Cardamine pentaphyllos</i>       | 0.3298701 |
| 6  | <i>Lamium galeobdolon</i>        | 2.598701299 | 38 | <i>Geranium robertianum</i>         | 0.3285714 |
| 7  | <i>Prenanthes purpurea</i>       | 2.437662338 | 39 | <i>Euphorbia dulcis</i>             | 0.3181818 |
| 8  | <i>Hieracium murorum</i>         | 2.102597403 | 40 | <i>Poa nemoralis</i>                | 0.2987013 |
| 9  | <i>Sanicula europaea</i>         | 2.092207792 | 41 | <i>Helleborus foetidus</i>          | 0.2857143 |
| 10 | <i>Carex sylvatica</i>           | 1.632467532 | 42 | <i>Geranium sylvaticum</i>          | 0.2727273 |
| 11 | <i>Melica uniflora</i>           | 1.581818182 | 43 | <i>Vicia sepium</i>                 | 0.261039  |
| 12 | <i>Brachypodium sylvaticum</i>   | 1.267532468 | 44 | <i>Orthilia secunda</i>             | 0.2454545 |
| 13 | <i>Carex digitata</i>            | 1.237662338 | 45 | <i>Senecio ovatus subsp. ovatus</i> | 0.2428571 |
| 14 | <i>Festuca altissima</i>         | 1.046753247 | 46 | <i>Bromus ramosus</i>               | 0.2350649 |
| 15 | <i>Viola reichenbachiana</i>     | 1.019480519 | 47 | <i>Epipactis helleborine</i>        | 0.2285714 |
| 16 | <i>Cardamine heptaphylla</i>     | 0.987012987 | 48 | <i>Festuca gigantea</i>             | 0.2272727 |
| 17 | <i>Phyteuma spicatum</i>         | 0.892207792 | 49 | <i>Polygala chamaebuxus</i>         | 0.1974026 |
| 18 | <i>Adenostyles alliariae</i>     | 0.8         | 50 | <i>Adenostyles alpina</i>           | 0.1948052 |
| 19 | <i>Fragaria vesca</i>            | 0.797402597 | 51 | <i>Chaerophyllum hirsutum</i>       | 0.1948052 |
| 20 | <i>Polygonatum verticillatum</i> | 0.767532468 | 52 | <i>Calamintha grandiflora</i>       | 0.1727273 |
| 21 | <i>Solidago virgaurea</i>        | 0.718181818 | 53 | <i>Euphorbia amygdaloides</i>       | 0.161039  |
| 22 | <i>Hepatica nobilis</i>          | 0.68961039  | 54 | <i>Lysimachia nemorum</i>           | 0.1350649 |
| 23 | <i>Melica nutans</i>             | 0.684415584 | 55 | <i>Stellaria nemorum</i>            | 0.1298701 |
| 24 | <i>Vaccinium myrtillus</i>       | 0.677922078 | 56 | <i>Epilobium montanum</i>           | 0.1116883 |
| 25 | <i>Asarum europaeum</i>          | 0.649350649 | 57 | <i>Carex alba</i>                   | 0.1051948 |
| 26 | <i>Saxifraga rotundifolia</i>    | 0.632467532 | 58 | <i>Knautia maxima</i>               | 0.0935065 |
| 27 | <i>Luzula sylvatica</i>          | 0.577922078 | 59 | <i>Galeopsis tetrahit</i>           | 0.0831169 |
| 28 | <i>Petasites albus</i>           | 0.522077922 | 60 | <i>Actaea spicata</i>               | 0.0831169 |
| 29 | <i>Veronica austriaca</i>        | 0.494805195 | 61 | <i>Melampyrum velebicum</i>         | 0.0779221 |
| 30 | <i>Rubus saxatilis</i>           | 0.492207792 | 62 | <i>Ajuga reptans</i>                | 0.0766234 |
| 31 | <i>Galium sylvaticum</i>         | 0.48961039  | 63 | <i>Aruncus dioicus</i>              | 0.0753247 |
| 32 | <i>Milium effusum</i>            | 0.472727273 | 64 | <i>Galium rotundifolium</i>         | 0.0727273 |

(Ecoplant, 2008)

Annexe 3.

Liste de traits écologiques de caractère quantitative dans le protocole de Cornelissen et al, 2003.

| <b>Traits de vie</b>                        | <b>Unités</b>       |
|---|---------------------|
| Hauteur Maximale                            | mètres              |
| Hauteur Minimale                            | mètres              |
| Taille de feuilles                          | mm <sup>2</sup>     |
| Poids de feuilles                           | mg                  |
| Surface d'aire foliaire                     | mm <sup>2</sup> /mg |
| Poids de graines                            | grammes             |
| Densité moyenne de la banque de graines     | par mètre carré     |
| Densité maximale de la banque de graines    | par mètre carré     |
| Densité minimale de la banque de graines    | par mètre carré     |
| Longévité maximale de graines               | (y)                 |
| Profondeur moyen de graines enterrées       | cm                  |
| Profondeur maximal de graines enterrées     | cm                  |
| Profondeur minimal de graines enterrées     | cm                  |
| Vitesse terminale                           | m/s                 |
| L'hauteur minimale des organes reproductifs | mètres              |
| L'hauteur maximale des organes reproductifs | mètres              |
| Masse de feuille                            | mg                  |

Annexe 6.- Values propres (eigenvalues) de chaque composante principale, leur pourcentage de variance exprimée et accumulée

| <b>Composante</b> | <b>Eigenvalue</b> | <b>pourcentage de la variance</b> | <b>pourcentage accumulatif de la variance</b> |
|-------------------|-------------------|-----------------------------------|---|
| comp 1            | 2.96792872        | 19.78619147                       | 19.78619                                      |
| comp 2            | 2.01977048        | 13.46513656                       | 33.25133                                      |
| comp 3            | 1.82632482        | 12.17549878                       | 45.42683                                      |
| comp 4            | 1.54980857        | 10.33205711                       | 55.75888                                      |
| comp 5            | 1.18259438        | 7.8839625                         | 63.64285                                      |
| comp 6            | 1.07705813        | 7.18038752                        | 70.82323                                      |
| comp 7            | 1.04801594        | 6.98677296                        | 77.81001                                      |
| comp 8            | 0.92796727        | 6.18644844                        | 83.99646                                      |
| comp 9            | 0.80151562        | 5.34343746                        | 89.33989                                      |
| comp 10           | 0.70299616        | 4.68664109                        | 94.02653                                      |
| comp 11           | 0.5890203         | 3.92680202                        | 97.95334                                      |
| comp 12           | 0.12934881        | 0.86232539                        | 98.81566                                      |
| comp 13           | 0.10351212        | 0.69008077                        | 99.50574                                      |
| comp 14           | 0.06078366        | 0.40522442                        | 99.91097                                      |
| comp 15           | 0.01335503        | 0.08903351                        | 100   |

Annexe 7.- Variables significatives plus corrélées pour les trois premiers composantes

| <b>Composante 1</b>                                | <b>corrélation</b> | <b>p.value</b> |
|--|--------------------|----------------|
| <i>L'hauteur minimale des organes reproductifs</i> | <b>0.8010283</b>   | 8.16E-37       |
| <i>Hauteur maximale</i>                            | <b>0.7913919</b>   | 2.22E-35       |
| <i>L'hauteur maximale des organes reproductifs</i> | <b>0.7840761</b>   | 2.43E-34       |
| <i>Hauteur mininale</i>                            | <b>0.7823988</b>   | 4.15E-34       |
| Masse.de.feuille                                   | 0.4100047          | 8.00E-08       |
| Taille de feuille                                  | 0.3723119          | 1.35E-06       |
| Vitesse terminale                                  | -0.263767          | 7.81E-04       |
| Surface foliaire                                   | -0.2927492         | 1.81E-04       |
| <b>Composante 2</b>                                | <b>corrélation</b> | <b>p.value</b> |
| <i>Profondeur maximale de graines enterrées</i>    | <b>0.7196022</b>   | 1.19E-26       |
| <i>Masse de feuille</i>                            | <b>0.5969152</b>   | 1.01E-16       |
| <i>Taille de feuille</i>                           | <b>0.5732073</b>   | 2.88E-15       |
| <i>Profondeur moyenne de graines enterrés</i>      | <b>0.518044</b>    | 2.68E-12       |
| Longévité maximale                                 | 0.4463558          | 3.70E-09       |
| Densité moyenne de la banque de graines            | 0.3603709          | 3.07E-06       |
| Vitesse terminale                                  | -0.1634879         | 3.95E-02       |
| L'hauteur maximale des organes reproductifs        | -0.2410617         | 2.21E-03       |
| Hauteur maximale                                   | -0.2808121         | 3.37E-04       |
| <b>Composante 3</b>                                | <b>corrélation</b> | <b>p.value</b> |
| <i>Profondeur moyenne de graines enterrées</i>     | <b>0.5809018</b>   | 1.00E-15       |
| <i>Profondeur maximale de graines enterrées</i>    | <b>0.5298563</b>   | 6.88E-13       |
| Longévité maximale                                 | 0.3988301          | 1.92E-07       |
| L'hauteur maximale des organes reproductifs        | 0.2693458          | 5.97E-04       |
| Hauteur maximale                                   | 0.2502072          | 1.47E-03       |
| Densité moyenne de la banque de graines            | 0.2079173          | 8.54E-03       |
| Masse de la feuille                                | -0.6259792         | 1.12E-18       |
| Taille de la feuille                               | -0.6492338         | 2.13E-20       |

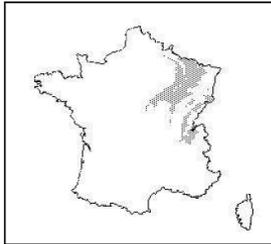
Annexe 8.- Fiche de l'habitat Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélèque uniflore

Forêts collinéennes calcicoles à acidiclives des sols bien drainés (clé 411)

# Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélèque uniflore

41-131 / a  
9130-5

## Répartition en France et Contexte



Habitat du quart NE de la France. Grande fréquence sur les plateaux calcaires du Jurassique (argiles de décarbonatation). Présent également sur sols issus de marne ou d'argile s'ils sont bien drainés (versants)

## Espèces diagnostiques

|                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| <i>Acer campestre</i>      | <i>Carpinus betulus</i>        |
| <i>Quercus petraea</i>     |                                |
| <i>Arum maculatum</i>      | <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> |
| <i>Crataegus laevigata</i> | <i>Ranunculus auricomus</i>    |
| <i>Galium odoratum</i>     | <i>Rosa arvensis</i>           |
| <i>Hedera helix</i>        | <i>Rubus fruticosus</i>        |
| <i>Lamium galeobdolon</i>  | <i>Scilla bifolia</i>          |
| <i>Ligustrum vulgare</i>   | <i>Viola reichenbachiana</i>   |
| <i>Lonicera xylosteum</i>  |                                |

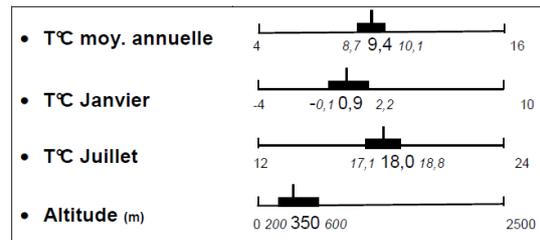
## Phytosociologie

Classe : *Quercu roboris-Fagetea sylvaticae*  
 Ordre : *Fagetalia sylvaticae*  
 Sous-ordre : *Carpino betuli-Fagenalia sylvaticae*  
 Alliance : *Carpino betuli-Fagion sylvaticae*  
 Sous-alliance : *Carpino-Fagenion*  
 Association : ***Galio odorati-Fagetum***

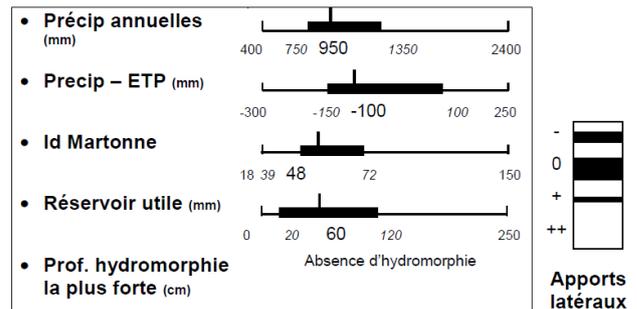
Type d'Habitat : Hêtraies neutrophiles à mélèque

Référence EUR 15 : 9130-5

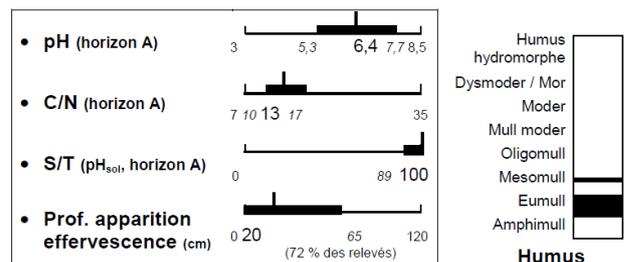
## Facteurs thermiques



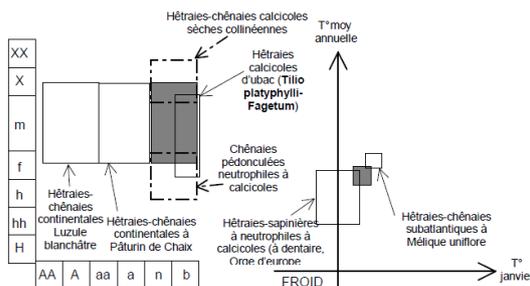
## Facteurs hydriques



## Facteurs trophiques



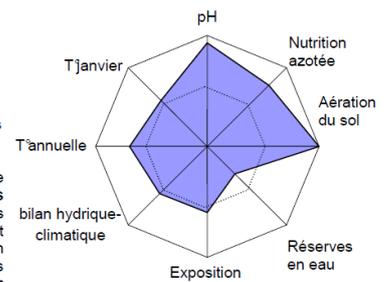
## Proximités écologique et climatique



## Ne pas confondre

- Les Hêtraies-chênaies continentales à Pâturin de Chaix acidiclives (sur placages limoneux...);  
 - Les Chênaies pédonculées neutrophiles à calcicoles hydromorphes;  
 - Les Hêtraies-chênaies subatlantiques à Mélèque uniflore (neutrophiles) ou celles à Laïche glauque (calcicoles) en climat subatlantique;  
 - Des formes de basse altitude à hêtre des Hêtraies-sapinières montagnardes neutro-philés à calcicoles, hêtraies calcicoles d'ubac notamment qui peuvent se rencontrer à l'étage collinéen en situation abyssale, mais aussi d'autres hêtraies (-sapinières) du *Fagion sylvaticae* (voir clé72)

## Bilan stationnel



## Composition floristique

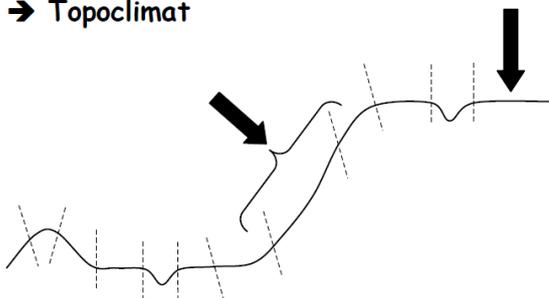
| <b><u>Neurocalcicoles</u></b>                  |  | f  | l <sub>r</sub> |                                |  | f  | l <sub>r</sub> |                                  |  | f  | l <sub>r</sub> |
|--|--|----|----------------|--------------------------------|--|----|----------------|----------------------------------|--|----|----------------|
| <i>Lonicera xylosteum</i>                      |  | 53 | 1,9            | <i>Tilia platyphyllos</i>      |  | 22 | 1,6            | <i>Lathyrus vernus</i>           |  | 20 | 1,3            |
| <i>Viburnum lantana</i>                        |  | 36 | 1,6            | <i>Carex digitata</i>          |  | 22 | 1,0            | <i>Daphne mezereum</i>           |  | 18 | 1,1            |
| <i>Mercurialis perennis</i>                    |  | 36 | 1,2            | <i>Daphne laureola</i>         |  | 21 | 1,0            | <i>Campanula trachelium</i>      |  | 14 | 0,5            |
| <i>Carex flacca</i>                            |  | 27 | 0,8            |                                |  |    |                | <i>Melica nutans</i>             |  | 12 | 0,9            |
| <b><u>Calciclinales</u></b>                    |  |    |                |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <i>Acer campestre</i>                          |  | 71 | 2,2            | <i>Brachypodium sylvaticum</i> |  | 44 | 1,1            | <i>Ribes alpinum</i>             |  | 21 | 1,3            |
| <i>Ligustrum vulgare</i>                       |  | 59 | 2,3            | <i>Evonymus europaeus</i>      |  | 30 | 1,2            | <i>Clematis vitalba</i>          |  | 11 | 0,2            |
| <i>Cornus sanguinea</i>                        |  | 45 | 1,2            |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <b><u>Neuroclinales</u></b>                    |  |    |                |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <b><i>Hedera helix</i></b>                     |  | 93 | 1,9            | <i>Carex sylvatica</i>         |  | 55 | 1,6            | <i>Fragaria vesca</i>            |  | 27 | 0,5            |
| <b><i>Carpinus betulus</i></b>                 |  | 86 | 2,6            | <i>Polygonatum multiflorum</i> |  | 39 | 1,5            | <i>Viburnum opulus</i>           |  | 21 | 0,8            |
| <i>Corylus avellana</i>                        |  | 65 | 1,0            | <i>Melica uniflora</i>         |  | 38 | 1,3            | <i>Dryopteris filix-mas</i>      |  | 20 |                |
| <i>Viola reichenbachiana</i>                   |  | 62 | 2,0            | <i>Vicia sepium</i>            |  | 36 | 1,7            | <i>Potentilla sterilis</i>       |  | 19 | 1,0            |
| <i>Crataegus laevigata</i>                     |  | 60 | 2,9            | <i>Acer pseudoplatanus</i>     |  | 34 | 0,7            | <i>Festuca heterophylla</i>      |  | 15 | 0,5            |
| <i>Rosa arvensis</i>                           |  | 58 | 2,7            | <i>Prunus avium</i>            |  | 33 | 1,4            | <i>Poa nemoralis</i>             |  | 15 | 0,1            |
| <i>Lamium galeobdolon</i>                      |  | 58 | 1,9            | <i>Euphorbia amygdaloides</i>  |  | 30 | 0,7            | <i>Fissidens taxifolius</i>      |  | 12 | 0,6            |
| <i>Galium odoratum</i>                         |  | 56 | 1,7            | <i>Eurhynchium striatum</i>    |  | 28 | 0,7            | <i>Neottia nidus-avis</i>        |  | 11 | 0,6            |
| <b><u>Très large amplitude</u></b>             |  |    |                |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <b><i>Fagus sylvatica</i></b>                  |  | 73 | 1,0            | <b><i>Quercus robur</i></b>    |  | 29 | 0,2            | <i>Thuidium tamariscinum</i>     |  | 16 | 0,2            |
| <b><i>Quercus petraea</i></b>                  |  | 64 | 1,9            | <i>Ilex aquifolium</i>         |  | 24 | 0,3            | <i>Abies alba</i>                |  | 14 |                |
| <b><i>Anemone nemorosa</i></b>                 |  | 49 | 1,2            | <i>Solidago virgaurea</i>      |  | 23 | 0,4            | <i>Rhytidadelphus triquetrus</i> |  | 14 | 0,2            |
| <i>Crataegus monogyna</i>                      |  | 47 | 0,9            | <i>Convallaria majalis</i>     |  | 21 | 0,6            |                                  |  |    |                |
| <b><u>Neutronitriclinales</u></b>              |  |    |                |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <i>Arum maculatum</i>                          |  | 51 | 2,1            | <i>Ajuga reptans</i>           |  | 18 | 0,4            | <i>Cardamine pratensis</i>       |  | 14 | 0,6            |
| <i>Paris quadrifolia</i>                       |  | 26 | 1,1            | <i>Geum urbanum</i>            |  | 16 | 0,4            | <i>Euphorbia dulcis</i>          |  | 12 | 0,3            |
| <i>Phyteuma spicatum</i>                       |  | 23 | 0,9            | <i>Geranium robertianum</i>    |  | 15 | 0,0            | <i>Heracleum sphondylium</i>     |  | 11 | 0,6            |
| <i>Primula elatior</i>                         |  | 19 | 0,8            |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <b><u>Neutronitrophiles</u></b>                |  |    |                |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <i>Ornithogalum pyrenaicum</i>                 |  | 23 | 2,5            | <i>Glechoma hederacea</i>      |  | 19 | 0,8            | <i>Plagiomnium undulatum</i>     |  | 13 | 0,5            |
| <i>Ranunculus auricomus</i>                    |  | 21 | 1,9            | <i>Scilla bifolia</i>          |  | 14 | 2,0            |                                  |  |    |                |
| <b><u>Acidiclinales de null mésotrophe</u></b> |  |    |                |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <i>Milium effusum</i>                          |  | 31 | 1,0            | <i>Luzula pilosa</i>           |  | 16 | 0,5            |                                  |  |    |                |
| <i>Deschampsia cespitosa</i>                   |  | 20 | 0,5            | <i>Circaea lutetiana</i>       |  | 11 | 0,0            |                                  |  |    |                |
| <b><u>Autres espèces</u></b>                   |  |    |                |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |
| <i>Rubus fruticosus</i>                        |  | 48 | 2,1            | <i>Sorbus torminalis</i>       |  | 21 | 0,8            | <i>Ulmus glabra</i>              |  | 14 | 1,0            |
| <i>Fraxinus excelsior</i>                      |  | 48 | 1,0            | <i>Cornus mas</i>              |  | 19 | 0,9            | <i>Polygonatum odoratum</i>      |  | 10 | 0,5            |
| <i>Sorbus aria</i>                             |  | 22 | 0,3            |                                |  |    |                |                                  |  |    |                |

**Diversité spécifique :** 29 espèces vasculaires par relevé (de 16 à 43)  
31 espèces au total notées par relevé (de 18 à 43)

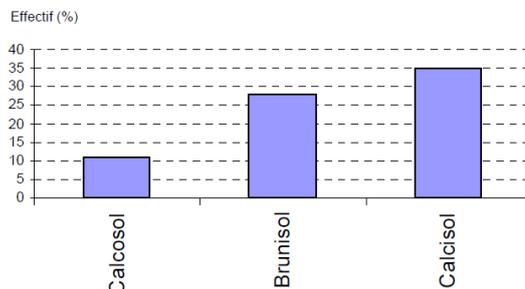
Espèces patrimoniales \*  
Espèces sociales  
f = fréquence dans l'unité  
l<sub>r</sub> = indice de fidélité (max = 10)

## Caractéristiques écologiques

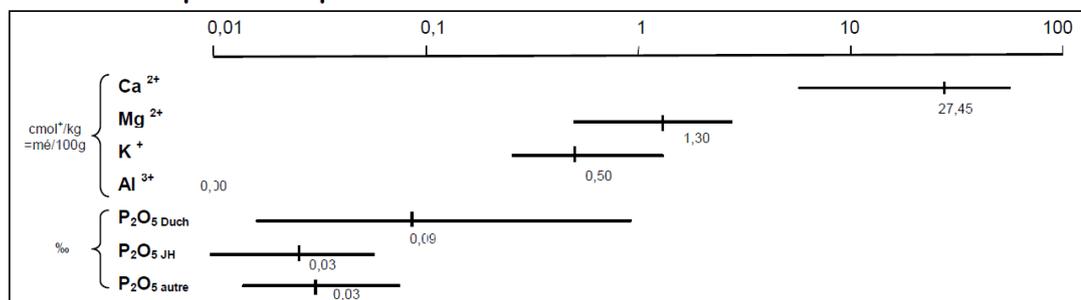
### → Topoclimat



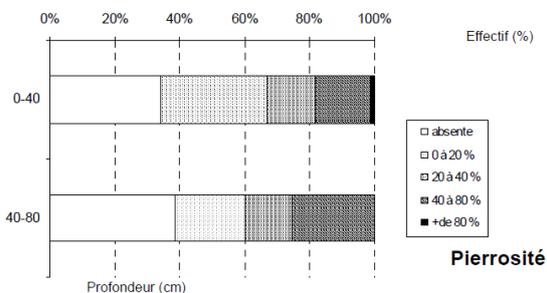
### → Sol



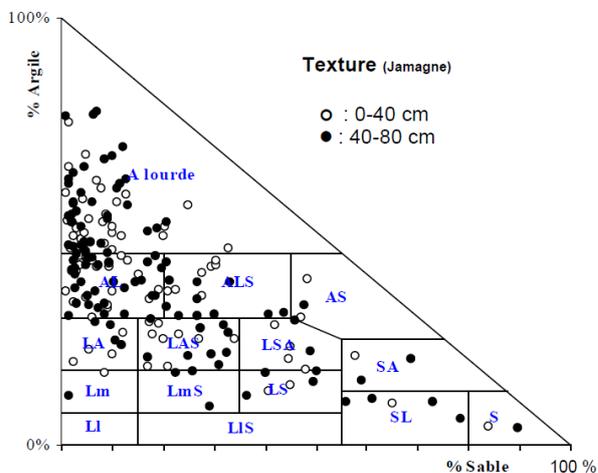
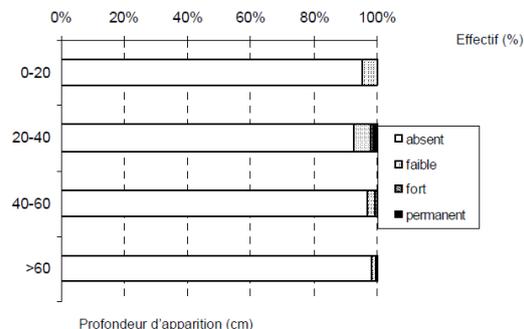
### → Caractéristiques chimiques du sol



### → Caractéristiques physiques du sol



### → Hydromorphie / engorgement



### Contraintes et facteurs favorables :

- Les réserves hydriques sont le plus souvent modestes tout en restant suffisantes pour assurer une bonne productivité du Hêtre dans la région (précipitations : 850 mm et bon bilan climatique). Pour les autres essences, la profondeur du sol sera décisive. Elle sera jugée limitante si elle est inférieure à 50-60 cm, ou même davantage s'il y a abondance d'éléments grossiers, soit un réservoir en eau inférieur à 100mm.
- Milieux riches chimiquement, à forte activité biologique, mais avec présence de calcaire fin à moins de 20 cm dans plus de la moitié des cas.
- Sols sensibles à l'orniérage, mais à bonne résilience s'ils sont argileux en surface.

## Intérêt patrimonial de l'Habitat

---

- La hêtraie-chênaie à Aspérule odorante et Mélisque uniflore est un type d'habitat très répandu dans le quart Nord-Est de la France. Il est retenu dans la Directive Habitat en tant qu'habitat d'intérêt communautaire non prioritaire.
- Il héberge le plus souvent des espèces végétales assez fréquentes en milieu forestier. Quelques espèces peuvent se trouver localement en limite de leur aire, ce qui confère un intérêt certain aux individus d'habitats concernés (ex : *Carex pilosa*, *Cardamine heptaphylla*, *Actaea spicata*...).

## Éléments bibliographiques

---

### Rübel E., 1930 \*

Bailly G., 1995  
 Beaufils Th., 1984  
 Beaufils Th., Bailly G., 1998  
 Beaufils Th., Rameau J.-C., 1983  
 Boissier J.-M., 1996  
 Chouffot E., 1985  
 Duburget J., Gillet F., Bidault M., 1986  
 Gillet F., 1986  
 Herbert I., Rebeiro F., 1985  
 Herbert I., Rebeiro F., 1986  
 Jacamon M., Timbal J., 1974

Joud D., 1995  
 Oberti D., 1993a  
 Oberti D., 1993c  
 Pache G., 1998  
 Peiffer D., 1996  
 Rameau J.-C., 1974  
 Rameau J.-C., 1978  
 Rameau J.-C., 1988b  
 Rameau J.-C., 1992  
 Rameau J.-C., 1994  
 Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G., , 1989

Rameau J.-C., Royer J.-M., Bugnon F., 1971  
 Schnider P., Küper M., Tschauder B., Käser B., 1996  
 Simmonot J.-L., 1991  
 Souchier B., 1971  
 Thévenin S., 1992  
 Timbal J., 1979  
 Timbal J., 1980  
 Vacher V., 1996

Bases de données utilisées :  
 EcoPlant : 274 relevés

## Annexe 9.- Traits qualitatifs avec leurs attributs

| Traits (15)                                     |   | Attributs(55)                        | Abréviation |
|---|---|--------------------------------------|-------------|
| <b>Inflorescence</b>                            | 1 | Sans Inflorescence                   | Inf1        |
|   | 2 | Inflorescence pédicellée             | Inf2        |
|   | 3 | Inflorescence sessile                | Inf3        |
|   | 4 | Inflorescences composées             | Inf4        |
| <b>Sexualité</b>                                | 1 | hermaphrodite                        | Sex1        |
|   | 2 | monoïques, unisexuées                | Sex2        |
|   | 3 | polygame                             | Sex3        |
|   | 4 | dioïque                              | Sex4        |
| <b>Pollinisation</b>                            | 1 | Entomogame                           | Poll1       |
|   | 2 | Diplogame                            | Poll2       |
|   | 3 | Autogame                             | Poll3       |
|   | 4 | Anémogame                            | Poll4       |
| <b>Fruit</b>                                    | 1 | Fruit charnu                         | Fruit1      |
|   | 2 | Fruit sec indéhiscent                | Fruit2      |
|   | 3 | Fruit sec déhiscent                  | Fruit3      |
| <b>Couleur de fleur</b>                         | 1 | Claire                               | CF1         |
|   | 2 | Foncée                               | CF2         |
|   | 3 | Verte                                | CF3         |
| <b>Floraison</b>                                | 1 | 2 ou moins mois                      | F1          |
|   | 2 | 3 moi                                | F2          |
|   | 3 | plus de 4 mois                       | F3          |
| <b>Début floraison</b>                          | 1 | Printemps                            | DF1         |
|   | 2 | Eté                                  | DF2         |
|   | 3 | Automne                              | DF3         |
|   | 4 | Hiver                                | DF4         |
| <b>Fin floraison</b>                            | 1 | Printemps                            | FF1         |
|   | 2 | Eté                                  | FF2         |
|   | 3 | Automne                              | FF3         |
| <b>Mode de dissémination</b>                    | 1 | Zoochore                             | SD1         |
|   | 2 | Autochore                            | SD2         |
|   | 3 | Barochore                            | SD3         |
|   | 4 | Diplochore                           | SD4         |
|   | 5 | Anémochore                           | SD5         |
|   | 6 | Myrméochore                          | SD6         |
| <b>Durée de vie de plantes</b>                  | 1 | Courte vie et/ou Moyenne vie         | LS1         |
|   | 2 | Seulement Moyenne vie                | LS2         |
|   | 3 | Pérennes                             | LS3         |
|   | 4 | Pas information                      | LS4         |
| <b>Âge de floraison</b>                         | 1 | Que le premier an va fleurir         | AG1         |
|   | 2 | Entre les premiers 5 ans             | AG2         |
|   | 3 | Plus de 5 ans                        | AG3         |
|   | 4 | Pas information                      | AG4         |
| <b>Hauteur maximale</b>                         | 1 | Plus de 2 mètres                     | Hmax1       |
|   | 2 | Entre 1m, et 2 m,                    | Hmax2       |
|   | 3 | Entre 0,5m et 1 m                    | Hmax3       |
|   | 4 | Moins de 0,5m                        | Hmax4       |
| <b>Vitesse terminale</b>                        | 1 | Plus de 3,5 m/s                      | TV1         |
|   | 2 | Entre 1,5 et 3,5 m/s                 | TV2         |
|   | 3 | Moins de 1,5 m/s                     | TV3         |
|   | 4 | Pas information                      | TV4         |
| <b>Taille de feuille</b>                        | 1 | Plus de 20 000 mm <sup>2</sup>       | LeafS1      |
|   | 2 | Entre 5000 et 20 000 mm <sup>2</sup> | LeafS2      |
|   | 3 | Entre 1000 et 5000 mm <sup>2</sup>   | LeafS3      |
|   | 4 | Moins de 1000 mm <sup>2</sup>        | LeafS4      |
|   | 5 | Pas information                      | LeafS5      |
| <b>Profondeur maximale de graines enterrées</b> | 1 | 0 – 20 cm                            | PMGE 1      |
|   | 2 | 20 – 40 cm                           | PMGE 2      |
|   | 3 | Plus de 40 cm                        | PMGE 3      |
|   | 4 | Pas information                      | PMGE 4      |

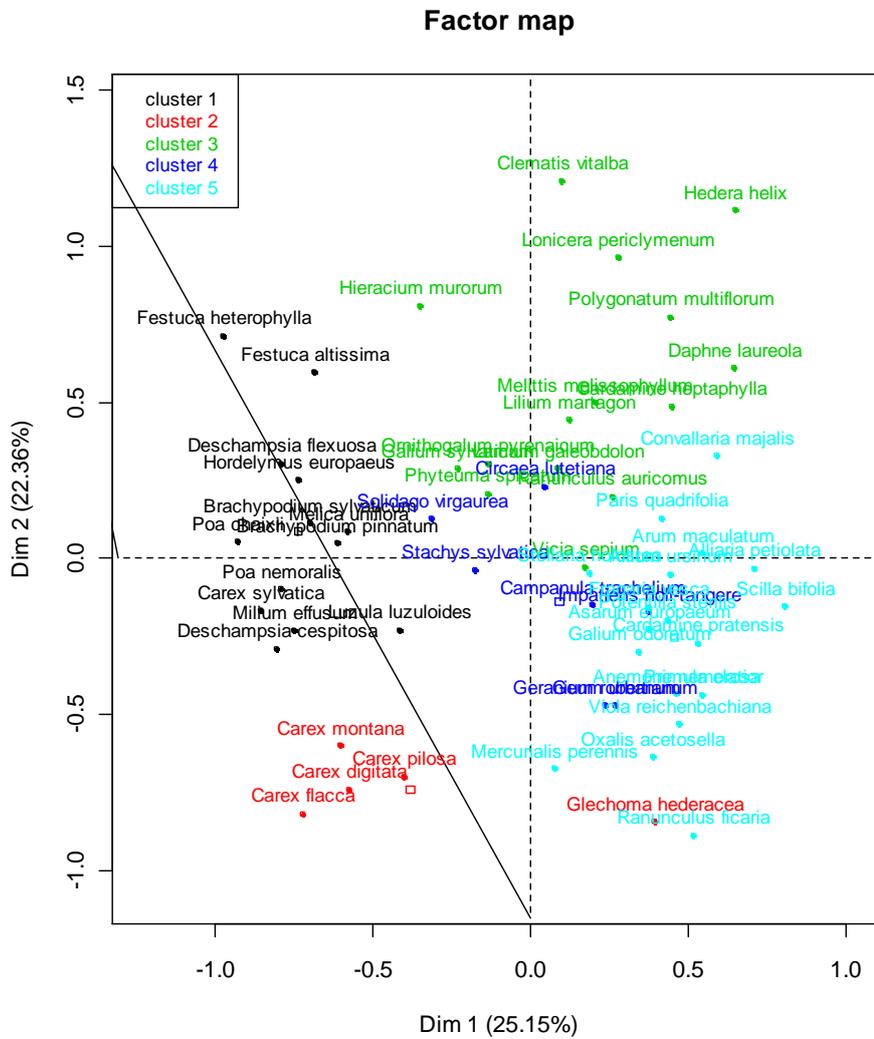
Annexe 10.- Variables significatives pour la distribution des espèces pour l' Hêtraies-chênaies à  
Aspérule odorante et Mélisque uniflore

|  | <b>\$test.chi2</b> | <b>p.value</b> | <b>df</b> |
|--|--------------------|----------------|-----------|
| pollinisation                          |                    | 4.93E-10       | 8         |
| couleur de la fleur                    |                    | 2.89E-09       | 8         |
| fin floraison                          |                    | 1.02E-08       | 8         |
| inflorescence                          |                    | 5.63E-07       | 12        |
| hauteur max                            |                    | 1.48E-06       | 12        |
| sexualité                              |                    | 2.84E-06       | 12        |
| floraison                              |                    | 3.11E-05       | 8         |
| fruit                                  |                    | 3.42E-03       | 8         |
| début floraison                        |                    | 9.99E-03       | 12        |
| profendeur maximal de graines enterrés |                    | 1.09E-02       | 12        |
| durée de vie des plantes               |                    | 1.25E-02       | 12        |
| taille de feuille                      |                    | 1.49E-02       | 16        |
| vitesse terminale                      |                    | 1.71E-02       | 12        |

Annexe 11.- Modalités significatives et importantes pour le groupement des espèces

| <b>CLUSTER 1</b>             | <b>Cla/Mod</b>   | <b>Mod/Cla</b> | <b>Global</b> | <b>p.value</b> | <b>v.test</b> |
|------------------------------|------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| pollinisation=Poll4          | 72.222222        | 100            | 31.03448      | 5.43E-09       | 5.833417      |
| couleur.fleur=CF3            | 71.428571        | 76.923077      | 24.13793      | 8.62E-06       | 4.449097      |
| inflorescence=Inf4           | 69.230769        | 69.230769      | 22.41379      | 7.01E-05       | 3.975808      |
| fruit=Fruit2                 | 40               | 92.307692      | 51.72414      | 1.61E-03       | 3.153937      |
| Vitesse terminale=TV2        | 37.931034        | 84.615385      | 50            | 9.90E-03       | 2.57932       |
| Début_floraison=DF2          | 47.058824        | 61.538462      | 29.31034      | 1.32E-02       | 2.477119      |
| Taille de feuille=LeafS5     | 66.666667        | 30.769231      | 10.34483      | 3.79E-02       | 2.075682      |
| Hmax=Hmax3                   | 35.714286        | 76.923077      | 48.27586      | 4.03E-02       | 2.05075       |
| <b>CLUSTER 2</b>             | <b>Cla/Mod M</b> | <b>od/Cla</b>  | <b>Global</b> | <b>p.value</b> | <b>v.test</b> |
| couleur.fleur=CF2            | 50               | 100            | 17.24138      | 0.00010999     | 3.86742       |
| sexualité=Sex2               | 80               | 80             | 8.62069       | 0.0001161      | 3.854211      |
| inflorescence=Inf3           | 33.33333         | 80             | 20.68966      | 0.01028433     | 2.56612       |
| Taille de feuille=LeafS4     | 25               | 80             | 27.58621      | 0.03527104     | 2.105233      |
| <b>CLUSTER 3</b>             | <b>Cla/Mod</b>   | <b>Mod/Cla</b> | <b>Global</b> | <b>p.value</b> | <b>v.test</b> |
| pollinisation=Poll1          | 48.275862        | 93.333333      | 50            | 0.00015641     | 3.780669      |
| couleur.fleur=CF1            | 41.176471        | 93.333333      | 58.62069      | 0.00237044     | 3.039408      |
| Age de floraison=AG4         | 45.454545        | 66.666667      | 37.931034     | 0.01951263     | 2.33559       |
| Fin_floraison=FF2            | 38.235294        | 86.666667      | 58.62069      | 0.01958731     | 2.334161      |
| PMGE=PMGE4                   | 80               | 26.666667      | 8.62069       | 0.02692992     | 2.212532      |
| Durée de vie de plantes.=LS4 | 80               | 26.666667      | 8.62069       | 0.02692992     | 2.212532      |
| Mode de dissémination =SD5   | 80               | 26.666667      | 8.62069       | 0.02692992     | 2.212532      |
| Hmax=Hmax1                   | 100              | 20             | 5.172414      | 0.02949183     | 2.176849      |
| floraison=F2                 | 38.709677        | 80             | 53.448276     | 0.03311525     | 2.130683      |
| inflorescence=Inf2           | 40.740741        | 73.333333      | 46.551724     | 0.03349917     | 2.126049      |
| <b>CLUSTER 4</b>             | <b>Cla/Mod</b>   | <b>Mod/Cla</b> | <b>Global</b> | <b>p.value</b> | <b>v.test</b> |
| Fin_floraison=FF3            | 63.63636         | 100            | 18.96552      | 2.20E-06       | 4.734582      |
| floraison=F3                 | 45.45455         | 71.42857       | 18.96552      | 3.47E-03       | 2.922831      |
| Taille de feuille=LeafS3     | 23.33333         | 100            | 51.72414      | 1.35E-02       | 2.469199      |
| Durée de vie de plantes=LS1  | 40               | 57.14286       | 17.24138      | 2.61E-02       | 2.224442      |
| Début_floraison=DF2          | 29.41176         | 71.42857       | 29.31034      | 3.73E-02       | 2.082943      |
| pollinisation=Poll2          | 36.36364         | 57.14286       | 18.96552      | 3.91E-02       | 2.063537      |
| <b>CLUSTER 5</b>             | <b>Cla/Mod</b>   | <b>Mod/Cla</b> | <b>Global</b> | <b>p.value</b> | <b>v.test</b> |
| Hmax=Hmax4                   | 72.727273        | 88.888889      | 37.93103      | 2.13E-07       | 5.187465      |
| Fin_floraison=FF1            | 76.923077        | 55.555556      | 22.41379      | 2.90E-04       | 3.623879      |
| floraison=F1                 | 68.75            | 61.111111      | 27.58621      | 5.68E-04       | 3.446269      |
| inflorescence=Inf1           | 100              | 33.333333      | 10.34483      | 9.17E-04       | 3.314735      |
| Début_floraison=DF1          | 44.736842        | 94.444444      | 65.51724      | 2.71E-03       | 2.999106      |
| PMGE=PMGE2                   | 48.275862        | 77.777778      | 50            | 9.58E-03       | 2.590755      |
| Vitesse terminale=TV1        | 56.25            | 50             | 27.58621      | 2.74E-02       | 2.205172      |

Annexe 12.- Analyse des Correspondances Multiples sur les données qualitatives pour l'Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélisque uniflore : Représentation des individus



Annexe 13.- Liste d'abondance des espèces et leur groupe fonctionnels qui appartient pour l'habitat  
Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélique uniflore

| Nom                            | GF | Abondance (%) | Nom                            | GF | Abondance (%) |
|--------------------------------|----|---------------|--------------------------------|----|---------------|
| <i>Hedera helix</i>            | 3  | 24.47586      | <i>Asarum europaeum</i>        | 5  | 0.36133       |
| <i>Anemone nemorosa</i>        | 5  | 5.597044      | <i>Poa nemoralis</i>           | 1  | 0.3610837     |
| <i>Lamium galeobdolon</i>      | 3  | 4.229557      | <i>Lonicera periclymenum</i>   | 3  | 0.3603448     |
| <i>Galium odoratum</i>         | 5  | 4.074384      | <i>Cardamine pratensis</i>     | 5  | 0.3431034     |
| <i>Mercurialis perennis</i>    | 5  | 3.017241      | <i>Potentilla sterilis</i>     | 5  | 0.3300493     |
| <i>Melica uniflora</i>         | 1  | 2.618227      | <i>Ranunculus auricomus</i>    | 3  | 0.3256158     |
| <i>Carex sylvatica</i>         | 1  | 2.049507      | <i>Primula elatior</i>         | 5  | 0.3130542     |
| <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> | 3  | 1.480542      | <i>Solidago virgaurea</i>      | 4  | 0.2866995     |
| <i>Carex montana</i>           | 2  | 1.251724      | <i>Deschampsia cespitosa</i>   | 1  | 0.2729064     |
| <i>Brachypodium sylvaticum</i> | 1  | 1.196305      | <i>Galium sylvaticum</i>       | 3  | 0.2593596     |
| <i>Arum maculatum</i>          | 5  | 1.048522      | <i>Daphne laureola</i>         | 3  | 0.2381773     |
| <i>Festuca heterophylla</i>    | 1  | 1.012069      | <i>Deschampsia flexuosa</i>    | 1  | 0.232266      |
| <i>Viola reichenbachiana</i>   | 5  | 0.995813      | <i>Cardamine heptaphylla</i>   | 3  | 0.232266      |
| <i>Carex flacca</i>            | 2  | 0.973399      | <i>Melittis melissophyllum</i> | 3  | 0.2073892     |
| <i>Milium effusum</i>          | 1  | 0.917241      | <i>Geranium robertianum</i>    | 4  | 0.203202      |
| <i>Allium ursinum</i>          | 5  | 0.87266       | <i>Clematis vitalba</i>        | 3  | 0.2012315     |
| <i>Vicia sepium</i>            | 3  | 0.786946      | <i>Hordelymus europaeus</i>    | 1  | 0.194335      |
| <i>Glechoma hederacea</i>      | 2  | 0.776847      | <i>Phyteuma spicatum</i>       | 3  | 0.1864532     |
| <i>Convallaria majalis</i>     | 5  | 0.718966      | <i>Poa chaixii</i>             | 1  | 0.167734      |
| <i>Carex digitata</i>          | 2  | 0.674384      | <i>Luzula luzuloides</i>       | 1  | 0.1672414     |
| <i>Scilla bifolia</i>          | 5  | 0.655911      | <i>Brachypodium pinnatum</i>   | 1  | 0.1573892     |
| <i>Festuca altissima</i>       | 1  | 0.6367        | <i>Paris quadrifolia</i>       | 5  | 0.1554187     |
| <i>Carex pilosa</i>            | 2  | 0.635222      | <i>Impatiens noli-tangere</i>  | 4  | 0.1539409     |
| <i>Polygonatum multiflorum</i> | 3  | 0.5867        | <i>Hieracium murorum</i>       | 3  | 0.15          |
| <i>Oxalis acetosella</i>       | 5  | 0.571921      | <i>Stachys sylvatica</i>       | 4  | 0.1389163     |
| <i>Fragaria vesca</i>          | 5  | 0.542857      | <i>Lilium martagon</i>         | 3  | 0.1300493     |
| <i>Circaea lutetiana</i>       | 4  | 0.49803       | <i>Campanula trachelium</i>    | 4  | 0.1258621     |
| <i>Stellaria holostea</i>      | 5  | 0.484975      | <i>Alliaria petiolata</i>      | 5  | 0.1204433     |
| <i>Ranunculus ficaria</i>      | 5  | 0.414286      | <i>Geum urbanum</i>            | 4  | 0.1115764     |

Annexe 14. Liste d'espèces protégées à l'échelle départementale et régionale en France de l'habitat  
Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélique uniflore

| Nom                    | Statu   | Département   | Région  |
|------------------------|---------|---|---|
| Asarum europaeum       | PROTEGE | Mame  | Midi-Pyrénées, Base Normandie, Ile de France, Centre                    |
| Cardamine heptaphylla  | PROTEGE | Dordogne  | Limousin, Poitou-Charantes, Picardie, Centre                            |
| Carex digitata         | PROTEGE | Dordogne, Gironde                                     | Haute-Normandie, Centre   |
| Carex montana          | PROTEGE |   | Ile-de-France   |
| Carex pilosa           | PROTEGE | Limousin  | Lorraine  |
| Circaea lutetiana      | PROTEGE |   | Provence-Alpes-Côte-D'azur  |
| Convallaria majalis    | PROTEGE | Gironde, Lot-et-Garonne                               |   |
| Daphne laureola        | PROTEGE |   | Limousin  |
| Impatiens noli-tangere | PROTEGE |   | Bourgogne, Ile-de-France, Haute Normandie, Basse Normandie              |
| Lilium martagon        | PROTEGE | Dordogne  | Auvergne, Limousin, Poitou-Charantes, Centre, Champagne Ardennes, Corse |
| Omithogalum pyrenaicum | PROTEGE | Jura, Haute Corse, Loiret, Alpes de Haute de Provence | Alsace, Nord-Pas-Calais   |
| Paris quadrifolia      | PROTEGE | Dordogne  | Limousin, Poitou-Charantes, Pays de la Loire, Centre                    |
| Poa chaixii            | PROTEGE |   | Nord-Pas de calais, Pays de la Loire                                    |
| Ranunculus auricomus   | PROTEGE |   | Aquitaine   |
| Scilla bifolia         | PROTEGE |   | Haute Normandie, Aquitaine, Nord Pas calais, Centre                     |

Annexe 15.- Tableau des espèces avec leur comportement à la lumière et leur respectif groupe fonctionnel pour l'habitat Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélisque uniflore

| <b>Nom</b>                     | <b>Réponse à la Lumière</b> | <b>Groupe Fonctionnel</b> |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Hedera helix</i>            | Ombre ou demi-ombre         | GF3                       |
| <i>Anemone nemorosa</i>        | Ombre ou demi-ombre         | GF5                       |
| <i>Lamium galeobdolon</i>      | Ombre                       | GF3                       |
| <i>Galium odoratum</i>         | Ombre                       | GF5                       |
| <i>Mercurialis perennis</i>    | Ombre ou demi-ombre         | GF5                       |
| <i>Melica uniflora</i>         | Ombre                       | GF1                       |
| <i>Carex sylvatica</i>         | Ombre                       | GF1                       |
| <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> | Ombre ou demi-ombre         | GF3                       |
| <i>Carex montana</i>           | Ombre ou demi-ombre         | GF2                       |
| <i>Brachypodium sylvaticum</i> | Ombre ou demi-ombre         | GF1                       |
| <i>Arum maculatum</i>          | Ombre                       | GF5                       |
| <i>Festuca heterophylla</i>    | Demi-ombre                  | GF1                       |
| <i>Viola reichenbachiana</i>   | Ombre ou demi-ombre         | GF5                       |
| <i>Carex flacca</i>            | héliophile ou Demi-ombre    | GF2                       |
| <i>Milium effusum</i>          | Ombre ou demi-ombre         | GF1                       |
| <i>Allium ursinum</i>          | Ombre                       | GF5                       |
| <i>Vicia sepium</i>            | héliophile ou Demi-ombre    | GF3                       |
| <i>Glechoma hederacea</i>      | héliophile ou Demi-ombre    | GF2                       |
| <i>Convallaria majalis</i>     | Demi-ombre                  | GF5                       |
| <i>Carex digitata</i>          | Ombre                       | GF2                       |
| <i>Scilla bifolia</i>          | Demi-ombre                  | GF5                       |
| <i>Festuca altissima</i>       | Ombre                       | GF1                       |
| <i>Carex pilosa</i>            | Ombre ou demi-ombre         | GF2                       |
| <i>Polygonatum multiflorum</i> | Ombre                       | GF4                       |
| <i>Oxalis acetosella</i>       | Ombre                       | GF5                       |
| <i>Fragaria vesca</i>          | héliophile ou Demi-ombre    | GF5                       |
| <i>Circaea lutetiana</i>       | Ombre ou demi-ombre         | GF4                       |
| <i>Stellaria holostea</i>      | Demi-ombre                  | GF5                       |
| <i>Ranunculus ficaria</i>      | Ombre ou demi-ombre         | GF5                       |
| <i>Asarum europaeum</i>        | Ombre ou demi-ombre         | GF5                       |
| <i>Poa nemoralis</i>           | Demi-ombre                  | GF1                       |
| <i>Lonicera periclymenum</i>   | héliophile ou Demi-ombre    | GF3                       |
| <i>Cardamine pratensis</i>     | héliophile ou Demi-ombre    | GF5                       |
| <i>Potentilla sterilis</i>     | Demi-ombre                  | GF5                       |
| <i>Ranunculus auricomus</i>    | héliophile ou Demi-ombre    | GF3                       |
| <i>Primula elatior</i>         | héliophile ou Ombre         | GF5                       |
| <i>Solidago virgaurea</i>      | Demi-ombre                  | GF4                       |
| <i>Deschampsia cespitosa</i>   | héliophile ou Demi-ombre    | GF1                       |
| <i>Galium sylvaticum</i>       | Demi-ombre                  | GF3                       |
| <i>Daphne laureola</i>         | Ombre ou demi-ombre         | GF3                       |
| <i>Deschampsia flexuosa</i>    | héliophile ou Demi-ombre    | GF1                       |
| <i>Cardamine heptaphylla</i>   | Ombre                       | GF3                       |
| <i>Melittis melissophyllum</i> | Demi-ombre                  | GF3                       |
| <i>Geranium robertianum</i>    | Ombre ou demi-ombre         | GF4                       |
| <i>Clematis vitalba</i>        | Héliophile                  | GF3                       |
| <i>Hordelymus europaeus</i>    | Ombre                       | GF1                       |
| <i>Phyteuma spicatum</i>       | Ombre ou demi-ombre         | GF3                       |
| <i>Poa chaixii</i>             | Demi-ombre                  | GF1                       |
| <i>Luzula luzuloides</i>       | Ombre ou demi-ombre         | GF1                       |
| <i>Brachypodium pinnatum</i>   | héliophile ou Demi-ombre    | GF1                       |
| <i>Paris quadrifolia</i>       | Ombre                       | GF5                       |
| <i>Impatiens noli-tangere</i>  | Ombre                       | GF4                       |
| <i>Hieracium murorum</i>       | Ombre ou demi-ombre         | GF3                       |
| <i>Stachys sylvatica</i>       | Ombre ou demi-ombre         | GF4                       |
| <i>Lilium martagon</i>         | Demi-ombre                  | GF3                       |
| <i>Campanula trachelium</i>    | Ombre ou demi-ombre         | GF4                       |
| <i>Alliaria petiolata</i>      | Demi-ombre                  | GF5                       |
| <i>Geum urbanum</i>            | héliophile ou Demi-ombre    | GF4                       |

Annexe 16.- Fiches des habitats de l'étude

## Hêtraies-chênaies subatlantiques à Chèvrefeuille

### Espèces redondantes par groupe fonctionnel

|                               | GROUPES FONCTIONNELS           |                             |                                  |                                  |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|                               | 1                              | 2                           | 3                                | 4                                | 5                              |
| ESPECES DE LA STRATE HERBACEE | <i>Melica uniflora</i>         | <i>Holcus mollis</i>        | <i>Anemone nemorosa</i>          | <i>Lamium galeobdolon</i>        | <i>Hedera helix</i>            |
|                               | <i>Luzula sylvatica</i>        | <i>Glechoma hederacea</i>   | <i>Mercurialis perennis</i>      | <i>Clematis vitalba</i>          | <i>Arum maculatum</i>          |
|                               | <i>Milium effusum</i>          | <i>Circaea lutetiana</i>    | <i>Galium odoratum</i>           | <i>Listera ovata</i>             | <i>Ruscus aculeatus</i>        |
|                               | <i>Carex flacca</i>            | <i>Geranium robertianum</i> | <i>Convallaria majalis</i>       | <i>Sanicula europaea</i>         | <i>Tamus communis</i>          |
|                               | <i>Brachypodium sylvaticum</i> | <i>Galium aparine</i>       | <i>Oxalis acetosella</i>         | <i>Vincetoxicum hirsutinaria</i> | <i>Daphne laureola</i>         |
|                               | <i>Carex sylvatica</i>         | <i>Teucrium scorodonia</i>  | <i>Viola reichenbachiana</i>     | <i>Orchis purpurea</i>           | <i>Polygonatum multiflorum</i> |
|                               | <i>Deschampsia cespitosa</i>   | <i>Galium mollugo</i>       | <i>Hyacinthoides non-scripta</i> | <i>Cephalanthera damasonium</i>  | <i>Rubia peregrina</i>         |
|                               | <i>Euphorbia amygdaloides</i>  | <i>Stachys sylvatica</i>    | <i>Primula elatior</i>           |                                  |                                |
|                               | <i>Deschampsia flexuosa</i>    | <i>Melampyrum pratense</i>  | <i>Primula vulgaris</i>          |                                  |                                |
|                               | <i>Carex umbrosa</i>           | <i>Campanula trachelium</i> | <i>Fragaria vesca</i>            |                                  |                                |
|                               | <i>Festuca heterophylla</i>    | <i>Geum urbanum</i>         | <i>Luzula pilosa</i>             |                                  |                                |
|                               | <i>Poa nemoralis</i>           |                             | <i>Potentilla sterilis</i>       |                                  |                                |
|                               | <i>Carex remota</i>            |                             | <i>Ajuga reptans</i>             |                                  |                                |
|                               | <i>Carex pilulifera</i>        |                             | <i>Stellaria holostea</i>        |                                  |                                |
| <i>Rumex obtusifolius</i>     |                                | <i>Vicia sepium</i>         |                                  |                                  |                                |
| <i>Carex digitata</i>         |                                |                             |                                  |                                  |                                |
| <i>Juncus effusus</i>         |                                |                             |                                  |                                  |                                |
| Abondance (%)                 | 6.38                           | 1.43                        | 14.92                            | 3.1                              | 19.78                          |
| Abondance total (%)           | 12.85                          | 3.48                        | 19.53                            | 4.72                             | 22.82                          |

 Espèces les plus abondantes

### Caractéristiques principales déterminantes pour les groupes fonctionnels

|                      | CARACTERISTIQUES PRINCIPALES |  |
|----------------------|------------------------------|--|
|                      | 1                            | 2  |
| GROUPES FONCTIONNELS | 1                            | Plantes pérennes<br>Plantes moïques et unisexuées<br>Couleur de fleur verte<br>Inflorescence sessile ( type épi) et composée ( grappe de cymes, cyme de capitules)<br>Fruit sec indéhiscent ( ne s'ouvrant pas à maturité)   |
|                      | 2                            | Plante avec une durée de vie courte/moyenne (1 à 5 ans)<br>Floraison 4 mois<br>Début de floraison en été<br>Fin de floraison en automne<br>Pollinisation diplogame ( entomogame et anemogame)<br>L'âge de floraison première année   |
|                      | 3                            | Fleurs solitaires<br>Début de floraison en printemps<br>Fin de floraison en printemps<br>Fruit sec déhiscent ( s'ouvrant à maturité)<br>L'âge de floraison pendant les premières 5 années<br>Dissémination par les fourmis<br>Plantes petites de moins de 0.5 m<br>Vitesse terminale de graines de 3.5 m/s<br>Profondeur maximale de graines enterrées de 20 à 40 cm |
|                      | 4                            | Pollinisation entomogame<br>Dissémination par le vent<br>Fin de floraison en été<br>L'âge de floraison de plus de 5 années   |
|                      | 5                            | Pollinisation entomogame<br>Début de floraison en automne<br>Type de fruit baie<br>Dissémination par les animaux   |

## Critères pour le choix d'espèces typiques

|                                    |                             | GF       | Especie la plus abondante de chaque groupe | Statut de protection | Indicatrice de tolerance à l'ombre |
|------------------------------------|-----------------------------|----------|--|----------------------|------------------------------------|
| <b>Espèces les plus abondantes</b> | <i>Melica uniflora</i>      | <b>1</b> | ✓  |                      | ✓                                  |
|                                    | <i>Milium effusum</i>       | <b>1</b> |  |                      |                                    |
|                                    | <i>Luzula sylvatica</i>     | <b>1</b> |  | ✓                    | ✓                                  |
|                                    | <i>Holcus mollis</i>        | <b>2</b> | ✓  |                      |                                    |
|                                    | <i>Anemone nemorosa</i>     | <b>3</b> | ✓  |                      |                                    |
|                                    | <i>Mercurialis perennis</i> | <b>3</b> |  |                      |                                    |
|                                    | <i>Galium odoratum</i>      | <b>3</b> |  |                      |                                    |
|                                    | <i>Convallaria majalis</i>  | <b>3</b> |  |                      |                                    |
|                                    | <i>Oxalis acetosella</i>    | <b>3</b> |  |                      | ✓                                  |
|                                    | <i>Lamium galeobdolon</i>   | <b>4</b> | ✓  |                      | ✓                                  |
|                                    | <i>Hedera helix</i>         | <b>5</b> | ✓  |                      |                                    |



### Espèces typiques de la strate herbacée

- Melica uniflora* (1)
- Holcus mollis* (2)
- Anemone nemorosa* (3)
- Lamium galeobdolon* (4)
- Hedera helix* (5)



1



2



3



4



5

# Hêtraies-chênaies à Jacinthe des bois

## Espèces redondantes par groupe fonctionnel

|                               | GROUPES FONCTIONNELS    |                                |                                  |                                |                             |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|                               | 1                       | 2                              | 3                                | 4                              | 5                           |
| ESPECES DE LA STRATE HERBACEE | <i>Hedera helix</i>     | <i>Lamium galeobdolon</i>      | <i>Anemone nemorosa</i>          | <i>Melica uniflora</i>         | <i>Holcus mollis</i>        |
|                               | <i>Ruscus aculeatus</i> | <i>Lonicera periclymenum</i>   | <i>Hyacinthoides non-scripta</i> | <i>Milium effusum</i>          | <i>Circaea lutetiana</i>    |
|                               | <i>Tamus communis</i>   | <i>Polygonatum multiflorum</i> | <i>Galium odoratum</i>           | <i>Euphorbia amygdaloides</i>  | <i>Geranium robertianum</i> |
|                               | <i>Daphne laureola</i>  | <i>Arum maculatum</i>          | <i>Mercurialis perennis</i>      | <i>Carex sylvatica</i>         | <i>Teucrium scorodonia</i>  |
|                               |                         | <i>Veronica montana</i>        | <i>Oxalis acetosella</i>         | <i>Deschampsia cespitosa</i>   | <i>Galium aparine</i>       |
|                               |                         | <i>Stachys sylvatica</i>       | <i>Ranunculus ficaria</i>        | <i>Carex remota</i>            | <i>Poa nemoralis</i>        |
|                               |                         | <i>Vicia sepium</i>            | <i>Viola riviniana</i>           | <i>Deschampsia flexuosa</i>    | <i>Digitalis purpurea</i>   |
|                               |                         | <i>Convallaria majalis</i>     | <i>Stellaria holostea</i>        | <i>Brachypodium sylvaticum</i> | <i>Geum urbanum</i>         |
|                               |                         | <i>Adoxa moschatellina</i>     | <i>Allium ursinum</i>            | <i>Carex flacca</i>            | <i>Solidago virgaurea</i>   |
|                               |                         | <i>Potentilla sterilis</i>     | <i>Viola reichenbachiana</i>     | <i>Carex pilulifera</i>        | <i>Hypericum pulchrum</i>   |
|                               |                         | <i>Glechoma hederacea</i>      | <i>Primula elatior</i>           | <i>Juncus effusus</i>          | <i>Urtica dioica</i>        |
|                               |                         | <i>Sanicula europaea</i>       | <i>Primula vulgaris</i>          | <i>Festuca heterophylla</i>    | <i>Galeopsis tetrahit</i>   |
|                               |                         | <i>Clematis vitalba</i>        | <i>Luzula pilosa</i>             |                                | <i>Scrophularia nodosa</i>  |
|                               |                         | <i>Ajuga reptans</i>           | <i>Narcissus jonquilla</i>       |                                | <i>Mycelis muralis</i>      |
|                               |                         | <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> | <i>Fragaria vesca</i>            |                                |                             |
|                               |                         | <i>Maehringia trinervia</i>    | <i>Paris quadrifolia</i>         |                                |                             |
|                               |                         |                                | <i>Ranunculus auricomus</i>      |                                |                             |
|                               |                         |                                | <i>Melampyrum pratense</i>       |                                |                             |
|                               |                         | <i>Veronica chamaedrys</i>     |                                  |                                |                             |
|                               |                         | <i>Umbilicus rupestris</i>     |                                  |                                |                             |
|                               |                         | <i>Luzula forsteri</i>         |                                  |                                |                             |
|                               |                         | <i>Luzula sylvatica</i>        |                                  |                                |                             |
| Abondance (%)                 | 13,56                   | 10,89                          | 29,41                            | 15,19                          | 3,89                        |
| Abondance total               | 14,21                   | 15,19                          | 37,38                            | 19,65                          | 7,51                        |

 Espèces les plus abondantes

## Caractéristiques principales déterminantes pour les groupes fonctionnels

|                      |   | CARACTERISTIQUES PRINCIPALES   |
|----------------------|---|--|
| GROUPES FONCTIONNELS | 1 | Début de floraison en automne<br>Type de fruit baie<br>Plantes grandes de plus de 2 m<br>Plantes dioïques  |
|                      | 2 | Pollinisation entomogame<br>L'âge de floraison de plus de 5 années<br>Type de fruit baie<br>Couleur de fleur claire<br>Floraison de 3 mois   |
|                      | 3 | Fleurs solitaires<br>Plantes petites de moins de 0.5 m<br>Début de floraison en printemps<br>Fruit sec déhiscent ( s'ouvrant à maturité)<br>Floraison de 2 ou moins mois<br>L'âge de floraison pendant les premières 5 années<br>Dissémination par les fourmis<br>Vitesse terminale de graines de 3.5 m/s<br>Couleur de fleur foncée<br>Plantes hermaphrodites<br>Pollinisation diplogame ( entomogame et anemogame) |
|                      | 4 | Fin de floraison en automne<br>Début de floraison en été<br>Floraison plus de 4 mois<br>L'âge de floraison première année<br>Plantes entre 0.5 et 1 m.<br>Dissémination par le vent<br>Plantes polygames   |
|                      | 5 | Plantes pérennes<br>Pollinisation par le vent<br>Plantes moïques et unisexuées<br>Couleur de fleur verte<br>Fin de floraison en été<br>Fruit sec indéhiscent ( ne s'ouvrant pas à maturité)<br>Inflorescence sessile ( type épi) et composée ( grappe de cymes, cyme de capitules)<br>Plantes entre de 0.5 et 1 m.<br>Floraison de 3 mois  |

## Critères pour le choix d'espèces typiques

|                                    |                                  | GF       | Espèce la plus abondante de chaque groupe | Statut de protection | Indicatrice de tolérance à l'ombre |
|------------------------------------|----------------------------------|----------|---|----------------------|------------------------------------|
| <b>Espèces les plus abondantes</b> | <i>Hedera helix</i>              | <b>1</b> | ✓   |                      |                                    |
|                                    | <i>Lamium galeobdolon</i>        | <b>2</b> | ✓   |                      | ✓                                  |
|                                    | <i>Lonicera periclymenum</i>     | <b>2</b> |   |                      |                                    |
|                                    | <i>Anemone nemorosa</i>          | <b>3</b> | ✓   |                      |                                    |
|                                    | <i>Hyacinthoides non-scripta</i> | <b>3</b> |   |                      |                                    |
|                                    | <i>Galium odoratum</i>           | <b>3</b> |   |                      | ✓                                  |
|                                    | <i>Mercurialis perennis</i>      | <b>3</b> |   |                      |                                    |
|                                    | <i>Melica uniflora</i>           | <b>4</b> | ✓   |                      | ✓                                  |
|                                    | <i>Milium effusum</i>            | <b>4</b> |   |                      |                                    |
|                                    | <i>Holcus mollis</i>             | <b>5</b> | ✓   |                      |                                    |



### Espèces typiques de la strate herbacée

*Hedera helix* (1)  
*Lamium galeobdolon* (2)  
*Galium odoratum* (3)  
*Melica uniflora* (4)  
*Holcus mollis* (5)



1

2

3

4

5

# Hêtraies, hêtraies-sapinières calciclives à Orge d'Europe

## Espèces redondantes par groupe fonctionnel

|                               | GROUPES FONCTIONNELS         |                     |                                |                              |                                     |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
|                               | 1                            | 2                   | 3                              | 4                            | 5                                   |
| ESPECES DE LA STRATE HERBACEE | <i>Galium odoratum</i>       | <i>Hedera helix</i> | <i>Hordelymus europaeus</i>    | <i>Geranium robertianum</i>  | <i>Prenanthes purpurea</i>          |
|                               | <i>Mercurialis perennis</i>  |                     | <i>Carex sylvatica</i>         | <i>Epipactis helleborine</i> | <i>Hieracium murorum</i>            |
|                               | <i>Oxalis acetosella</i>     |                     | <i>Melica uniflora</i>         | <i>Epilobium montanum</i>    | <i>Adenostyles alliariae</i>        |
|                               | <i>Lamium galeobdolon</i>    |                     | <i>Brachypodium sylvaticum</i> | <i>Galeopsis tetrahit</i>    | <i>Polygonatum verticillatum</i>    |
|                               | <i>Sanicula europaea</i>     |                     | <i>Carex digitata</i>          |                              | <i>Saxifraga rotundifolia</i>       |
|                               | <i>Viola reichenbachiana</i> |                     | <i>Festuca altissima</i>       |                              | <i>Galium sylvaticum</i>            |
|                               | <i>Cardamine heptaphylla</i> |                     | <i>Solidago virgaurea</i>      |                              | <i>Veronica urticifolia</i>         |
|                               | <i>Phyteuma spicatum</i>     |                     | <i>Melica nutans</i>           |                              | <i>Cardamine pentaphylla</i>        |
|                               | <i>Fragaria vesca</i>        |                     | <i>Milium effusum</i>          |                              | <i>Senecio ovatus subsp. ovatus</i> |
|                               | <i>Hepatica nobilis</i>      |                     | <i>Carex flacca</i>            |                              | <i>Adenostyles alpina</i>           |
|                               | <i>Vaccinium myrtillus</i>   |                     | <i>Poa nemoralis</i>           |                              | <i>Chaerophyllum hirsutum</i>       |
|                               | <i>Asarum europaeum</i>      |                     | <i>Bromus ramosus</i>          |                              | <i>Calamintha grandiflora</i>       |
|                               | <i>Luzula sylvatica</i>      |                     | <i>Festuca gigantea</i>        |                              | <i>Knautia maxima</i>               |
|                               | <i>Petasites albus</i>       |                     | <i>Euphorbia amygdaloides</i>  |                              | <i>Melampyrum velebicum</i>         |
|                               | <i>Veronica austriaca</i>    |                     | <i>Carex alba</i>              |                              | <i>Aruncus dioicus</i>              |
|                               | <i>Rubus saxatilis</i>       |                     | <i>Ajuga reptans</i>           |                              |                                     |
|                               | <i>Paris quadrifolia</i>     |                     |                                |                              |                                     |
|                               | <i>Lathyrus vernus</i>       |                     |                                |                              |                                     |
|                               | <i>Euphorbia dulcis</i>      |                     |                                |                              |                                     |
|                               | <i>Helleborus foetidus</i>   |                     |                                |                              |                                     |
|                               | <i>Geranium sylvaticum</i>   |                     |                                |                              |                                     |
|                               | <i>Vicia sepium</i>          |                     |                                |                              |                                     |
|                               | <i>Orthilia secunda</i>      |                     |                                |                              |                                     |
| <i>Polygala chamaebuxus</i>   |                              |                     |                                |                              |                                     |
| <i>Lysimachia nemorum</i>     |                              |                     |                                |                              |                                     |
| <i>Stellaria nemorum</i>      |                              |                     |                                |                              |                                     |
| <i>Actaea spicata</i>         |                              |                     |                                |                              |                                     |
| <i>Galium rotundifolium</i>   |                              |                     |                                |                              |                                     |
| Abondance (%)                 | 32.76                        | 3.48                | 14.93                          | 0.32                         | 8                                   |
| Abondance total (%)           | 34.76                        | 3.48                | 16.03                          | 0.75                         | 9.05                                |



Espèces les plus abondantes

## Caractéristiques principales déterminantes pour les groupes fonctionnels

|                      |   | CARACTERISTIQUES PRINCIPALES   |
|----------------------|---|--|
| GROUPES FONCTIONNELS | 1 | Début de floraison en printemps<br>Plantes petites de moins de 0.5 m<br>L'âge de floraison pendant les premières 5 années<br>Fruit sec déhiscent ( s'ouvrant à maturité)<br>Fin de floraison en printemps<br>Fleurs solitaires<br>Vitesse terminale de graines de 3.5 m/s                                  |
|                      | 2 | Plantes grandes de plus de 2 m<br>Début de floraison en automne  |
|                      | 3 | Plantes pérennes<br>Plantes moïques et unisexuées<br>Fruit sec indéhiscent ( ne s'ouvrant pas à maturité)<br>Pollinisation anémogame<br>Couleur de fleur verte<br>Inflorescence sessile ( type épi) et composée ( grappe de cymes, cyme de capitules)<br>Vitesse terminale de graines entre 1.5 et 3.5 m/s |
|                      | 4 | Fin de floraison en automne<br>Plante avec une durée de vie courte/moyenne (1 à 5 ans)<br>Floraison de plus de 4 mois<br>L'âge de floraison première année<br>Feuilles entre 1000 et 5000 m <sup>2</sup>   |
|                      | 5 | Début de floraison en été<br>Hauteur entre 1 et 2 mètres   |



Annexe 4.- Exemple de la matrice de traits écologiques de caractère quantitative

| Nom                            | Hauteur de la plante |             | Poids de graines<br>gr. | Hauteur des organes reproductifs |             | Vitesse terminale<br>m/s | Longévité max<br>(y) | Masse de feuille<br>mg |
|--------------------------------|----------------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
|                                | minimal (m)          | maximal (m) |                         | minimal (m)                      | maximal (m) |                          |                      |                        |
| <i>Achillea macrophylla</i>    | 0.3                  | 0.9         | NA                      | 0.415                            | 1.04        | NA                       | NA                   | 764.68                 |
| <i>Actaea spicata</i>          | 0.3                  | 0.8         | 6.3                     | 0.33                             | 0.65        | NA                       | 0                    | 586.76                 |
| <i>Adenostyles alliariae</i>   | 0.5                  | 1.5         | NA                      | 0.5                              | 1.2         | 0.73                     | NA                   | 3407.5                 |
| <i>Adenostyles alpina</i>      | 0.3                  | 0.6         | NA                      | NA                               | NA          | NA                       | NA                   | NA                     |
| <i>Adoxa moschatellina</i>     | 0.04                 | 0.2         | 64                      | 0.05                             | 0.15        | NA                       | 0                    | 49.84                  |
| <i>Agrostis capillaris</i>     | 0.2                  | 1           | 0.07                    | 0.39                             | 0.77        | 1.15                     | 40                   | 10.18                  |
| <i>Ajuga reptans</i>           | 0.1                  | 0.3         | NA                      | 0.07                             | 0.3         | NA                       | 0                    | 17.36                  |
| <i>Alliaria petiolata</i>      | 0.2                  | 0.8         | NA                      | 0.2                              | 0.9         | 3.85                     | 5                    | 213.93                 |
| <i>Allium ursinum</i>          | 0.15                 | 0.4         | 5.6                     | 0.2                              | 0.43        | 4.62                     | 0                    | 196.76                 |
| <i>Anemone nemorosa</i>        | 0.1                  | 0.25        | 3                       | 0.16                             | 0.29        | 2.66                     | 0                    | 123.87                 |
| <i>Anthriscus sylvestris</i>   | 0.4                  | 1.2         | NA                      | 0.73                             | 1.38        | 3.63                     | 3                    | 891.07                 |
| <i>Arrhenatherum elatius</i>   | 0.6                  | 2           | 2.8                     | 0.6                              | 1.2         | 2.57                     | 2                    | 30.65                  |
| <i>Arum maculatum</i>          | 0.2                  | 0.5         | 105                     | 0.07                             | 0.15        | 4.78                     | 0                    | 317.9                  |
| <i>Aruncus dioicus</i>         | 0.5                  | 2           | 0.09                    | NA                               | NA          | 1.18                     | NA                   | 2580.36                |
| <i>Asarum europaeum</i>        | 0.05                 | 0.2         | 3.16                    | 0.05                             | 0.1         | 3.85                     | 0                    | 120.06                 |
| <i>Aster bellidiastrum</i>     | 0.1                  | 0.35        | NA                      | 0.1                              | 0.3         | 0.32                     | NA                   | 43.28                  |
| <i>Brachypodium pinnatum</i>   | 0.3                  | 0.9         | 2.8                     | 0.6                              | 0.9         | 2.31                     | 2                    | 41.08                  |
| <i>Brachypodium sylvaticum</i> | 0.4                  | 1           | 3.2                     | 0.6                              | 0.9         | 3.12                     | 0                    | 42.54                  |
| <i>Bromus ramosus</i>          | 0.75                 | 2           | 5.48                    | NA                               | NA          | 2.84                     | NA                   | 198.44                 |
| <i>Calamintha grandiflora</i>  | 0.2                  | 0.5         | NA                      | NA                               | NA          | NA                       | NA                   | NA                     |
| <i>Campanula rhomboidalis</i>  | 0.25                 | 0.6         | NA                      | 0.2                              | 0.7         | NA                       | NA                   | NA                     |
| <i>Campanula trachelium</i>    | 0.3                  | 1           | 0.21                    | 0.6                              | 0.7         | 2.11                     | 0                    | 92.24                  |
| <i>Cardamine flexuosa</i>      | 0.1                  | 0.4         | NA                      | 0.1                              | 0.5         | NA                       | 0                    | 12.33                  |
| <i>Cardamine heptaphylla</i>   | 0.3                  | 0.6         | NA                      | NA                               | NA          | 4.41                     | NA                   | 700                    |
| <i>Cardamine pentaphyllos</i>  | 0.1                  | 0.6         | NA                      | 0.25                             | 0.5         | NA                       | NA                   | NA                     |
| <i>Cardamine pratensis</i>     | 0.2                  | 0.5         | NA                      | 0.1                              | 0.6         | 2.91                     | 1                    | 59.8                   |
| <i>Carex alba</i>              | 0.15                 | 0.4         | 2.01                    | 0.1                              | 0.3         | 2.88                     | NA                   | 5.44                   |
| <i>Carex digitata</i>          | 0.1                  | 0.3         | 1.09                    | 0.16                             | 0.37        | 3.09                     | 0                    | 15.65                  |
| <i>Carex flacca</i>            | 0.1                  | 0.6         | 0.87                    | 0.2                              | 0.6         | 2.47                     | 20                   | 34.84                  |
| <i>Carex montana</i>           | 0.1                  | 0.4         | 0.99                    | 0.1                              | 0.3         | 2.94                     | 0                    | 12.98                  |
| <i>Carex pilosa</i>            | 0.2                  | 0.5         | NA                      | 0.3                              | 0.6         | NA                       | 0                    | 178.88                 |
| <i>Carex pilulifera</i>        | 0.1                  | 0.4         | 1.1                     | 0.1                              | 0.4         | 3.32                     | 68                   | 10.26                  |
| <i>Carex remota</i>            | 0.3                  | 0.7         | 0.48                    | 0.3                              | 0.6         | 1.48                     | 0                    | 12.81                  |
| <i>Carex sylvatica</i>         | 0.25                 | 0.7         | 1.48                    | 0.55                             | 0.3         | 3.01                     | 0                    | 29.75                  |
| <i>Carex umbrosa</i>           | 0.2                  | 0.5         | NA                      | 0.15                             | 0.5         | NA                       | NA                   | 24.49                  |

Annexe 5.- Matrice des « espèces et traits » pour l' Hêtraies-chênaies à Aspérule odorante et Mélique uniflore

| Nom                             | Inflorescence | Sexualité | Pollinisation | Fruit  | Couleur fleur | Floraison | Début floraison | Fin floraison | Mode de dissémination | Durée de vie de plantes | Âge de floraison | Hauteur maximale | Vitesse terminale | Taille de feuille |
|---------------------------------|---------------|-----------|---------------|--------|---------------|-----------|-----------------|---------------|-----------------------|-------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| <i>Adoxa moschatellina</i>      | Inf3          | Sex1      | Poll1         | Fruit1 | CF3           | F2        | DF1             | FF1           | SD1                   | LS2                     | AG4              | Hmax4            | TV4               | LeafS3            |
| <i>Ajuga reptans</i>            | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit2 | CF2           | F3        | DF1             | FF2           | SD6                   | LS3                     | AG2              | Hmax4            | TV4               | LeafS4            |
| <i>Allium ursinum</i>           | Inf2          | Sex1      | Poll2         | Fruit2 | CF1           | F2        | DF1             | FF2           | SD3                   | LS1                     | AG2              | Hmax4            | TV1               | LeafS2            |
| <i>Anemone nemorosa</i>         | Inf1          | Sex1      | Poll2         | Fruit2 | CF1           | F2        | DF1             | FF1           | SD6                   | LS1                     | AG3              | Hmax4            | TV2               | LeafS3            |
| <i>Arum maculatum</i>           | Inf3          | Sex3      | Poll1         | Fruit1 | CF3           | F1        | DF1             | FF1           | SD1                   | LS3                     | AG3              | Hmax4            | TV1               | LeafS2            |
| <i>Trachypodium sylvaticum</i>  | Inf3          | Sex1      | Poll4         | Fruit2 | CF3           | F2        | DF2             | FF3           | SD2                   | LS3                     | AG4              | Hmax3            | TV2               | LeafS3            |
| <i>Carex flacca</i>             | Inf3          | Sex2      | Poll4         | Fruit2 | CF2           | F3        | DF1             | FF2           | SD4                   | LS3                     | AG1              | Hmax3            | TV2               | LeafS4            |
| <i>Carex pilulifera</i>         | Inf3          | Sex2      | Poll4         | Fruit2 | CF2           | F2        | DF1             | FF2           | SD6                   | LS3                     | AG4              | Hmax4            | TV2               | LeafS4            |
| <i>Carex remota</i>             | Inf3          | Sex2      | Poll4         | Fruit2 | CF3           | F2        | DF1             | FF2           | SD4                   | LS3                     | AG4              | Hmax3            | TV3               | LeafS4            |
| <i>Carex sylvatica</i>          | Inf3          | Sex2      | Poll4         | Fruit2 | CF3           | F2        | DF1             | FF2           | SD1                   | LS3                     | AG4              | Hmax3            | TV2               | LeafS4            |
| <i>Circaea lutetiana</i>        | Inf2          | Sex1      | Poll2         | Fruit3 | CF1           | F3        | DF2             | FF3           | SD1                   | LS3                     | AG4              | Hmax3            | TV2               | LeafS3            |
| <i>Clematis vitalba</i>         | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit2 | CF1           | F2        | DF2             | FF2           | SD5                   | LS2                     | AG4              | Hmax1            | TV3               | LeafS2            |
| <i>Convallaria majalis</i>      | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit1 | CF1           | F2        | DF1             | FF2           | SD1                   | LS3                     | AG1              | Hmax4            | TV1               | LeafS2            |
| <i>Daphne laureola</i>          | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit1 | CF1           | F1        | DF4             | FF1           | SD1                   | LS3                     | AG4              | Hmax3            | TV4               | LeafS3            |
| <i>Deschampsia cespitosa</i>    | Inf4          | Sex1      | Poll4         | Fruit2 | CF2           | F2        | DF2             | FF2           | SD2                   | LS3                     | AG2              | Hmax2            | TV2               | LeafS4            |
| <i>Deschampsia flexuosa</i>     | Inf4          | Sex1      | Poll4         | Fruit2 | CF3           | F2        | DF2             | FF2           | SD1                   | LS3                     | AG3              | Hmax3            | TV2               | LeafS4            |
| <i>Digitalis purpurea</i>       | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit3 | CF2           | F3        | DF2             | FF3           | SD1                   | LS3                     | AG2              | Hmax2            | TV2               | LeafS1            |
| <i>Euphorbia amygdaloide.</i>   | Inf4          | Sex2      | Poll1         | Fruit3 | CF3           | F2        | DF1             | FF2           | SD2                   | LS3                     | AG2              | Hmax3            | TV4               | LeafS4            |
| <i>Festuca heterophylla</i>     | Inf4          | Sex1      | Poll4         | Fruit2 | CF3           | F2        | DF2             | FF2           | SD1                   | LS3                     | AG4              | Hmax3            | TV3               | LeafS5            |
| <i>Fragaria vesca</i>           | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit2 | CF1           | F1        | DF1             | FF2           | SD1                   | LS1                     | AG2              | Hmax4            | TV2               | LeafS3            |
| <i>Galeopsis tetrahit</i>       | Inf2          | Sex1      | Poll3         | Fruit2 | CF1           | F3        | DF2             | FF3           | SD3                   | LS1                     | AG1              | Hmax3            | TV1               | LeafS3            |
| <i>Galium aparine</i>           | Inf2          | Sex1      | Poll2         | Fruit3 | CF1           | F3        | DF2             | FF3           | SD1                   | LS1                     | AG1              | Hmax3            | TV1               | LeafS4            |
| <i>Galium odoratum</i>          | Inf2          | Sex1      | Poll2         | Fruit3 | CF1           | F1        | DF1             | FF2           | SD1                   | LS3                     | AG2              | Hmax4            | TV2               | LeafS4            |
| <i>Geranium robertianum</i>     | Inf4          | Sex1      | Poll1         | Fruit3 | CF1           | F3        | DF1             | FF3           | SD2                   | LS1                     | AG1              | Hmax4            | TV2               | LeafS3            |
| <i>Geum urbanum</i>             | Inf2          | Sex3      | Poll2         | Fruit2 | CF1           | F3        | DF1             | FF3           | SD6                   | LS1                     | AG1              | Hmax3            | TV2               | LeafS3            |
| <i>Glechoma hederacea</i>       | Inf2          | Sex3      | Poll1         | Fruit2 | CF2           | F3        | DF1             | FF3           | SD4                   | LS2                     | AG2              | Hmax4            | TV4               | LeafS4            |
| <i>Hedera helix</i>             | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit1 | CF1           | F2        | DF3             | FF3           | SD1                   | LS3                     | AG3              | Hmax1            | TV4               | LeafS3            |
| <i>Holcus mollis</i>            | Inf4          | Sex1      | Poll1         | Fruit2 | CF1           | F3        | DF2             | FF3           | SD1                   | LS3                     | AG1              | Hmax3            | TV2               | LeafS3            |
| <i>Hyacinthoides non-script</i> | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit3 | CF2           | F1        | DF1             | FF1           | SD3                   | LS3                     | AG3              | Hmax4            | TV1               | LeafS3            |
| <i>Hypericum pulchrum</i>       | Inf2          | Sex1      | Poll2         | Fruit3 | CF1           | F3        | DF2             | FF3           | SD5                   | LS1                     | AG2              | Hmax3            | TV2               | LeafS4            |
| <i>Juncus effusus</i>           | Inf4          | Sex1      | Poll4         | Fruit3 | CF3           | F2        | DF2             | FF2           | SD1                   | LS3                     | AG2              | Hmax3            | TV3               | LeafS3            |
| <i>Lamium galeobdolon</i>       | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit2 | CF1           | F2        | DF1             | FF2           | SD6                   | LS2                     | AG4              | Hmax3            | TV4               | LeafS5            |
| <i>Lonicera periclymenum</i>    | Inf2          | Sex1      | Poll1         | Fruit1 | CF1           | F2        | DF2             | FF2           | SD1                   | LS3                     | AG4              | Hmax1            | TV1               | LeafS4            |
| <i>Luzula forsteri</i>          | Inf1          | Sex1      | Poll4         | Fruit3 | CF2           | F2        | DF1             | FF1           | SD2                   | LS4                     | AG4              | Hmax4            | TV4               | LeafS5            |

|                                |      |      |       |        |     |    |     |     |     |     |     |       |     |        |
|--------------------------------|------|------|-------|--------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|--------|
| <i>Luzula pilosa</i>           | Inf2 | Sex1 | Poll4 | Fruit3 | CF2 | F2 | DF1 | FF1 | SD6 | LS4 | AG2 | Hmax4 | TV1 | LeafS4 |
| <i>Luzula sylvatica</i>        | Inf4 | Sex1 | Poll4 | Fruit3 | CF2 | F3 | DF1 | FF2 | SD6 | LS3 | AG2 | Hmax3 | TV1 | LeafS2 |
| <i>Melampyrum pratense</i>     | Inf2 | Sex1 | Poll2 | Fruit3 | CF1 | F3 | DF1 | FF2 | SD6 | LS1 | AG1 | Hmax4 | TV1 | LeafS4 |
| <i>Melica uniflora</i>         | Inf4 | Sex1 | Poll4 | Fruit2 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD6 | LS3 | AG4 | Hmax3 | TV2 | LeafS5 |
| <i>Mercurialis perennis</i>    | Inf4 | Sex4 | Poll4 | Fruit3 | CF3 | F1 | DF1 | FF1 | SD6 | LS3 | AG2 | Hmax4 | TV1 | LeafS3 |
| <i>Milium effusum</i>          | Inf4 | Sex1 | Poll4 | Fruit2 | CF3 | F3 | DF1 | FF2 | SD3 | LS3 | AG2 | Hmax2 | TV2 | LeafS3 |
| <i>Moehringia trinervia</i>    | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD6 | LS1 | AG1 | Hmax4 | TV4 | LeafS4 |
| <i>Mycelis muralis</i>         | Inf4 | Sex3 | Poll1 | Fruit2 | CF1 | F2 | DF2 | FF3 | SD5 | LS3 | AG2 | Hmax3 | TV3 | LeafS5 |
| <i>Narcissus jonquilla</i>     | Inf1 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF1 | F2 | DF1 | FF1 | SD3 | LS3 | AG3 | Hmax4 | TV4 | LeafS5 |
| <i>Ornithogalum pyrenaicum</i> | Inf3 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD3 | LS3 | AG3 | Hmax3 | TV4 | LeafS5 |
| <i>Oxalis acetosella</i>       | Inf1 | Sex1 | Poll2 | Fruit3 | CF1 | F1 | DF1 | FF2 | SD2 | LS3 | AG2 | Hmax4 | TV2 | LeafS4 |
| <i>Paris quadrifolia</i>       | Inf1 | Sex1 | Poll2 | Fruit1 | CF3 | F2 | DF1 | FF2 | SD1 | LS1 | AG4 | Hmax4 | TV1 | LeafS3 |
| <i>Poa nemoralis</i>           | Inf4 | Sex1 | Poll4 | Fruit2 | CF3 | F3 | DF2 | FF3 | SD5 | LS3 | AG1 | Hmax3 | TV2 | LeafS4 |
| <i>Polygonatum multiflorum</i> | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit1 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD1 | LS4 | AG4 | Hmax3 | TV1 | LeafS3 |
| <i>Potentilla sterilis</i>     | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit2 | CF1 | F3 | DF4 | FF1 | SD6 | LS3 | AG4 | Hmax4 | TV4 | LeafS4 |
| <i>Primula elatior</i>         | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF1 | F1 | DF1 | FF1 | SD2 | LS3 | AG2 | Hmax4 | TV2 | LeafS3 |
| <i>Primula vulgaris</i>        | Inf1 | Sex1 | Poll2 | Fruit3 | CF1 | F1 | DF1 | FF1 | SD1 | LS3 | AG2 | Hmax4 | TV1 | LeafS2 |
| <i>Ranunculus auricomus</i>    | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit2 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD6 | LS4 | AG4 | Hmax4 | TV2 | LeafS3 |
| <i>Ranunculus ficaria</i>      | Inf1 | Sex1 | Poll1 | Fruit2 | CF1 | F1 | DF1 | FF1 | SD6 | LS3 | AG1 | Hmax4 | TV2 | LeafS4 |
| <i>Ruscus aculeatus</i>        | Inf4 | Sex4 | Poll1 | Fruit1 | CF3 | F3 | DF3 | FF1 | SD1 | LS4 | AG4 | Hmax3 | TV4 | LeafS5 |
| <i>Sanicula europaea</i>       | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit2 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD1 | LS3 | AG3 | Hmax4 | TV4 | LeafS3 |
| <i>Scrophularia nodosa</i>     | Inf4 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF2 | F3 | DF2 | FF3 | SD5 | LS3 | AG1 | Hmax2 | TV2 | LeafS3 |
| <i>Solidago virgaurea</i>      | Inf3 | Sex3 | Poll1 | Fruit2 | CF1 | F3 | DF2 | FF3 | SD3 | LS3 | AG2 | Hmax3 | TV3 | LeafS3 |
| <i>Stachys sylvatica</i>       | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit2 | CF2 | F2 | DF2 | FF3 | SD4 | LS3 | AG2 | Hmax3 | TV2 | LeafS3 |
| <i>Stellaria holostea</i>      | Inf2 | Sex1 | Poll2 | Fruit3 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD3 | LS3 | AG2 | Hmax3 | TV1 | LeafS4 |
| <i>Tamus communis</i>          | Inf2 | Sex4 | Poll1 | Fruit1 | CF3 | F1 | DF1 | FF1 | SD1 | LS4 | AG3 | Hmax1 | TV4 | LeafS2 |
| <i>Teucrium scorodonia</i>     | Inf2 | Sex1 | Poll2 | Fruit2 | CF1 | F2 | DF2 | FF3 | SD3 | LS3 | AG3 | Hmax3 | TV1 | LeafS4 |
| <i>Umbilicus rupestris</i>     | Inf2 | Sex1 | Poll2 | Fruit3 | CF1 | F2 | DF1 | FF2 | SD5 | LS4 | AG4 | Hmax4 | TV3 | LeafS3 |
| <i>Urtica dioica</i>           | Inf4 | Sex4 | Poll4 | Fruit2 | CF3 | F3 | DF2 | FF3 | SD5 | LS3 | AG1 | Hmax3 | TV2 | LeafS3 |
| <i>Veronica chamaedrys</i>     | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF2 | F1 | DF1 | FF2 | SD6 | LS3 | AG2 | Hmax4 | TV2 | LeafS4 |
| <i>Veronica montana</i>        | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF2 | F2 | DF1 | FF2 | SD1 | LS3 | AG2 | Hmax4 | TV4 | LeafS4 |
| <i>Vicia sepium</i>            | Inf2 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF2 | F2 | DF1 | FF2 | SD4 | LS3 | AG2 | Hmax3 | TV1 | LeafS3 |
| <i>Viola reichenbachiana</i>   | Inf1 | Sex1 | Poll1 | Fruit3 | CF2 | F1 | DF1 | FF1 | SD6 | LS3 | AG4 | Hmax4 | TV4 | LeafS4 |
| <i>Viola riviniana</i>         | Inf1 | Sex1 | Poll2 | Fruit3 | CF2 | F2 | DF1 | FF2 | SD6 | LS3 | AG1 | Hmax4 | TV1 | LeafS4 |