

Ce document numérisé est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur au même titre que sa version papier. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

La Bibliothèque a pris soin d'adresser un courrier à l'auteur dans lequel elle l'informe de la mise en ligne de son travail. Celui-ci peut en suspendre la diffusion en prenant contact avec notre service.

➤ **Contact SCD Nancy 1** : theses.sciences@scd.uhp-nancy.fr



ENGREF

Ecosystèmes forestiers et
dynamique des Paysages

UNIVERSITÉ DE NANCY I
UFR Sciences Techniques et Biologie
GFD Sciences du Bois
Biologie Végétale et Forestière

THÈSE

présentée en vue de l'obtention
du titre de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

Spécialité : BIOLOGIE VÉGÉTALE ET FORESTIÈRE

par Jean-Louis SIMONNOT



**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE
DES RAPPORTS SOL/VÉGÉTATION
EN FORET DU MORVAN**

soutenue le 18 DECEMBRE 1991 devant la commission d'examen :

MM.	FAVRE J.M.,	Président
	DEXHEIMER J.	Rapporteur
	CHRETIEN J.	Rapporteur
	BUGNON F.	
	RAMEAU J.C.	
	TOUTAIN F.	

AVANT-PROPOS

Parvenu au terme de ce travail, je dois tout d'abord remercier

- M. RAMEAU qui m'a donné la possibilité de m'engager dans cette formation et a bien voulu consacrer de son temps au cadrage et à la relecture de ce travail,
- MM. les membres du Jury qui ont accepté l'examen de celui-ci.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à

- D. BAIZE (Orléans), J. CHRETIEN et D. MEUNIER (Dijon) du Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de la France de l'INRA qui m'ont apporté une aide financière, scientifique et technique dans le cadre de leurs travaux concernant les feuilles au 1/100.000 ème d'Avallon et de Beaune,
- F. BUGNON qui m'a fait profiter de ses remarques détachées au cours d'échanges toujours fructueux.

Je ne saurais oublier que ce travail n'aurait pu être mené à son terme à l'Université de Bourgogne sans l'extrême bienveillance des enseignants qui ont autorisé le développement de mes activités :

- B. FROCHOT et A. BRUNAUD m'ont procuré toutes les facilités matérielles, au sein du laboratoire d'Ecologie, pour mettre en place la section d'étude des milieux terrestres du bureau d'études universitaire; ce dernier, devenu Cellule d'Application en Ecologie, a été le support permanent de mes travaux;
- Tous les personnels de la C.A.E. ont toujours fait preuve de la plus grande compréhension et m'ont réservé le meilleur accueil; F. CHAMBAUD et D. OBERTI m'ont offert une aide précieuse dans les tâches rébarbatives de la campagne de prospection pédologique et de relecture; G. MENY son efficacité redoutable pour la mise en forme du document;
- J. VALLADE et M.F. TURLIER du laboratoire de Phytobiologie cellulaire m'ont guidé de façon déterminante dans ma candidature à un poste d'A.T.E.R.; avec C. HUMBERT, ils m'ont ouvert l'accès à leur matériel;
- le laboratoire de Zoologie de J. DELACHAMBRE a pallié aussi certains de mes manques matériels.

Que tous les enseignants-chercheurs que j'ai pu côtoyer dans les différents laboratoires de l'U.F.R des Sciences de la vie et M. le Doyen GRAF trouvent ici l'expression de ma gratitude pour la confiance qu'ils m'ont accordée en me recrutant parmi eux; l'assurance qu'ils m'ont communiqué la plus profonde motivation pour les différentes activités auxquelles il m'a été donné de participer.

J'associe également à ce travail les personnels d'autres U.F.R. pour les informations, les documents, l'aide à la détermination de certains matériels qu'ils m'ont apportés :

- MM. N. LENEUF, L. COUREL, J. BONVALOT du Centre des Sciences de la Terre,
- M. J.P. CHABIN de l'U.F.R. des Sciences humaines,
- J.P. LOBREAU qui a mis à ma disposition plusieurs utilitaires de saisie et de traitement informatique.

Enfin, je dois aussi assurer de ma reconnaissance

- les étudiants en Doctorat au laboratoire des écosystèmes forestiers et de la dynamique du paysage J.C. GEGOUT, N. DRAPIER, V. PIGEON, avec qui j'ai entretenu des échanges dans le meilleur esprit et qui m'ont bien souvent aidé à résoudre les problèmes dus à mon éloignement géographique,
- les personnels de l'ENGREF qui ont montré leur disponibilité dans la phase terminale de la préparation et de la multiplication de ce document, Mmes ANSELME et WESTRICH, M. FOUQUE.

Les travaux concernant l'élaboration du catalogue des types de stations forestières (inventaire sur le terrain, mise en forme du document) ont été financés par la Région Bourgogne et la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt. Les travaux de recherche et leur mise en forme ont pu être réalisés grâce à l'obtention d'un poste d'A.T.E.R. à l'Université de Bourgogne.

*A mes parents qui m'ont donné la possibilité de m'engager
dans ma formation universitaire,*

A Joëlle, mon épouse, qui a eu la patience d'en atteindre le terme.

PREMIERE PARTIE : ASPECTS METHODOLOGIQUES GENERAUX

Introduction :	1
I - Région étudiée :	4
II - Aspects méthodologiques généraux	4
A. Remarques préliminaires	4
B. La préétude	5
C. Le plan d'échantillonnage	5
1. Substrat géologique	6
2. Géomorphologie	6
3. Variabilité du milieu à l'intérieur des secteurs écologiques	6
3.1. Climat	6
3.2. Topographie	8
3.3. Altitude	8
3.4. Exposition	9
3.5. Pente	9
D. Application du plan d'échantillonnage	9
1. Choix des surfaces à inventorier	9
2. Choix de l'emplacement du relevé	9
3. Le relevé phytoécologique	11
E. Analyse de l'information récoltée	11
1. Mode opératoire	11
2. Codage de l'information :	12
3. Principe d'analyse	12
3.1. Analyse factorielle des correspondances (A.F.C.)	13
3.2. Classification hiérarchique ascendante (C.H.A.)	14
3.3. Partitions	14

DEUXIEME PARTIE : EXPLOITATION DES DONNEES FLORISTIQUES

I - Introduction	15
II - Approche floristique	18
A.- Principe d'analyse	18
1. Echantillon	18
2. Menu d'analyse	18
3. Mode d'exploitation des résultats	18
B.- Résultats et interprétation	19
1. Résultats	19
2. Etude du plan factoriel 1/2	19
2.1. Projections des espèces	19
2.2. Projection des relevés	20
C - Discussion	20
III - Approche floristico-écologique	23
A - Les forêts sur sol sain ou temporairement engorgé	23
1. Echantillon de relevés	23
2. Principe d'analyse	23
3. Résultats et Interprétations : étape 1, étude qualitative	23
3.1. Résultats	23
3.2. Interprétation du plan factoriel 1/2	26
3.2.1. Etude de la projection totale des espèces et des variables écologiques	26
3.2.2. Interprétation des gradients écologiques	26
3.2.3. Autoécologie des espèces sylvatiques du Morvan	31
3.2.4. Edification des groupes écologiques pour le Morvan	32
3.2.5. Etude de la projection des individus	32
3.2.6. Interprétation :	35
3.3. Résultat de la classification	40
3.3.1. Isolement des unités floristiques	40
3.3.2. Etude du gradient trophique	40
* Description des classes	40

* Construction de l'échelle des niveaux trophiques.....	41
* Interprétation	41
4. Résultats et interprétation : étape 2, étude quantitative	43
4.1. Résultats obtenus à l'aide de la partition de l'échantillon.....	43
4.1.1. Remarques préliminaires	43
4.1.2. Exploitation des résultats	44
4.1.3. Description des résultats	44
4.2 - Analyse des résultats.....	45
4.2.1. 1er tableau	45
4.2.2. 2ème tableau	47
4.2.3. 3ème tableau	49
4.2.4. Interprétation.....	51
5. Identification.....	55
5.1. Remarques préliminaires	55
5.2. Forêts collinéennes acidiphiles et neutroclines	55
5.2.1. Forêts très acidiphiles à acidiphiles "modéré"	55
* Composition floristique.....	55
* Sylvofaciès et phases dynamiques.....	56
* Synsystématique	58
* Comparaison des tableaux phytoécologique et phytosociologique.....	60
5.2.2. Forêts mésoacidiphiles à neutroclines du Morvan	63
* Composition floristique.....	63
* Sylvofaciès et aspects dynamiques	63
* Synsystématique	66
* Comparaison des tableaux phytoécologique et phytosociologique.....	71
5.2.3- Les forêts de Châtaignier	72
* Composition floristique.....	72
* Sylvofaciès et aspects dynamiques	73
* Synsystématique	73
5.3. Forêts montagnardes.....	75
* Composition floristique.....	75
* Sylvofaciès et aspects dynamiques.	77
* Synsystématique	77
* Hêtraies acidiphiles.....	78
* Hêtraies neutroclines	79
B - Les forêts humides et marécageuses	82
1 - Aspects méthodologiques	82
2 - Résultats - Interprétations	82
2.1. Autoécologie des espèces sylvatiques des milieux marécageux	83
2.2 Les unités reconnues.....	83
2.2.1. les forêts riveraines	83
2.2.2. les forêts marécageuses.....	83
IV - PREMIERE SYNTHÈSE - ELEMENTS DE DISCUSSION.....	86
A - Aspects méthodologiques	86
B - Analyse de la végétation morvandelle	87

TROISIEME PARTIE : EXPLOITATION DES DONNEES ECOLOGIQUES

Introduction :.....	89
I - METHODE.....	91
A. Information récoltée sur le terrain	91
1. Sous-sol	91
2. Matériau parental du sol.....	92
3. Pente	92
4. Positions topographiques.....	92
B. Echantillon choisi	92

II - Analyse de l'information récoltée	92
A. Réflexions préliminaires	92
B. Détermination de l'objet fondamental de l'étude stationnelle	93
1. Principes adoptés	93
2. Traitement de l'information	94
2.1. Hiérarchisation	94
2.2. Codage de l'information	94
2.3. Description des variables utilisées	96
2.4. Principe d'analyse.....	96
C. Résultats et interprétation	98
1. Résultats	98
2. Interprétation.....	98
2.1. Caractérisation des classes	98
2.2. Les unités de la couverture pédologique du Morvan	103
2.2.1. Mode de caractérisation	103
* Variables intrinsèques.....	104
* Variables extrinsèques	104
2.2.2. Interprétation.....	104
* Identification des solums	104
ALOCRISOLS et PODZOSOLS	104
BRUNISOLS	107
UNITE COMPLEXE.....	110
1er groupe de solums : solums	
humifères de roches cristallines de	
pente moyenne à forte.....	110
2ème groupe de solums : solums	
humifères de roches volcaniques de	
pente faible à nulle.....	114
2.2.3. Solums caractéristiques de la forêt morvandelle	121
2.3. Discussion	121
III - DEUXIEME SYNTHESE.....	125
A. Aspects méthodologiques	125
B. Signification biologique du résultat.....	126
QUATRIEME PARTIE ; SYNTHESE GENERALE	
I - Aspects méthodologiques	128
II - Synthèse de la végétation forestière morvandelle	128
A. Les différents niveaux d'intégration.....	128
B. Relations sol/végétation	130
1. Validité des unités homogènes	130
1.1. Groupes d'espèces indicatrices et niveau trophique.....	130
1.2. Groupes d'espèces indicatrices et niveau hydrique.....	139
1.3. Groupes d'espèces indicatrices et aspects dynamiques	140
1.4. Groupes de caractères stationnels.....	141
2. Relations entre unités floristiques et unités stationnelles élémentaires.	141
2.1. Typologie des relations.....	141
2.2. Transects synthétiques.....	143
2.3. Catalogue des types de stations forestières (Volume annexe)	143
2.4. Développements complémentaires de la méthode et limites	149
2.4.1. Phytosociologie :	149
Relation avec le concept de "syntaxon élémentaire" :.....	149
Déterminisme des nouveaux syntaxons.....	149
2.4.2. Phytoécologie.....	150
3. Tableau récapitulatif	154
4. Discussion.....	154
CONCLUSION GENERALE	164
BIBLIOGRAPHIE.....	167
ANNEXES.....	174

TABLE DES CARTES

Carte 1 : Carte des secteurs écologiques	7
Carte 2 : Extrait du plan d'échantillonnage	10

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Courbe de répartition des altitudes en Morvan	8
Figure 2 : Identification des variables pour l'approche floristique	18
Figure 3 : Schéma du plan factoriel 1/2 (projection totale des individus)	39
Figure 4 : Structuration écologique des communautés végétales d'après le niveau trophique.....	43
Figure 5 : Distribution des classes de l'analyse avec l'abondance-dominance sur l'axe 1	54
Figure 6 : Relations entre unités phytosociologiques et espèces indicatrices des forêts acidiphiles	61
Figure 7 : Relations entre unités phytosociologiques et espèces indicatrices des forêts neutroclines	71
Figure 9 : Le rattachement d'un solum au référentiel	95
Figure 10 : Identification des communautés végétales.....	95
Figure 11 : Sélection des variables pour l'approche écologique	96
Figure 12 : Schéma de l'arbre hiérarchique	102
Figure 13 : Histogrammes de fréquences des variables intrinsèques	111
Figure 14 : Histogrammes de fréquences des variables extrinsèques.....	112
Figure 15 : Histogrammes de fréquences des variables intrinsèques	116
Figure 16 : Histogrammes de fréquences des variables extrinsèques.....	117
Figure 17 : Distribution et variabilité des solums humifères issus de roches volcaniques	120
Figure 18 : Algorithme méthodologique	128
Figure 19 : Etat du complexe adsorbant des solums-types.....	129
Figure 20 : Principaux paramètres chimiques des solums	136
Figure 21 : Déterminisme des forêts acidiphiles	144
Figure 22 : Déterminisme des forêts neutroclines.....	145
Figure 23 : Transects types des forêts du morvan.....	146
Figure 24 : Distribution des forêts sur roches volcaniques	152
Figure 25 : Fréquence des unités floristiques pour les modalités topographiques et géologiques	155

TABLE DES GRAPHES

GRAPHE 1 : Projection totale des variables principales (espèces) dans le plan factoriel 1/2.	28
GRAPHE 2 : Projection des variables supplémentaires (écologiques) dans le plan factoriel 1/2.	29
GRAPHE 3 : Projection des 50 variables principales (espèces) les mieux corrélées aux axes 1 et 2.....	31
GRAPHE 4 : Projection totale des individus (relevés) dans le plan factoriel 1/2.	34
GRAPHE 5 : Projection des 50 individus (relevés) les mieux corrélés aux axes 1 et 2.	36
GRAPHE 6 : Projection des 100 individus (relevés) les mieux corrélés aux axes 1 et 2.	37

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I : Récapitulatif des codes des variables floristiques utilisés pour le calcul	12
Tableau II : Bilan du plan d'échantillonnage	24
Tableau III : Les unités floristiques mises en évidence dans la partition	42
Tableau IV-1: Classes issues de la partition avec toutes les espèces actives.....	46
Tableau IV-2 : Classes issues de la partition avec les espèces arborescentes actives.....	48
Tableau IV-3 : Classes issues de la partition avec les espèces arbustives et herbacées actives	50
Tableau V : Tableau phytoécologique des forêts acidiphiles.....	57
Tableau VI : Tableau phytosociologique des forêts acidiphiles	59
Tableau VII : Tableaux phytosociologique et phytoécologique des forêts acidiphiles humides	62
Tableau VIII : Essences structurant le couvert des forêts acidiphiles	56
Tableau IX : Tableau phytoécologique des forêts neutroclines.....	65
Tableau X : Essences structurant le couvert des forêts neutroclines	64
Tableau XI : Tableau phytosociologique des forêts neutroclines mésophiles à fraîches	69
Tableau XII : Tableau phytosociologique des forêts neutroclines très fraîches à mésohygrophiles.....	70
Tableau XIII : Syntaxonomie des forêts neutroclines.....	68
Tableau XIV : Tableau phytoécologique des forêts de Châtaignier.....	74
Tableau XV : Tableau phytoécologique des hêtraies montagnardes	76
Tableau XVI : Tableau des hêtraies montagnardes acidiphiles	80
Tableau XVII : Tableau des hêtraies montagnardes acidiclinales	81
Tableau XVIII : Tableau phytoécologique des forêts marécageuses.....	85
Tableau XIX : Variables écologiques.....	97
Tableau XX : Bilan du plan d'échantillonnage.....	99
Tableau XXI : Modalités écologiques caractéristiques des 20 classes de la partition	101
Tableau XXII : Principaux types de solums identifiés en Morvan par le R. P. F.	122
Tableau XXIII : Tableau floristique des forêts des solums humifères.....	151
Tableau XXIV : Unités fonctionnelles de la forêt du Morvan et types de stations	159

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE A : Projection totale des variables de l'analyse globale

ANNEXE B : Distribution des espèces les plus représentatives de la flore en fonction du type d'humus

ANNEXE C : Groupes d'espèces indicatrices

ANNEXE D : Forêts acidiphiles

ANNEXE E : Forêts neutroclines

ANNEXE F : Forêts de Chataignier

ANNEXE G : Résultats détaillés du calcul statistique (espèces et modalités caractéristiques)

ANNEXE H : Liste des variables utilisées dans les analyses

ANNEXE I : Localisation des relevés - Plateau de l'Artense - Massif Central (I.G.N., 2433E)

INTRODUCTION

Introduction :

L'étude des relations sol/végétation représente une préoccupation très ancienne, ainsi que le rappelle PENEL (1979). Ce sujet de recherche, loin d'être épuisé, a fait l'objet d'approches multiples, s'appuyant sur les caractéristiques physiques et biologiques du milieu. Parmi tous les thèmes abordés dans ce domaine, notre spécialisation nous a conduit jusqu'à présent à nous intéresser plus particulièrement à l'étude de la végétation en tant que compartiment biologique intégrateur des contraintes du milieu. La somme des travaux effectués dans ce domaine démontre en effet l'intérêt d'utiliser la connaissance des communautés végétales pour délimiter des surfaces où ensuite on peut étudier le fonctionnement des écosystèmes forestiers.

Les méthodes d'étude de la végétation peuvent être classées en deux grands groupes :

- les méthodes reposant sur l'analyse de critères floristiques;
- les méthodes utilisant des critères floristiques et écologiques.

Parmi les premières, nous citerons la phytosociologie dont l'objectif est de définir des unités de végétation, dans un premier temps, et de les classer dans un système hiérarchisé, dans un deuxième temps. Des relevés phytosociologiques sont effectués sur le terrain selon un plan d'échantillonnage peu élaboré, souvent intuitif. Le classement manuel ou statistique de ceux-ci conduit à l'identification d'unités floristiques (les syntaxons) rangées dans une classification hiérarchisée, le synsystème européen. Cette méthode est largement inspirée des concepts de la taxonomie.

Des développements récents (DE FOUCAULT, 1984), visant à formaliser cette démarche, mettent l'accent sur l'étude du déterminisme des syntaxons. C'est dans la définition de la phytosociologie, donnée par cet auteur, que nous trouvons le fondement réel de la méthode. "La végétation est un effet, la causalité tient essentiellement à l'ensemble F des facteurs écologiques, dynamiques et historiques". Les recherches phytosociologiques se consacrent à l'établissement d'une loi, naissant de la répétition absolue de la relation entre une cause et un effet à l'intérieur d'une aire géographique déterminée. Néanmoins, dans tous les travaux de ce type, on peut souligner ce paradoxe : si la plupart des auteurs expriment désormais le besoin impérieux d'appréhender le déterminisme des unités taxonomiques créées, ils mettent en oeuvre une démarche souvent sommaire et rarement formalisée pour l'étude des caractéristiques du milieu (il en est de même pour la dynamique de la végétation).

En revanche, les approches floristico-écologiques sont toutes orientées dans le sens d'une meilleure intégration des éléments descriptifs du milieu dans le raisonnement. Leur objet est de définir des types d'écosystèmes, chaque type résultant du rapprochement d'unités élémentaires à fonctionnement proche. L'outil employé ou relevé phytoécologique décrit à la fois la végétation et son environnement. La typologie forestière, établissant des types de stations forestières, s'inscrit parmi ces approches. La définition de la station forestière actuellement retenue est la suivante : "C'est une étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions écologiques (topographie, mésoclimat, composition floristique et structure de la végétation spontanée, sol). Une station forestière justifie, pour une essence déterminée, une sylviculture précise avec laquelle on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues."

Notre travail de recherche est consacré à l'étude des relations sol / végétation dans les forêts du Morvan dans le but, d'une part, d'élaborer le catalogue des types de stations forestières et, d'autre part, d'approfondir la connaissance du déterminisme des unités constitutives de la végétation. Il est clair que si la méthode de typologie a été construite dans une optique sylvicole, il n'en reste pas

moins que la mise en application de ses principes de base nous semble offrir des conditions très intéressantes pour réaliser une étude floristico-écologique précise et détaillée.

Nous avons donc pris le risque d'appliquer une méthode classique en raison de sa fécondité dans l'apport d'informations écologiques et des champs d'investigation non explorés qu'elle offre.

Plusieurs arguments viennent justifier l'intérêt du choix effectué. Seul massif cristallin de la Bourgogne, le Morvan est assez bien connu sous l'angle floristique. Les connaissances acquises sur le cadre physique sont moins complètes et laissent apparaître une relative complexité du milieu.

Ce massif n'est couvert que par quelques feuilles géologiques au 1/50.000ème. Les documents pédologiques sont rares. Il existe une seule carte des sols au 1/100.000ème et une au 1/25.000ème qui concerne trois massifs forestiers (Saint-Prix, Glenne, Anost). Toutes ces connaissances, bien que très utiles, demandent à être précisées et reliées entre elles, afin de mieux comprendre la structuration écologique de la forêt morvandelle.

Les typologies forestières consacrées à des régions possédant un substrat géologique cristallin sont peu nombreuses en France. Il y a donc un attrait supplémentaire à réaliser une étude phytoécologique à une échelle plus fine que celle proposée par les documents cartographiques disponibles.

Sur le plan méthodologique, notre démarche utilise comme base les travaux élaborés par la Commission de typologie forestière. Nous bénéficions ainsi d'un ensemble d'expériences ayant permis la mise au point d'outils mis à l'épreuve dans de nombreuses régions (travaux du Laboratoire de Phytoécologie de l'E.N.G.R.E.F.). Nous nous sommes livré à un approfondissement méthodologique des différentes étapes de cette approche, que nous rappelons ci-après :

- réalisation d'une préétude,
- construction d'un plan d'échantillonnage stratifié,
- prospection sur le terrain,
- analyse des données,
- structuration écologique.

Dans un premier chapitre, après une présentation synthétique du massif du MORVAN, nous aborderons les aspects méthodologiques généraux afin d'examiner en détail les modalités d'application de la méthode de typologie forestière, en insistant en particulier sur les deux premières étapes : la réalisation de la préétude et l'élaboration du plan d'échantillonnage.

Un deuxième chapitre sera consacré à l'étude de la végétation. Une étude floristique de la totalité des relevés effectués nous permettra d'établir le lien avec la classification phytosociologique et de réaliser un premier tri des unités de végétation constitutives de la forêt morvandelle. Plusieurs analyses des sous-ensembles de l'échantillon total isolés auparavant s'appuyant sur des critères phytoécologiques seront utilisées pour parvenir à une structuration écologique de ces unités.

Dans un troisième chapitre, une analyse reposant exclusivement sur les caractères stationnels sera mise en oeuvre afin de préciser la structuration établie. En exploitant de manière approfondie les données édaphiques notamment, nous tenterons d'intégrer les conceptions nouvelles de la science du sol et de compléter les connaissances acquises au sujet de la couverture pédologique du massif.

Le dernier chapitre proposera une mise en relation des résultats obtenus. Il fournira une vue synthétique des relations sol/végétation qui devrait améliorer l'appréhension du déterminisme des unités de végétation forestière du MORVAN.

Enfin, nous avons jugé utile de joindre, dans un volume annexe, le catalogue des types de stations forestières, retombée appliquée résultant d'un effort important de vulgarisation et de mise en forme des résultats de cette recherche. Ceci nous permet d'écourter le propos descriptif en renvoyant le lecteur au volume annexe chaque fois que le besoin de précision se fera sentir.

PREMIERE PARTIE

REGION ETUDIEE

ET ASPECTS METHODOLOGIQUES GENERAUX

I - Région étudiée :

Notre recherche phytoécologique s'intéresse au massif du Morvan, petite montagne qui est située en région Bourgogne et s'étend sur quatre départements : Nièvre, Saône-et-Loire, Yonne et Côte-d'Or.

Une description précise du massif est fournie dans le catalogue des types de stations forestières (volume annexe). Celle-ci résulte d'une synthèse de la prétude réalisée par BRICAULT (1986), augmentée de compléments bibliographiques, concernant la géologie en particulier.

II - Aspects méthodologiques généraux

A. Remarques préliminaires

La méthode phytoécologique préconisée pour la typologie impose le franchissement de plusieurs étapes rappelées en introduction. Cette partie en aborde les deux premières : la prétude et le plan d'échantillonnage.

Après avoir choisi une région assez homogène sur le plan des conditions de milieu, il est indispensable de réaliser une **prétude** qui a pour but de cerner une grande partie de la variabilité des facteurs écologiques. Le **plan d'échantillonnage** oriente de façon optimale la répartition des relevés.

Cependant nous avons pu constater que la plupart des études phytoécologiques, utilisant une approche floristico-écologique, ne présentent pas ces deux étapes. Plusieurs arguments nous ont conduit à insister sur ces aspects originaux de la méthode de typologie forestière :

- ils font partie intégrante de la démarche scientifique et constituent un élément fondamental pour l'élaboration et la compréhension des résultats;
- nous pensons que l'absence de leur présentation est d'autant plus regrettable que la majorité des auteurs pratiquent couramment les analyses statistiques;
- en outre, dans chaque nouvelle région, une adaptation des principes de base de la typologie est nécessaire, ce qui confère à la démarche un caractère expérimental. Rappelons que peu de régions cristallines ont fait l'objet de recherches semblables.

En ce qui concerne les méthodes floristiques, il est à noter qu'elles n'indiquent que rarement le plan d'échantillonnage adopté et que la plupart d'entre elles ne bénéficient pas d'études préliminaires de la région intéressée. Il sera donc difficile de situer notre choix méthodologique sur ce plan par rapport aux travaux publiés. Nous nous limiterons à signaler les principales divergences avec la technique d'échantillonnage des phytosociologues, comme nous le verrons plus loin.

Enfin, la présentation du plan d'échantillonnage fournira aussi une image synthétique des caractéristiques physiques du massif du Morvan (*).

(*) Pour plus de détails, se reporter au volume annexe.

B. La préétude

Dans un premier temps, la **préétude** permet de dresser un bilan complet des connaissances acquises sur la région étudiée. L'information rassemblée concerne à la fois les facteurs abiotiques et biotiques, le cadre physique et les aspects historiques. Il est alors possible d'identifier clairement les facteurs prépondérants pour la répartition des différentes unités floristiques et des sols; puis de les ordonner selon leur importance dans la structuration écologique; enfin, de procéder à une représentation cartographique de la variabilité enregistrée.

Pour le Morvan, BRICAULT (1986) a réalisé une synthèse très complète, qui comporte une étude du cadre physique (climat, géologie, morphologie, topographie) et retrace, d'une part, l'historique de l'évolution des cortèges floristiques et, d'autre part, l'influence des activités humaines sur la forêt.

Parmi les conclusions de la préétude, nous retenons :

- la présence d'un compartiment d'altitude peu étendu en Morvan, mais au niveau duquel sont remarquées quelques nuances affectant le macroclimat (précipitation fortes notamment, voir document annexe);
- l'existence de substrats géologiques assez divers, constituant des unités bien isolées géographiquement;
- la présence d'une végétation forestière profondément modifiée par l'action de l'homme.

C. Le plan d'échantillonnage

Les méthodes floristiques ne proposent pas de plan d'échantillonnage formalisé. La seule réflexion qui porte sur les facteurs écologiques prépondérants se situe directement au niveau de la prise de données sur le terrain, comme nous le verrons plus loin. L'échantillon se compose de points isolés, disposés selon une maille large de façon à couvrir l'ensemble de la région concernée en s'appuyant sur la diversité des communautés végétales.

Pour la méthode floristico-écologique, la construction d'un **plan d'échantillonnage** constitue une étape fondamentale. Il nécessite la réalisation d'une préétude qui fournit une connaissance précise de la variabilité des facteurs écologiques et des grands traits de la végétation. La prospection est orientée d'après ces deux ensembles de critères de façon à prendre en compte toute la variabilité mise en évidence. Une première opération consiste à découper l'aire d'étude en secteurs, à l'intérieur desquels les variations pour un même caractère stationnel sont faibles.

Nous présentons ci-après la stratification adoptée sur le massif du Morvan, d'après la préétude de BRICAULT (1986, op. cit.).

Le rôle prépondérant de la nature du substratum sur les autres facteurs du milieu impose l'établissement de subdivisions de l'aire dans le but d'isoler des petites régions possédant un sous-sol homogène. Ceci constitue le niveau supérieur de la hiérarchisation des facteurs écologiques.

1. Substrat géologique

La nature des différentes roches rencontrées exerce une influence déterminante sur la géomorphologie et les sols. Nous pouvons reconnaître plusieurs ensembles de substrats géologiques bien délimités géographiquement, soit d'après SEDDOH, (1973) :

- deux batholites granitiques,
- des zones bien circonscrites de roches métamorphiques (gneiss, micachistes, ...),
- des zones complexes, au contour très irrégulier, de nature volcanique (Viséen inf. et supérieur),
- des couvertures de substrats sédimentaires silicifiés en discordance sur les formations citées précédemment, souvent mal distinguées des placages de limons de plateau (carte d'AVALLON 50.000 ème).

2. Géomorphologie

A l'intérieur de chaque "unité géologique", les géographes signalent l'existence de formes caractéristiques du relief. Celles-ci sont la résultante de l'action ancienne du climat sur le substrat géologique, qui a subi lui-même des mouvements tectoniques assez importants. BEAUJEU-GARNIER (1951) a divisé le massif en petites régions de relief homogène, qui correspondent à des nuances existant dans l'intensité de l'altération des roches. Ces variations permettent d'interpréter le modelé topographique.

Ainsi, nous introduisons un deuxième facteur montrant une variabilité non négligeable au sein de chaque petite région de substrat géologique homogène : la variabilité géomorphologique.

En superposant les facteurs 1 et 2 de notre hiérarchisation, nous obtenons un partage de la zone étudiée en "secteurs écologiques", nom utilisé par de nombreux auteurs pour désigner ces régions homogènes.

Cependant, les similitudes observées entre certaines petites régions nous ont amené à opérer des regroupements dans des unités communes (**Carte 1**).

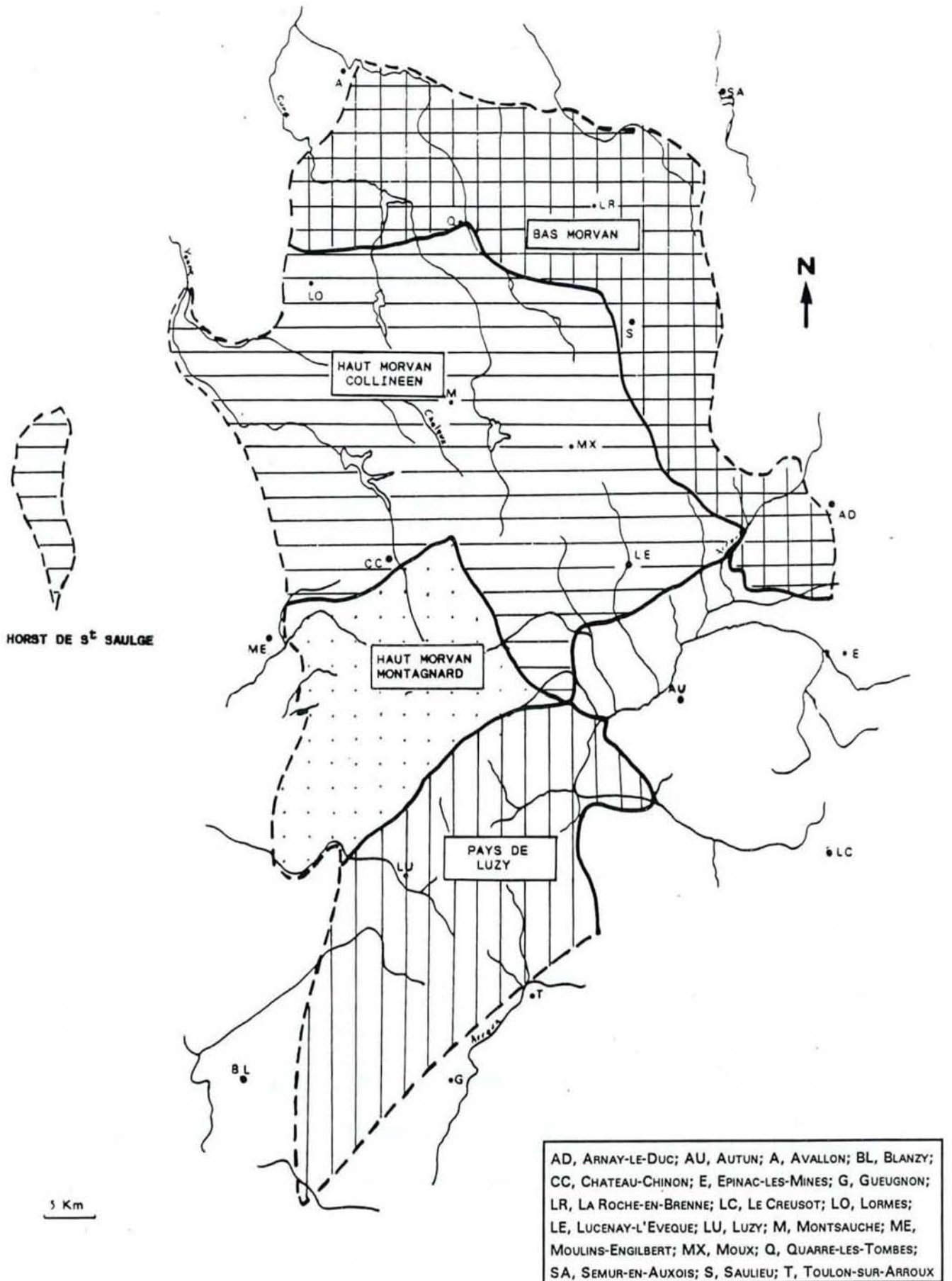
3. Variabilité du milieu à l'intérieur des secteurs écologiques

3.1. Climat

Le massif étudié se distingue nettement des régions naturelles avoisinantes (voir **volume annexe, carte 3**), par son macroclimat. Défini comme un élément essentiel de la personnalité du Morvan, le climat est celui d'une moyenne montagne océanique (J.P. CHABIN, 1985). En l'absence de barrières topographiques efficaces et de mesures exactes pour les sommets les plus élevés, nous n'avons pas pu établir un zonage distinguant les nuances signalées dans les publications climatologiques. Le découpage en secteurs climatiques, tenté dans d'autres régions (FRANC, 1986) n'a pu être réalisé dans notre cas. J. BONNAMOUR (1966) a dressé une courbe de répartition des altitudes pour le massif (**Fig.1**). On y remarque une très faible proportion d'altitudes élevées. Le compartiment le plus élevé ne possède qu'une faible superficie de terrains situés à plus de 700 m d'altitude.

Cependant l'examen des diagrammes ombrothermiques et ombriques fait apparaître :

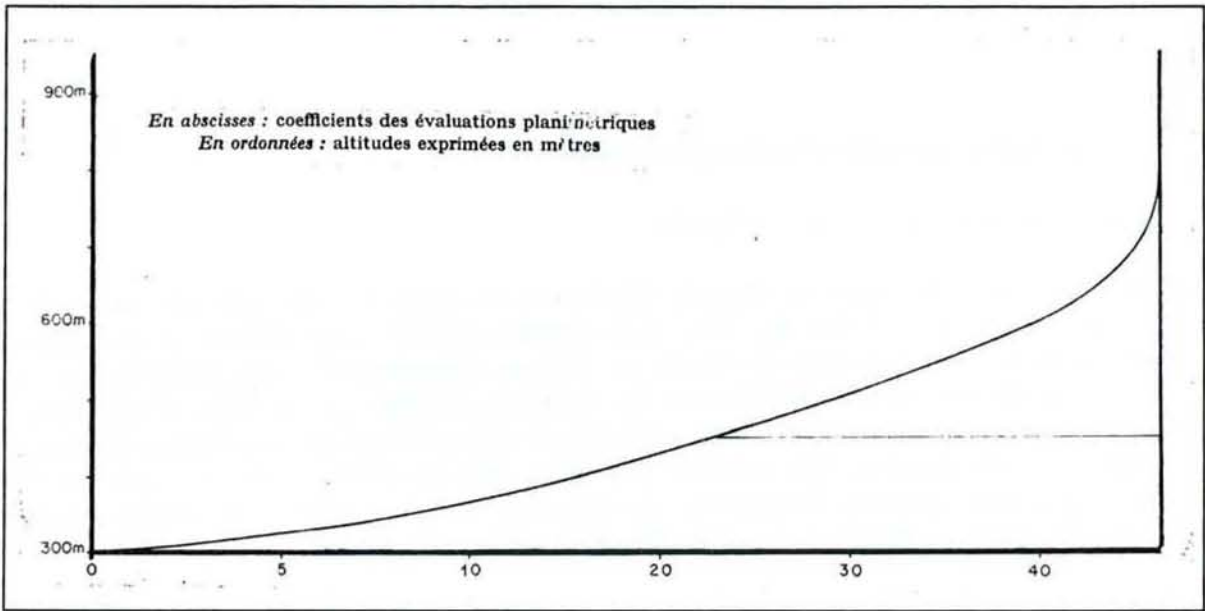
Carte 1 : Carte des secteurs écologiques



- des variations du régime des précipitations qui décroissent de l'ouest vers l'est (voir fig.2, volume annexe);
- une augmentation forte de celles-ci sur le compartiment le plus élevé. Bien que limitée, la variation d'altitude influence la distribution de certaines espèces arborescentes notamment *Quercus petraea*, *Carpinus betulus*, ...

En conséquence, il est nécessaire de prendre en compte la situation géographique et l'altitude (voir § 3.3) dans la répartition des relevés sur l'aire à étudier.

Figure 1 : Courbe de répartition des altitudes en Morvan (in BONNAMOUR, 66)



A l'intérieur des "secteurs écologiques", quatre facteurs stationnels viennent nuancer la relative homogénéité du milieu atteinte par le milieu. La variabilité de ceux-ci est prise en compte en réalisant des transects qui sont des itinéraires rectilignes de prospection permettant de recouper la diversité correspondant aux variations de chacun de ces facteurs.

3.2. Topographie

Dans chaque petite région, le modelé a été décomposé en une suite de positions topographiques bien distinctes identifiées par la forme générale de la pente (volume annexe , Fig.7).

3.3. Altitude

Malgré la faiblesse des surfaces forestières situées en altitude, un effort d'échantillonnage a été porté sur les trois sommets les plus élevés (Haut-Folin, 900 m; Mont Préneley, 855 m; Mont Beuvray, 821 m). C'est par le biais des transects effectués que le gradient altitudinal a été pris en compte.

3.4. Exposition

Afin d'exprimer les nuances mésoclimatiques générées par l'orientation des versants, lorsque la valeur de la pente n'est pas négligeable, des transects ont été pratiqués pour tous les types d'exposition. La variable "bilan hydrique" représente une intégration de ces paramètres stationnels.

3.5. Pente

La valeur de la pente de l'aire de relevé influence les conditions stationnelles. Nous avons réparti les transects de façon à représenter les différentes classes de pente ainsi que J. BONNAMOUR (op. cit.) a pu les mettre en évidence (volume annexe, **Tab. II**).

Enfin, au niveau inférieur de notre stratification, s'inscrit la **station forestière**, "objet" élémentaire de la typologie

D. Application du plan d'échantillonnage

1. Choix des surfaces à inventorier

Dans la pratique, les facteurs écologiques représentant les strates de rang supérieur sont portés sur les cartes I.G.N. au 1/25.000ème. Puis, dans chaque sous-unité géographique, les transects sont disposés de manière à prendre en compte les facteurs écologiques de rang inférieur dans notre hiérarchisation (§ 4), en envisageant toutes les variations possibles (type de pente, d'exposition,...). Ces transects, positionnés sur la carte au 1/25.000ème sont complétés par des placettes uniques (non incluses dans un transect). Ces dernières sont utiles dans les milieux isolés (exemple des forêts riveraines situées en zones de prairies), ou bien dans les petits massifs des régions les moins boisées. La **carte 2** présente un extrait du plan d'échantillonnage.

Ce plan d'échantillonnage a été appliqué pour tous les massifs forestiers du Morvan (privés ou publics). Quelques restrictions ont été cependant apportées. En effet, dans le cas des plantations d'essences de remplacement, la flore naturelle se trouve éliminée par les conditions de milieu très perturbées surtout en ce qui concerne les horizons supérieurs des sols (humus). Le relevé phytoécologique n'a plus de signification dans ces conditions. Seules les forêts feuillues naturelles et les plantations résineuses adultes ont été visitées (pessières, sapinières, quelques douglasaies ...). Toutes les plantations jeunes ont été exclues. Ceci explique également l'existence d'un nombre assez important de transects tronqués, en raison de la modification des peuplements par les aménagements sylvicoles.

Enfin, sur le terrain, lors de l'observation de situations originales (microtopographie, milieux très localisés) des transects et des placettes isolées, non prévus dans l'échantillonnage, peuvent être visités.

2. Choix de l'emplacement du relevé

Chaque transect est un cheminement linéaire le long duquel sont réalisés des relevés, en nombre variable, qui sont répartis de deux manières différentes. Les relevés sont effectués :

- lorsque des changements floristiques apparaissent;

Carte 2 : Extrait du plan d'échantillonnage



- lors de changements pédologiques ou géomorphologiques apparents;
- de manière systématique dans chaque position topographique, afin de rechercher d'éventuelles modifications des paramètres stationnels, non révélées par la flore.

L'emplacement du relevé est choisi au sein d'une surface homogène sur le plan floristique et écologique. Les accidents naturels du terrain et les éléments d'artificialisation sont évités. Tous les secteurs perturbés sont exclus (bord de chemin, talus, chemins anciens, places à feu...).

D'une manière générale, il est utile d'effectuer des reconnaissances dans des situations latérales au cheminement suivi afin de tester dans l'espace l'homogénéité de la station inventoriée et de décrire ou noter les nuances éventuellement rencontrées.

3. Le relevé phytoécologique

Nous empruntons à la phytosociologie la méthode classique du relevé de végétation. La description de la végétation forestière s'effectue sur une surface de 400 m²,

- carrée, lorsque la surface de l'unité visitée le permet,
- rectangulaire dans les forêts riveraines et autres milieux localisés linéaires (forte pente).

La représentation des espèces est quantifiée avec le coefficient d'abondance-dominance de BRAUN-BLANQUET (*). Le recouvrement global de chaque strate (arborescente, arbustive, herbacée et muscinale) est noté.

Sur la même surface s'effectue l'évaluation des facteurs écologiques de rang supérieur. Il est impératif de vérifier à chaque relevé la nature du substrat géologique, de préciser la situation topographique. Ceci permet de compléter ou de corriger éventuellement l'information fournie par les cartes. Enfin, pour récolter les données les plus fiables, il est nécessaire aussi d'étalonner les observations (pédologiques, géologiques...) sur les résultats des travaux scientifiques déjà publiés ou bien au cours d'échanges avec les spécialistes des disciplines concernées.

Le sol est reconnu à l'aide d'une fosse pratiquée à la pioche au centre de l'aire de relevé. La litière est observée en différents points. L'étude du profil reste ponctuelle. En l'absence d'obstacle au creusement, la profondeur maximale est atteinte afin d'observer, si possible, la base de l'enracinement des arbres et la roche altérée.

E. Analyse de l'information récoltée

1. Mode opératoire

A l'issue de la campagne de prospection sur le terrain, nous disposons d'une somme de relevés phytoécologiques qui comprennent un ensemble de variables affectées de coefficients ou de valeurs caractéristiques :

- des variables floristiques, les espèces végétales,
- des variables écologiques, les descripteurs des conditions stationnelles.

* Voir pièces annexes du deuxième volume.

La quantité de données récoltées et le nombre des variables enregistrées nécessitent la mise en oeuvre de traitements statistiques pour effectuer un tri.

Une opération préalable consiste en une saisie de l'information sur machine qui comprend un codage de toutes les données récoltées afin de les rendre utilisables pour les calculs.

Les analyses établissent des comparaisons entre les relevés sur la base de leur composition floristique ou de leurs caractéristiques stationnelles. Elles proposent des regroupements de ceux-ci d'après leur ressemblance mutuelle.

2. Codage de l'information :

La représentation des espèces est codifiée à l'aide de deux coefficients :

- l'**Abondance-Dominance**, échelle à 6 valeurs, quantifiant l'abondance des individus d'une espèce ou le recouvrement au sol de celle-ci. L'absence étant représentée par la valeur 0;
- la **Présence-Absence** des espèces, où le coefficient affecté à chaque espèce, présente sur la placette, est la valeur 1, quelle que soit son "Abondance-Dominance". Il est déduit de la valeur du coefficient précédent.

Les variables écologiques sont codées de même avec une valeur affectée à chacune de leur modalité. Ces modalités représentent les différents "états" pris par chacune des variables sur les placettes étudiées. Ex : la variable "substrat géologique" prend plusieurs valeurs de type "granite", "gneiss"..

L'exposition est codée selon huit orientations principales et une valeur nulle.

Cette masse de données constitue l'échantillon total, d'où nous tirerons les extraits successifs nécessaires à la mise en application de notre méthode.

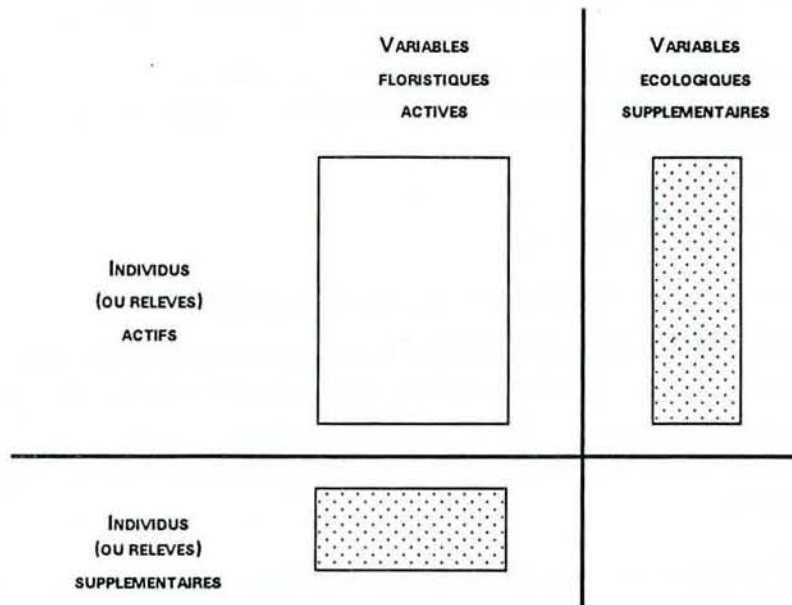
Tableau I : Récapitulatif des codes des variables floristiques utilisés pour le calcul .

METHODE	COEFFICIENTS						
ABONDANCE-DOMINANCE	0	+	1	2	3	4	5
CODE	0	1	2	3	4	5	6
PRESENCE-ABSENCE	0	1					
CODE	0	1					

3. Principe d'analyse

Plusieurs voies sont explorées par la suite. Un court schéma présente le relevé phytoécologique transcrit dans une disposition-type utilisable pour les calculs statistiques (Fig.2).

Figure 2 : Identification des variables pour l'approche floristique (pour exemple)



Dans l'exemple de la figure 2, les variables floristiques sont "actives" dans l'analyse et les variables écologiques, "illustratives" ou "supplémentaires", n'interviennent pas dans les calculs.

Des individus supplémentaires sont sélectionnés lorsqu'ils présentent à la fois un degré d'artificialisation non négligeable et une information potentielle intéressante. Ceci offre la possibilité de les positionner parmi les relevés "actifs" en évitant leur influence sur le calcul.

3.1. Analyse factorielle des correspondances (A.F.C.)

L'A.F.C. binaire est appliquée aux tableaux de contingence, soit dans notre étude, à la matrice dans laquelle les espèces sont codées selon leur présence (ou leur absence). L'A.F.C. multiple sera utilisée pour les tableaux de variables discrètes (qualitatives) représentées par leurs modalités.

Dans les deux cas, la matrice espèces/relevés constituée donne la possibilité de construire des nuages de points représentatifs des E espèces dans un espace à R (relevés) dimensions ou de R relevés dans espace à E (espèces) dimensions, d'après la distance statistique :

- entre deux relevés en considérant les fréquences (coefficients) des espèces inventoriées,
- entre deux espèces en considérant leurs fréquences dans tous les relevés où elles sont présentes,
- entre une espèce et un relevé.

A l'intérieur des nuages obtenus, il est possible de calculer les coordonnées de ces points par rapport à des axes factoriels principaux. Les points peuvent alors être projetés dans plusieurs repères normés, déterminant chacun un plan factoriel. Les coordonnées des variables écologiques sont calculées d'après leur fréquence dans les relevés et sont projetées dans les mêmes plans factoriels.

Les axes factoriels sont des "résumés" de l'information contenue dans le tableau de départ et leur signification est donnée par les groupes d'espèces ou de relevés qui leur sont le plus liés.

Le principe s'applique de même pour les modalités des variables qualitatives.

3.2. Classification hiérarchique ascendante (C.H.A.)

La Classification Hiérarchique Ascendante utilise les coordonnées factorielles (obtenue par l'analyse précédente) des relevés. Partant d'un ensemble d'individus (les relevés) équivalent à la somme de l'échantillonnage, elle fractionne cet ensemble "aîné" en sous-ensembles "fils" estimés voisins avec un seuil de probabilité croissant, jusqu'à aboutir à l'unité, soit le relevé.

Le résultat est un arbre hiérarchique, composé de grappes de relevés de taille très variable et plus ou moins homogènes. Des coupures profondes entre les grappes les plus dissemblables sont proposées. Les grappes de relevés du niveau inférieur sont les plus homogènes du point de vue de la composition floristique.

3.3. Partitions

A la suite de notre enchaînement AFC + CHA, nous effectuons une partition. Celle-ci est utilisée pour optimiser les coupures à pratiquer au sein de l'échantillon traité. Elle consolide les groupes de relevés séparés par la C.H.A.

Dans la pratique, c'est sur la base des paramètres statistiques fournis par la classification (Indices de niveau) que le nombre de partitions désirées est fixé. L'algorithme recherche les coupures correspondantes, compare à nouveau les relevés entre eux et optimise le contenu des groupes de relevés proposés par la CHA.

On obtient ainsi un découpage automatique de l'arbre hiérarchique, éliminant certains artefacts dans le regroupement des relevés dans les grappes. Une caractérisation complète des classes et des variables les mieux corrélées à celles-ci peut alors être effectuée.

Après cette présentation générale du principe général d'analyse, pour chaque étape de traitement d'échantillonnage, les paramètres utilisés seront définis, leur choix justifié.

DEUXIEME PARTIE



EXPLOITATION DES DONNEES FLORISTIQUES

I - Introduction

Le Morvan constitue un vaste ensemble forestier qui montre une certaine hétérogénéité à l'échelle de travail choisie. Le but principal de cette recherche est de parvenir à structurer ce massif en types d'écosystèmes à fonctionnement propre.

A cette fin, rappelons d'abord que nous avons recueilli dans nos relevés des données floristiques et écologiques (stationnelles). Parmi celles-ci, nous traiterons dans cette partie l'information concernant les espèces et les communautés végétales.

Deux voies s'offrent à nous pour réaliser cette analyse. En effet, la problématique spécifique à l'analyse des données floristiques se pose de deux manières différentes selon que l'on s'adresse à l'une ou à l'autre des méthodes que nous avons rappelées en introduction générale. Nous allons les envisager successivement.

En premier lieu s'impose, l'analyse de la composition en espèces des relevés. Ceci relève de l'approche phytosociologique classique. La phytosociologie repose sur un postulat : "La végétation est le reflet de toutes les conditions qui règnent dans un milieu". Nous trouvons dans la première partie de la thèse de DE FOUCAULT (1984) une présentation de cette méthode : "La phytosociologie sigmatiste vise d'abord la description de *formes* que sont les *individus d'association*; ce programme sera rempli en deux étapes essentielles, analytique dans un premier temps, synthétique dans le second. Le résultat est la classification des formes en *catégories abstraites* portant le nom d'*associations végétales* et dont on peut préciser la *causalité* ou *déterminisme*. Une synthèse plus vaste vise à comparer ces catégories et à les ordonner en *systèmes hiérarchiques*".

Il est donc nécessaire de réaliser un grand nombre de relevés pour rendre compte de la diversité des situations naturelles, puis de les ranger en catégories. Un ensemble de relevés ayant des espèces communes constitue une catégorie. Deux catégories fondamentales sont actuellement reconnues. Jusqu'aux travaux de l'auteur précité, il existait une *catégorie fondamentale*, l'*association* définie par GUINOCHET (1973). "Une association est une *combinaison originale* d'espèces dont certaines, dites caractéristiques, lui sont plus particulièrement liées, les autres étant qualifiées de compagnes". DE FOUCAULT dans sa tentative de formalisation introduit le concept de *syntaxon élémentaire*, nouvelle unité fondamentale. RAMEAU (1987) résume les principaux éléments de la définition. Le syntaxon élémentaire est la plus petite unité floristiquement homogène qui peut être individualisée en sociologie végétale et qui possède des propriétés particulières. Elle est décrite dans un tableau homogène. Elle est définie statistiquement et floristiquement :

- par la répétitivité de la combinaison floristique,
- par rapport aux autres syntaxons élémentaires par des espèces différentielles,
- et lorsque son déterminisme est connu (facteurs écologiques, dynamiques et historiques).

Notons que dans cette approche, nous ne trouvons aucune base théorique relative à l'appréhension du déterminisme des syntaxons.

La méthode phytoécologique impose l'utilisation de critères floristiques et de données écologiques stationnelles. Elle a été développée en vue d'applications en typologie forestière et repose sur le concept de station forestière. La station forestière est définie comme une *étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions écologiques*. Elle justifie une sylviculture précise avec laquelle on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues, pour une essence donnée.

La définition nous indique que ce concept, outre son côté descriptif, s'appuie sur le fonctionnement de l'écosystème forestier notamment sur l'un des aspects essentiels, la production ligneuse. Nous nous intéresserons à la première partie de cette définition qui concerne la définition des unités floristiques et les groupes de caractères stationnels auxquels elles sont liées.

Il est clair que, dans l'esprit, cette méthode ne diverge pas de la phytosociologie. Mais si le rôle d'indicateur à valeur synthétique de la végétation y est toujours retenu, elle fournit les bases nécessaires pour le vérifier dans chaque région étudiée. Le traitement de l'information conduit à la délimitation de groupements végétaux dont on analyse finement l'écologie ensuite (RAMEAU, 1987, op. cit.), objet d'un deuxième traitement. Ceci revient plutôt à considérer le postulat de la phytosociologie comme une assertion devant être démontrée.

Pour la région étudiée, les principales connaissances acquises sur la flore et la végétation sont rassemblées dans deux synthèses phytosociologique (RAMEAU, 1985) et phytoécologique (BUGNON ET AL., 1985). Ces travaux proposent une structuration des unités de végétation, désormais admise par les différents auteurs, seule pouvant servir de base de départ à notre réflexion, mais dont la précision reste inférieure à celle que nous recherchons pour aborder les relations sol/végétation.

La délimitation de types d'écosystèmes à fonctionnement propre repose au départ sur une problématique qui concerne les deux méthodes prises en référence.

En premier lieu, dans les deux cas, il s'agit de définir des unités floristiques élémentaires, de rechercher les coupures optimales à effectuer dans un ensemble de données de départ afin d'obtenir des catégories homogènes sur le plan floristique.

L'intérêt de cette recherche se situe à différents niveaux. La taille importante de l'échantillon offre une description à une échelle plus fine que celle des travaux publiés, dans lesquels aucune analyse statistique n'a été réalisée.

D'après ce premier constat, il nous semble nécessaire de soumettre nos données à une analyse statistique afin de parvenir à isoler les unités floristiques élémentaires d'après les renseignements fournis par le calcul. Deux voies de synthèse seront empruntées.

Le but de cette étape est :

- d'examiner les liens entre les unités que nous avons relevées et celles de la classification établie, voire de vérifier la validité de cette dernière;
- d'apporter des compléments en précisant le statut de certaines unités forestières non encore bien définies (ex. hêtraie montagnarde acidiphile);
- globalement de mesurer la pertinence de l'information apportée par les relevés effectués dans les zones transitoires.

L'objectif des deux démarches est de parvenir à établir les discontinuités optimales. Dans le cas de la phytosociologie, nous essaierons de les mettre en évidence en utilisant comme éléments de comparaison les groupes d'espèces caractéristiques publiés dans les travaux qui portent sur la même végétation forestière. Pour l'approche phytoécologique, il s'agira de prendre en compte tous les types de discontinuités qui sont susceptibles d'être en relation avec les changements de situation stationnelles ou tout autre type de facteur écologique prépondérant entrant dans le déterminisme. Les unités ainsi isolées pourront être confrontées avec les groupes de caractères stationnels.

Sur le plan méthodologique, notre objectif est de parvenir à une formalisation des différentes étapes nécessaires au traitement de l'information. En phytosociologie sont utilisées classiquement deux méthodes de tri des relevés : le tri manuel et l'analyse statistique. Beaucoup de phytosociologues refusent l'outil statistique, prétendant qu'il n'amène pas à un meilleur niveau d'objectivité (DE FOUCAULT, 1984). Néanmoins, les premières applications statistiques exploratoires mises en oeuvre pour des recherches phytosociologiques servent de références à beaucoup de travaux (LACOSTE et ROUX, 1972; GUINOCHET, 1973). Depuis ces expériences pionnières, il semble que ces pratiques n'aient évolué que lentement. Des limites matérielles (capacité des ordinateurs) ont d'abord empêché le traitement des grands échantillons. Ces difficultés surmontées, la taille des tableaux de relevés s'est accrue. Les problèmes se sont alors reportés dans la phase d'interprétation des résultats. D'un point de vue général, aucun des aspects techniques de ces méthodes n'est décrit.

La lecture des travaux de typologies rassemblés en bibliographie nous amène à formuler plusieurs remarques :

- l'analyse des paramètres statistiques reste toujours très sommaire;
- les choix effectués pour l'interprétation des résultats ne sont pas clairement justifiés, en ce qui concerne la sélection des plans factoriels par exemple,
- de ce fait, le raisonnement est avant tout fondé sur les connaissances phytoécologiques.

Au moyen d'une simple exploitation graphique des résultats, la tentation est souvent forte de mettre en évidence des gradients intuitivement perçus sur le terrain.

Les nombreux travaux réalisés dans le Nord-Est de la France et en particulier au laboratoire de phytoécologie de l'E.N.G.R.E.F. ont permis des avancées importantes dans l'application des principes et dans la mise au point :

- d'un langage commun,
- d'une méthode de traitement de l'information cohérente avec les définitions utilisées.

Mais parmi l'éventail des traitements observés, il reste difficile de trouver une formalisation claire de la démarche pour cette étape méthodologique et il subsiste encore une part importante d'initiative dans l'adaptation des concepts de base et l'amélioration des outils déjà à disposition.

Dans notre approche floristico-écologique, nous partirons de la méthode de typologie forestière. Et nous rechercherons pour chaque étape du traitement, le mode d'exploitation qui permet de définir le plus clairement possible les unités floristiques reconnues et d'établir la liaison avec le langage et les outils déjà opérationnels dans le but d'un meilleur emploi futur de cette méthode.

II - Approche floristique

A.- Principe d'analyse

1. Echantillon

Parmi les résultats de notre étude préliminaire sur le massif (SIMONNOT, 1987, op. cit.), nous avons souligné les difficultés causées par l'existence de relevés de composition floristique très singulière (plantations résineuses) dans les traitements statistiques utilisés. Ceci nous a incité à les soustraire à l'analyse.

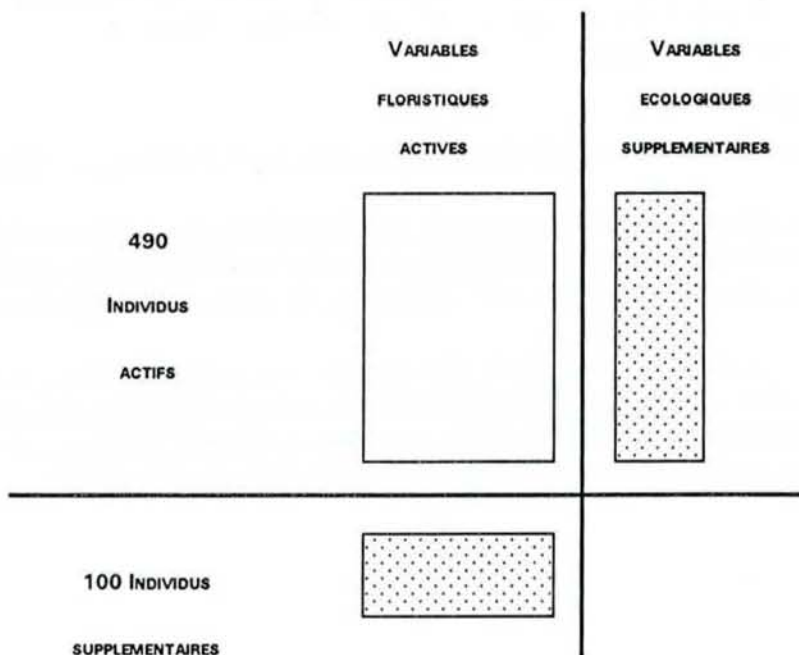
Nous avons retenu un ensemble de 490 relevés phytoécologiques concernant uniquement les peuplements feuillus.

2. Menu d'analyse

La première analyse globale porte sur le critère de Présence-Absence des espèces.

Les données sont traitées par une Analyse factorielle des Correspondances binaires. La sélection des variables pour le calcul est résumée dans la figure 2.

Figure 2 : Sélection des variables pour l'approche floristique.



3. Mode d'exploitation des résultats

Deux types de paramètres essentiels, fournis par l'analyse statistique, sont retenus pour l'interprétation du résultat :

- les valeurs propres et le taux d'inertie extrait aident à la sélection des axes apportant le plus d'information;
- les corrélations Espèces/Axes et Relevés/Axes, avec notamment la qualité de la représentation des espèces et des relevés (Cos^2), expliquent la signification des axes et l'ordination des relevés.

B.- Résultats et interprétation

1. Résultats

La lecture des paramètres énoncés précédemment nous amène à remarquer :

- deux premières valeurs propres élevées de 0,60 (F1) et 0,50 (F2), et un taux d'inertie important extrait du nuage par les deux premiers axes;
- un degré de signification intéressant de ces valeurs, puisqu'ont été écartés des calculs, les relevés à flore très modifiée (qui avaient été responsables d'un étirement important du nuage).

Nous pouvons ainsi faire le choix d'analyser le premier système d'axes obtenus en étant assuré de tirer de ce plan factoriel (F 1/F 2) une quantité d'information maximum.

Dans ce premier plan factoriel, on retrouve une image caractéristique de celles obtenues à l'issue du traitement des grands tableaux de données :

- une densité forte de points qui gêne la lecture;
- l'absence de discontinuités nettes n'offrant pas la possibilité d'isoler des groupes de variables ou d'individus;
- une différence avec les résultats obtenus au moyen d'un échantillonnage phytosociologique dont les relevés pratiqués dans des ensembles bien distincts d'après la composition floristique apparaissent toujours beaucoup mieux séparés dans le plan factoriel.

Il est donc impératif de débiter l'interprétation en n'utilisant au départ que les points à valeur informative la plus élevée et de rechercher parmi ceux-ci quels taxons appartiennent à des groupes caractéristiques des unités syntaxonomiques et quels relevés contiennent ces espèces. Nous avons employé des projections sélectives où ne sont représentés que les espèces et les relevés les plus liés aux axes.

2. Etude du plan factoriel 1/2

2.1. Projections des espèces (Annexe A).

Une des premières figures étudiées est la projection des 100 espèces possédant le Cos^2 le plus fort sur les axes 1/2, qui revêt un aspect beaucoup plus clair que la projection totale. Le résultat établi d'après les critères phytosociologiques fait apparaître sur l'AXE 1 :

au pôle négatif :

- un groupe de taxons comprenant des caractéristiques des *Alnetea glutinosae* et de l'*Alnion glutinosae* (*Betula pubescens*, *Alnus glutinosa*,...),
- un fort contingent d'espèces de l'*Alno-Padion* (*Polygonum bistorta*, *Chrysosplenium oppositifolium*, *Lycopus europaeus*, *Iris pseudoacorus*, *Ranunculus aconitifolius*, *Filipendula ulmaria*),

- des taxons communs aux deux alliances (*Lysimachia vulgaris*, *Angelica sylvestris*, *Cirsium palustre*, *Caltha palustris*),
- des compagnes nombreuses (*Poa trivialis*, *Viola palustris*),
- à l'extrémité de l'axe se situe un groupe de caractéristiques des milieux non forestiers, des alliances du *Molinion caeruleae* et du *Caricion canescenti-fuscae* (*Lychnis flos-cuculi*, *Succisa pratensis*, *Juncus acutiflorus*, *Carex echinata*, *Dactylorhiza maculata*).

au pôle positif :

- les espèces des *Fagetalia sylvaticae* et des *Quercetalia robori-petraeae*,
- à l'extrémité se trouvent les caractéristiques et différentielles des *Quercetalia robori-petraeae* et du *Quercion robori-petraeae* (*Pteridium aquilinum*, *Deschampsia flexuosa*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Melampyrum pratense*, *Calluna vulgaris*, *Carex pilulifera*).

Le noyau caractéristique des *Fagetalia sylvaticae*, positionné à proximité du point origine, est assez bien représenté (*Fraxinus excelsior*, *Paris quadrifolia*, *Viola sylvestris*, *Lamium galeobdolon*, *Galium odoratum*, *Dryopteris filix-mas*, *Primula elatior*, *Arum maculatum*). Les principales différentielles de l'Alliance du *Carpinion betuli* apparaissent en limite du groupe précédent (*Carpinus betulus*, *Stellaria holostea*).

L'AXE 2 oppose assez nettement les espèces des *Alnetea glutinosae*, d'une part, et des *Quercetalia robori-petraeae* (coordonnées négatives), d'autre part, aux espèces des *Fagetalia* et du *Carpinion betuli* (coordonnées positives).

2.2. Projection des relevés

Le même type de raisonnement que précédemment a été mené. Les 200 relevés les plus significatifs ont été projetés dans le plan factoriel 1/2. Ceci nous permet de constater l'évidence d'une distribution des points de relevés cohérente avec celle des espèces. Trois ensembles de points correspondent aux individus les plus représentatifs des unités systématiques dont les taxons caractéristiques nous ont révélé la présence :

- des forêts de l'*Alnion glutinosae* et de l'*Alno-Padion*, dispersées vers les coordonnées négatives de F 1 opposées à celles du *Quercion robori-petraeae* (coordonnées positives);
- des forêts de l'*Alnion glutinosae* et du *Quercion robori-petraeae* (coordonnées négatives de F 2) distinguées nettement de celles du *Carpinion betuli* situées à l'extrémité positive de F 2.

Ce choix de représentation graphique, nous indique une individualisation bien nette du *Quercion robori-petraeae* comme c'était déjà le cas pour les espèces qui le caractérisent. En revanche, les relevés de l'*Alnion glutinosae*, de l'*Alno-Padion* et du *Carpinion betuli* n'apparaissent pas isolés. Il est nécessaire de se reporter aux fiches de relevés pour établir une délimitation de ces unités.

C - Discussion

Le résultat offre un premier tri statistique des unités constitutives de la couverture forestière morvandelle et permet de resituer l'ensemble de nos relevés dans le synsystème. Notre choix d'interprétation met en relief la difficulté de n'utiliser que le résultat statistique pour identifier les unités phytosociologiques. En effet, les espèces les plus contributives se recensent parmi les groupes de taxons caractéristiques de tous les niveaux du synsystème (Classe, Ordre, Alliance), mais en très petit nombre.

Dans ces conditions, on peut s'interroger sur la valeur des nombreux autres éléments de la composition floristique et il semble impossible de rechercher à vérifier la validité des groupes d'espèces formés par les phytosociologues, pour notre région. Ceci est logique puisque le synsystème a été élaboré sur la base de milliers de relevés effectués dans toute l'Europe, le Morvan ne représentant qu'un sous-ensemble du cortège floristique global inventorié.

En nous en tenant à la signification des espèces caractéristiques et des relevés qui les contiennent, il est envisageable d'établir la relation avec la classification donnée dans la bibliographie. Néanmoins, il reste impossible de trouver dans notre ensemble les limites des unités mises en évidence.

En sélectionnant les espèces et les relevés qui contribuent le plus aux axes de l'analyse, c'est-à-dire en éliminant ceux à faible valeur contributive (zones intermédiaires), nous espérons mettre en relief les taxons les plus caractéristiques et retrouver la majeure partie des données servant de base au raisonnement sociologique. Or, nous avons vu que le nombre de caractéristiques à haute valeur statistique reste faible pour chaque unité. En abaissant le niveau de sélection, sont recrutés des variables ou des individus ubiquistes, donc moins caractéristiques au sens syntaxonomique.

Une première explication à ces impossibilités est à rechercher dans le mode d'échantillonnage sur lequel nous avons insisté et dont les principes de construction ne sont pas en accord avec la méthode floristique. La présence dans l'échantillon de nombreux relevés pratiqués dans des zones intermédiaires entre les unités syntaxonomiques explique la continuité du nuage et nous empêche de trouver des limites précises entre les différents groupes de caractéristiques. Les relevés les plus dissemblables sont reliés entre eux par tout un ensemble de points offrant des changements de composition floristique très progressifs.

Le procédé employé inspire deux remarques. On peut penser que par le biais des sélections opérées, nous contournerons partiellement le problème posé par le plan d'échantillonnage. Retirer des points de relevés pour l'interprétation des résultats revient à se rapprocher de la prise de données effectuée par les phytosociologues puisque ceux-ci réalisent des relevés dans des communautés bien contrastées sur le plan floristique. Mais les individus ignorés dans l'interprétation influencent le tri des unités les plus éloignées et il est possible que la mise en évidence des groupes les plus caractéristiques eût été plus efficace en travaillant sur un échantillon possédant les caractéristiques propres à la méthode phytosociologique, c'est-à-dire en éliminant les points intermédiaires du calcul.

Nous n'avons pas tenté d'autre type d'analyse visant en particulier à créer les conditions réelles d'une étude phytosociologique car il faut souligner que l'utilisation partielle de nos données supposait la perte d'une quantité d'information importante au niveau de la variabilité des communautés végétales décrites. En outre, selon quels critères aurait-il fallu éliminer certains éléments de l'analyse ?

Au terme de cette discussion, nous pensons que l'analyse globale est parfaitement opérationnelle pour établir un premier classement général de nos relevés. En utilisant la signification sociologique des taxons, il est possible de dresser un inventaire des unités supérieures de la hiérarchie. Même si nous savons déjà qu'une analyse globale offre rarement la possibilité de descendre au niveau de l'association, il est utile de passer par un premier classement global pour ensuite réaliser une partition du fichier de données. La classification de la végétation forestière morvandelle constitue une synthèse satisfaisante au niveau des alliances.

En ce qui concerne, l'apport d'information procuré par les relevés effectués dans des situations intermédiaires, nous constatons qu'il s'avère peu efficace sinon pénalisant et empêche de visualiser les grandes discontinuités. Le phytosociologue recueille ses données sur le terrain avec le souci d'obtenir le meilleur compromis entre macrohétérogénéités déterminantes et microhétérogénéités négligeables (DE FOUCAULT, 1984, op. cit.). Nous pensons que la méthode des transects que nous avons pratiquée amène à prendre en compte un certain nombre de microhétérogénéités que nous ne pouvons estimer d'emblée comme négligeables à notre échelle de travail, mais qui se prêtent mal à la synthèse phytosociologique.

A l'aide de la seule composition floristique des relevés, il apparaît difficile de progresser dans l'isolement des grandes unités. L'étude du déterminisme de ceux-ci nous conduit à traiter l'information écologique pour séparer les grandes types de forêts qui couvrent le massif du Morvan.

Nous distinguerons pour la suite deux grands ensembles regroupant chacun plusieurs des alliances recensées :

- des forêts, dominées par *Alnus glutinosa*, *Betula verrucosa* et *pubescens*, *Fraxinus excelsior* des sols à hydromorphie permanente à profondeur plus ou moins forte, regroupées dans l'*Alno-Padion* et l'*Alnion glutinosae*;
- des forêts sur sols sains ou temporairement engorgés relevant des alliances du *Carpinion betuli*, du *Quercion robori-petraeae* et du *Fagion sylvaticae*, dominées par *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* et *Carpinus betulus*.

III - Approche floristico-écologique

A - Les forêts sur sol sain ou temporairement engorgé

1. Echantillon de relevés

Le premier sous-ensemble de notre fichier de données de départ regroupe tous les relevés effectués dans les forêts de Hêtre, Chênes et Charme. Il comprend 416 individus.

2. Principe d'analyse

Les données sont soumises à une Analyse Factorielle des Correspondances binaires puis à une Classification Hiérarchique Ascendante. Dans un deuxième temps, une partition est demandée afin de consolider les groupes de relevés proposés par la C.H.A.

Deux étapes composent l'étude floristico-écologique :

- une première analyse utilise le critère de Présence-Absence des espèces et constitue une approche qualitative;
- une seconde, le critère d'Abondance-Dominance, caractère semi-quantitatif.

Dans les deux cas, les variables écologiques ne participent pas au calcul.

3. Résultats et Interprétations : étape 1, étude qualitative

3.1. Résultats

Avant toute interprétation du résultat d'analyse, il est utile d'avoir une idée juste de la composition de l'échantillon total en étudiant les types de situations représentées dans les 416 relevés retenus.

Le **tableau II** fournit un bilan du plan d'échantillonnage. Pour chaque modalité écologique, il indique la fréquence absolue et relative, le poids absolu et relatif. Ce dernier est donné dans la colonne de droite sous forme d'un histogramme.

Sur le plan statistique, on remarque une première valeur propre élevée (0,51), une seconde nettement plus faible (0,28) et une inertie extraite par les 2 premiers axes de 7,44. Nous limiterons notre étude au premier plan factoriel (1/2).

Comme à l'étape précédente, le résultat exprimé sous la forme d'une projection totale des relevés ou des espèces nous montre un nuage très dense de points, qui ne possède pas de forme caractéristique et de discontinuité nette.

Ce résultat est habituel dans les analyses réalisées lors de typologies forestières. Il s'explique par la méthode de travail. Le mode d'échantillonnage adopté permet de prendre en compte des variations floristiques très fines. Au niveau des projections, le regroupement des relevés s'opère selon ces changements très progressifs.

Tableau II : Bilan du plan d'échantillonnage pour l'étude floristique

	-- EFFECTIFS --		---- POIDS ----		HISTO. DES POIDS
	ABSOLU	%/TOTAL	ABSOLU	%/TOTAL	
188 . TOPO SITUATION TOPOGRAPHIQUE					
PLAT - PLATEAU	56	13.46	774.00	13.97	*****
SOMA - SOMMET ARRONDI	52	12.50	571.00	10.31	*****
HVER - HAUT DE VERSANT	77	18.51	914.00	16.50	*****
VERS - VERSANT	116	27.88	1427.00	25.76	*****
BVER - BAS DE VERSANT	82	19.71	1291.00	23.31	*****
THAL - THALWEG	21	5.05	400.00	7.22	****
REPL - REPLAT	9	2.16	123.00	2.22	**
AUTR - AUTRE	3	0.72	39.00	0.70	*
ENSEMBLE	416	100.00	5539.00	100.00	
191 . EXPO EXPOSITION					
NU - NULLE	139	33.41	1909.00	34.46	*****
N - NORD	42	10.10	499.00	9.01	*****
NE - NORD-EST	29	6.97	417.00	7.53	****
E - EST	37	8.89	436.00	7.87	****
SE - SUD-EST	27	6.49	368.00	6.64	****
S - SUD	58	13.94	811.00	14.64	*****
SW - SUD-OUEST	31	7.45	377.00	6.81	****
W - OUEST	41	9.86	599.00	10.81	*****
NW - NORD-OUEST	12	2.88	123.00	2.22	**
ENSEMBLE	416	100.00	5539.00	100.00	
192 . SUBS TYPE DE SUBSTRAT					
TUFT - Tuf de trachyandésite	42	10.10	589.00	10.63	*****
TVOL - Tuf volc. Viséen inf	13	3.13	157.00	2.83	**
TVOI - Tuf volc. indif.	8	1.92	67.00	1.21	*
TVOA - Tuf volc. acide Vis.	4	0.96	60.00	1.08	*
TUFR - Tuf de rhyolite	1	0.24	15.00	0.27	*
RHYM - Rhyolite de Montreuil	11	2.64	123.00	2.22	**
RHCA - Rhyolite calco-alcal	10	2.40	113.00	2.04	*
CPLU - Complexe de Lucenay	12	2.88	183.00	3.30	**
GSCH - Intercalations grés	25	6.01	310.00	5.60	***
MGRA - Microgranite	45	10.82	594.00	10.72	*****
GRAN - Granite	44	10.58	574.00	10.36	*****
GR2M - Granite à deux micas	18	4.33	214.00	3.86	**
GRAM - Granite à muscovite	7	1.68	83.00	1.50	*
GRAB - Granite à biotite	6	1.44	68.00	1.23	*
GMBI - Granite monz. à biot	2	0.48	19.00	0.34	*
GFMU - Granite du folin à m	13	3.13	162.00	2.92	**
GRMY - Granite mylonitisé	1	0.24	17.00	0.31	*
GRPB - Granite porph. à bio	13	3.13	192.00	3.47	**
APLI - Aplite	4	0.96	70.00	1.26	*
GRPL - Granite porph. de Lu	13	3.13	175.00	3.16	**
GRPO - Granite porphyroïde	5	1.20	52.00	0.94	*
GPQV - Granulite de la P. q	4	0.96	46.00	0.83	*
GRNU - Granulite	16	3.85	270.00	4.87	***
GRCA - Granophyre calco-alc	9	2.16	119.00	2.15	*
GRGI - Granodiorite de Gien	3	0.72	38.00	0.69	*
GNEI - Gneiss	18	4.33	305.00	5.51	***
SESI - Sedimentaire silicif	20	4.81	245.00	4.42	***
ARKS - Arkose silicifiée	5	1.20	72.00	1.30	*
LIAS - Lias et infralias	13	3.13	184.00	3.32	**
MARN - Marnes	9	2.16	127.00	2.29	**
SABB - Sables du Bourbonnais	1	0.24	17.00	0.31	*
LIMO - Limons des plateaux	10	2.40	154.00	2.78	**
SAGR - Sables et graviers	3	0.72	33.00	0.60	*
ALRE - Alluvions récentes	0	0.00	0.00	0.00	*
LIQU - Limons du Quaternaire	2	0.48	26.00	0.47	*
GRES - Grés triasique	0	0.00	0.00	0.00	*
AUTR - Autre	6	1.44	66.00	1.19	*
ENSEMBLE	416	100.00	5539.00	100.00	

Tableau II : Bilan du plan d'échantillonnage pour l'étude floristique

	-- EFFECTIFS --		---- POIDS ----		HISTO.DES POIDS
	ABSOLU	%/TOTAL	ABSOLU	%/TOTAL	
193 . HUMU TYPE D'HUMUS					
MOR - MOR	2	0.48	13.00	0.23	*
DYSM - DYSMODER	16	3.85	154.00	2.78	**
MODE - MODER	55	13.22	573.00	10.34	*****
MMOD - MULL-MODER	67	16.11	741.00	13.38	*****
MACI - MULL ACIDE	203	48.80	2600.00	46.94	*****
MMES - MULL MESOTROPHE	68	16.35	1373.00	24.79	*****
HMUL - HYDROMULL	4	0.96	73.00	1.32	*
HMOD - HYDROMODER	1	0.24	12.00	0.22	*
HMOR - HYDROMOR	0	0.00	0.00	0.00	*
ANMO - ANMOOR	0	0.00	0.00	0.00	*
ENSEMBLE	416	100.00	5539.00	100.00	
194 . SOL TYPE DE SOL					
RANK - RANKER	7	1.68	77.00	1.39	*
PODZ - SOL PODZOLIQUE	0	0.00	0.00	0.00	*
OPOD - SOL OCRE PODZOLIQUE	1	0.24	9.00	0.16	*
BOCR - SOL BRUN OCREUX	65	15.63	651.00	11.75	*****
BAND - SOL BRUN ANDIQUE	17	4.09	176.00	3.18	**
ANDO - ANDOSOL	1	0.24	15.00	0.27	*
CACI - SOL COLLUVIAL ACIDE	63	15.14	901.00	16.27	*****
BACI - SOL BRUN ACIDE	163	39.18	1986.00	35.85	*****
CMES - SOL COLLUVIAL ACIDE	41	9.86	832.00	15.02	*****
BMES - SOL BRUN MESOTROPHE	8	1.92	141.00	2.55	**
BALL - SOL BRUN ALLUVIAL	2	0.48	60.00	1.08	*
GLE Y - GLEY	3	0.72	42.00	0.76	*
BMEP - SOL BRUN MES. A PSEU	4	0.96	83.00	1.50	*
BACP - SOL BRUN ACIDE A PSE	10	2.40	135.00	2.44	**
LACI - SOL LESSIVE ACIDE	16	3.85	196.00	3.54	**
AUTR - AUTRE TYPE	15	3.61	235.00	4.24	**
ENSEMBLE	416	100.00	5539.00	100.00	
195 . TRAI SYLVOFACIES					
FURE - FUTAIE REGULIERE	8	1.92	64.00	1.16	*
FUSO - FUTAIE SUR SOUCHE	38	9.13	374.00	6.75	****
TVIE - TAILLIS VIEILLI	103	24.76	1427.00	25.76	*****
TSF - TAILLIS-SOUS-FUTAIE	257	61.78	3533.00	63.78	*****
TAIL - TAILLIS	10	2.40	141.00	2.55	**
ENSEMBLE	416	100.00	5539.00	100.00	

3.2. Interprétation du plan factoriel 1/2

3.2.1. Etude de la projection totale des espèces (Graphes 1 et 3) et des variables écologiques (Graphe 2) (*)

La projection des variables principales (**Grappe 1**) apporte des précisions sur la composition floristique des unités isolées lors de la première analyse globale. Ensuite en se référant aux variables écologiques qui sont représentées dans ce même plan factoriel (**Grappe 2**), il est possible d'exploiter l'information écologique pour l'interprétation du comportement des espèces.

F 1

Pôle négatif :

- les espèces fortement corrélées à l'axe 1 sont *Lamiastrum galeobdolon*, *Dryopteris filix-mas*, *Carpinus betulus*, *Euphorbia amygdaloides*, *Fraxinus excelsior*, *Hedera helix*; toutes liées aux sols alluviaux et colluviaux mésotrophes, en situation de talweg ou de bas de versant; ce sont les plus exigeantes sur le plan trophique;

Pôle positif :

- des espèces à forte contribution à l'axe comme *Polytrichum formosum*, *Deschampsia flexuosa*, *Pteridium aquilinum*, *Melampyrum pratense*, *Leucobryum glaucum* liées aux sols ocre-podzoliques, brun ocreux à humus très acide (Moder, Dysmoder), fréquents dans la partie supérieure des pentes.

F 2 :

Les espèces liées à F2 sont peu nombreuses (*Festuca sylvatica*, *Athyrium filix-femina*, *Rhytidadelphus loreus*, *Dryopteris dilatata*, *Fagus sylvatica*) et présentes uniquement à l'extrémité négative de celui-ci. Nous percevons cependant sur cet axe (graphe 3) une opposition entre les stations sur les couvertures sédimentaires silicifiées de plateau (coordonnées négatives) et les stations reposant sur les substrats granitiques et volcaniques (coordonnées positives). Mais l'interprétation de la signification de cet axe reste difficile.

3.2.2 Interprétation des gradients écologiques

Parmi les espèces bien corrélées à l'axe 1, nous identifions :

- un groupe neutrocline (***) dans la partie négative; la projection des variables écologiques indique qu'elles sont fréquemment distribuées sur les sols mésotrophes, en situation de bas de versant, vallon et replat;
- un ensemble acidiphile inféodé aux sols les plus pauvres, occupant la partie supérieure des versants et les sommets.

Le premier axe fourni par notre analyse matérialise un gradient trophique. Il correspond logiquement à l'axe 2 de l'analyse globale car l'échantillon concerné ici exclut les forêts sur sol humide ou marécageux. La végétation des forêts non humides ni marécageuses est triée en fonction du niveau trophique des sols.

* Dans la majorité des plans factoriels le choix a été fait de repérer les variables avec leur code à quatre lettres. La liste de ceux-ci est donnée à la fin de ce volume.

** Le comportement des espèces sera précisé au paragraphe suivant.

ETAPE 1 : ANALYSE EN PRESENCE-ABSENCE
GRAPHE 1 : Projection totale
des variables principales (espèces) dans le plan factoriel 1/2.

ESPECES A PLUS FORTE CONTRIBUTION AUX AXES :

drdi (*): *Dryopteris dilatata* laga : *Lamiastrum galeobdolon* euam : *Euphorbia amygdaloides*
rhyl : *Rhytidadelphus loreus* dyfm : *Dryopteris filix-mas* fre. : *Fraxinus excelsior*
fas. : *Fagus sylvatica* cab. : *Carpinus betulus* hehe : *Hedera helix*
pofu : *Polytrichum formosum* ptaq : *Pteridium aquilinum* leug : *Leucobryum glaucum*
defl : *Deschampsia flexuosa* mepr : *Melampyrum pratense* disc : *Dicranum scoparium*
sidi : *Silene dioica*

NOMBRE DE POINTS A REPRESENTER : 187

Traitement des points à plus de 2.30 écarts-types du centre : Points éloignés

IDENTIFICATEUR	ABSCISSE	ORDONNEE
acc2	-1.741	-2.209
cagl	-0.154	-2.263
cahe	-1.646	2.538
feal	-1.375	3.166
joco	-0.643	-2.242
ruid	-1.304	3.190
tip3	-1.313	3.272
ulm2	-1.406	3.113

8 points ont été ramenés sur le bord du graphique.

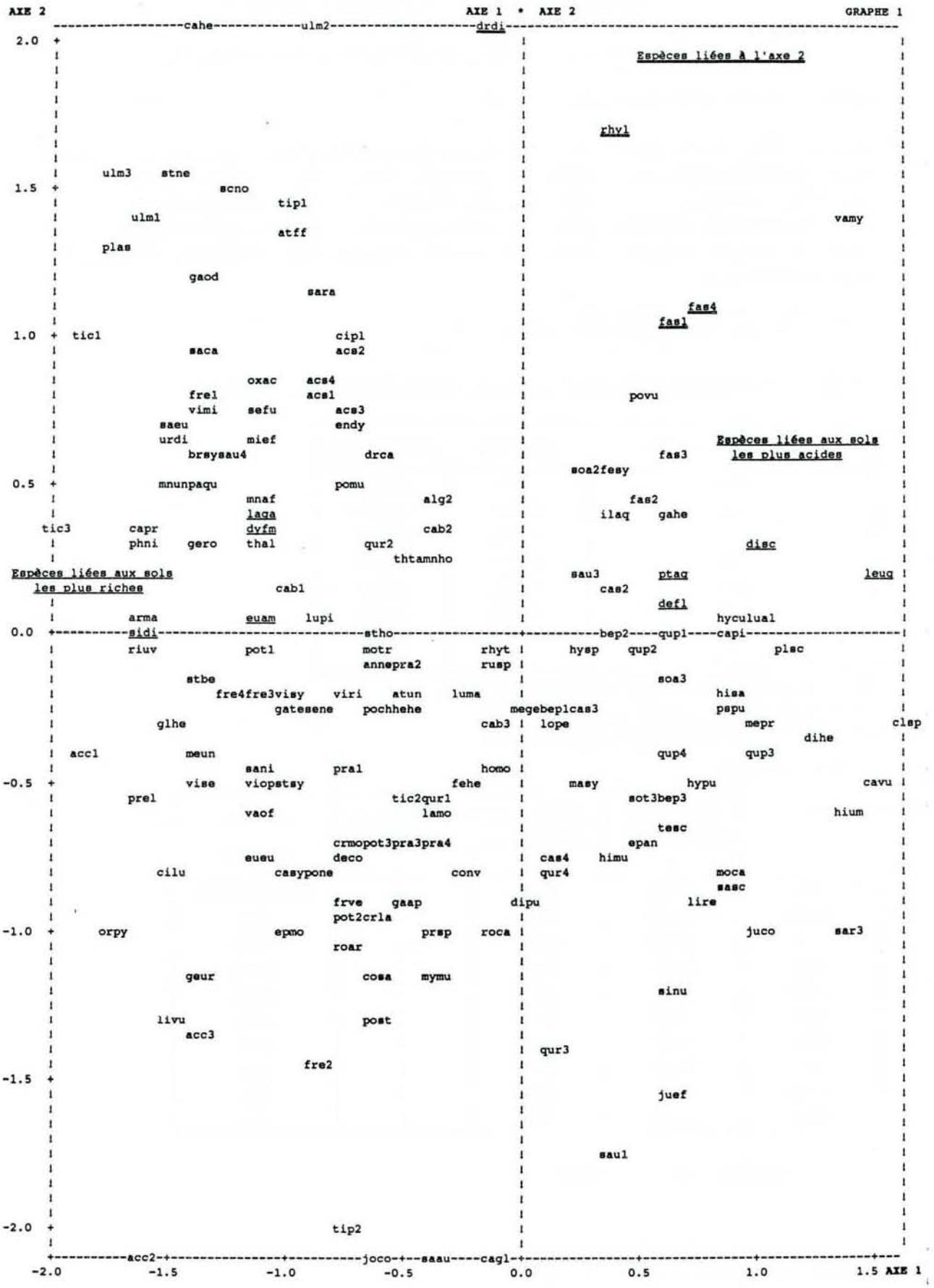
NOMBRE DE POINTS REPRESENTES : 187

Points multiples :

POINT VU	ABSCISSE RAPPROCHE E	ORDONNEE APPROCHEE	NOMBRE DE CACHES	POINTS CACHES
uml2	-0.86	2.04	3	tip3 feal ruid
saeu	-1.47	0.70	1	alg1
thta	-0.49	0.25	1	cab4
defl	0.61	0.10	1	pofu
motr	-0.61	-0.05	1	sovi
anne	-0.61	-0.10	1	eust
luma	-0.24	-0.20	1	coav
bep1	0.12	-0.25	1	cas1
hypu	0.73	-0.50	1	fral
gaap	-0.49	-0.89	1	stof

12 points multiples, 12 points cachés.

* Les codes sont donnés en annexe du présent volume.



ANALYSE EN PRESENCE-ABSENCE

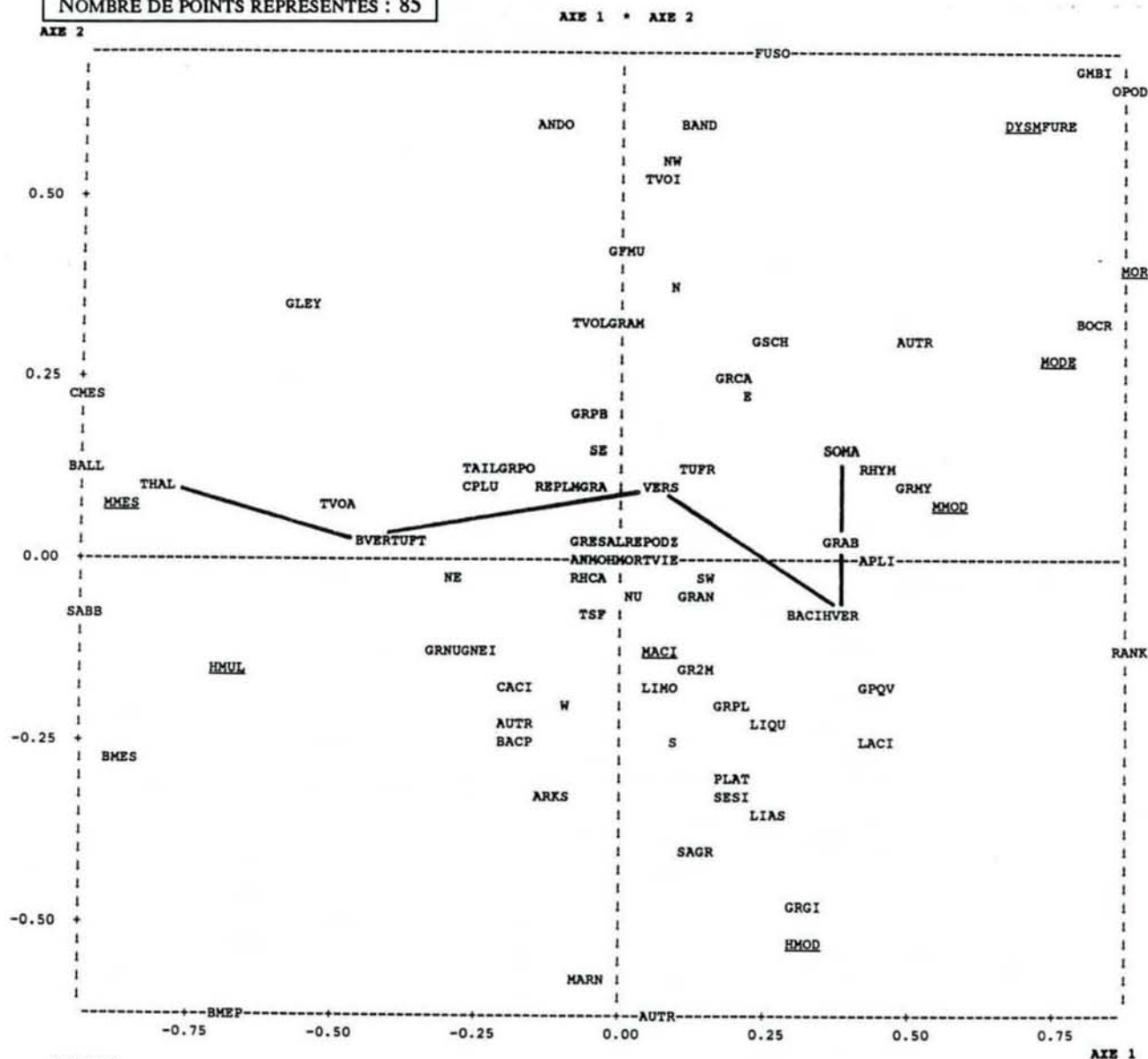
GRAPHE 2 : Projection des variables supplémentaires (écologiques) dans le plan factoriel 1/2.

NOMBRE DE POINTS A REPRESENTER : 85

Traitement des points à plus de 2.30 écarts-types du centre : 6 points ont été ramenés sur le bord du graphique.

IDENTIFICATEUR	ABSCISSE	ORDONNEE	IDENTIFICATEUR	ABSCISSE	ORDONNEE
AUTR	0.103	-0.793	MOR	1.131	0.548
GMBI	0.939	0.727	OPOD	0.948	0.734
SABB	-1.083	-0.086	BALL	-1.160	0.154

NOMBRE DE POINTS REPRESENTES : 85



LEGENDES

FORME D'HUMUS		POSITIONS TOPOGRAPHIQUES	
MME	Mull mésotrophe	THAL	Vallon
MACI	Mull acide	BVER	Bas de versant
MMOD	Mull-moder	VERS	Versant
MODE	Moder	HVER	Haut de versant
DYSM	Dysmoder	SOMA	Sommet arrondi
MOR	Dysmoder épais		
HMUL	Hydromull		

ANALYSE EN PRESENCE-ABSENCE

GRAPHE 3 : Projection des 50 variables principales (espèces) les mieux corrélées aux axes 1 et 2.

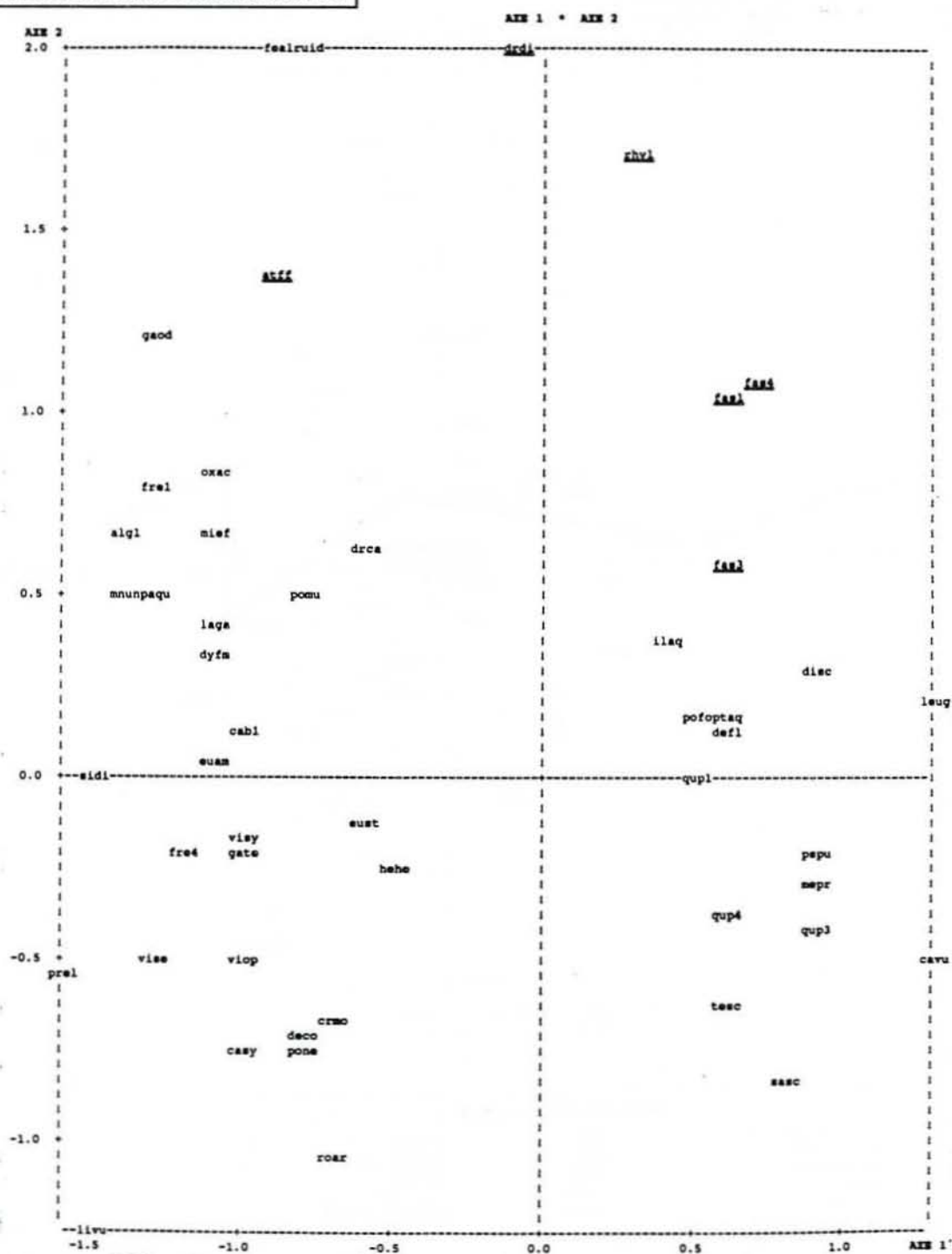
NOMBRE DE POINTS A REPRESENTER : 187

137 points de cosinus carré trop faible dans l'espace des axes 1 à 2

Traitement des points à plus de 2.30 écarts-types du centre : 2 points ont été ramenés sur le bord du graphique.

IDENTIFICATEUR	ABSCISSE	ORDONNEE
feal	-1.375	3.166
ruid	-1.304	3.190

NOMBRE DE POINTS REPRESENTES : 50



Ainsi que nous l'avons montré sur le **graphe 3**, peu d'espèces contribuent fortement à F2. Les variables écologiques projetées n'apportent pas d'éléments de décision supplémentaires. Les taxons contribuant le plus à cet axe sont soit ubiquistes (*Fagus sylvatica*, *Rhytidiadelphus loreus*), soit inféodés aux stations fraîches (*Athyrium filix-femina*, *Dryopteris dilatata*). A l'autre extrémité de l'axe, ne se trouvent que des espèces faiblement contributives. Aucun gradient écologique ne peut être directement reconnu d'après l'ordination des espèces sur F2.

3.2.3 Autoécologie des espèces sylvatiques du Morvan

Après la première approche précédente, il est nécessaire de donner le maximum de précisions sur le comportement des espèces sylvatiques du Morvan et de rassembler celles dont le comportement est semblable en **groupes d'espèces indicatrices (*)**. Cette étude passe par une exploitation poussée des descripteurs des conditions de milieu intervenant de façon prépondérante dans la répartition des espèces : il convient d'étudier la distribution des espèces en fonction du **type d'humus**.

Une première méthode consisterait à exploiter à nouveau les résultats de notre calcul statistique. Dans une matrice espèces/relevés, il y a toujours deux possibilités d'exploitation (voir les projections). C'est pourquoi certains auteurs demandent les deux classifications hiérarchiques ascendantes potentielles et utilisent aussi celle sur les variables pour ébaucher des groupes d'espèces indicatrices. Pour notre part, nous estimons que s'il est logique d'effectuer une ordination des relevés d'après leur profil établi par les variables qu'ils contiennent, il semble préférable de faire intervenir les variables extérieures (écologiques) au calcul pour rechercher une meilleure caractérisation. La classification sur les espèces est rarement utilisée par les statisticiens et beaucoup de logiciels ne la proposent pas directement dans leur menu.

C'est pourquoi, nous emprunterons ici la méthode des profils écologiques. Le mode de représentation choisi est celui de la Fréquence relative (**). Ces profils donnent, pour une espèce et pour une variable écologique, le pourcentage de relevés dans chaque modalité qui contiennent l'espèce :

Si n_{rec} : nombre de relevés où l'espèce est présente dans la classe i ,
 n_{rc} : nombre de relevés dans la classe i ,

$$\boxed{\text{Fréquence relative de la classe } i = n_{rec}/n_{rc} (**)}$$

Dans cette approche floristico-écologique, il est à rappeler que l'espèce puis le groupe d'espèces sont considérés comme des révélateurs des conditions de milieu. La distribution de l'espèce est contrôlée statistiquement d'après les relevés. A partir de cet instant, le raisonnement conduit à estimer que le taxon est un indicateur des conditions stationnelles qui correspondent aux modalités de la variable considérée les plus fréquentes de sa distribution.

L'observation des profils des espèces (**annexe B**) fait apparaître l'existence de deux types de comportement :

- espèces ne présentant pas d'optimum net et qui sont réparties avec une fréquence équivalente dans plusieurs classes d'une même variable. La plasticité de leur comportement est due à une assez grande tolérance aux variations du facteur écologique en question;

(*) Les espèces possédant des comportements superposables - donc s'observant fréquemment ensemble - peuvent être rassemblées dans des groupes d'espèces indicatrices (in RAMEAU, 1989).

(**) Proposé par le logiciel PHYTO (ENGREF;INRA-CRF)

- espèces présentant un optimum net, bien délimité qui atteignent leur fréquence maximum dans un petit nombre de classes du facteur écologique.

3.2.4 Edification des groupes écologiques pour le Morvan

En comparant les espèces de la flore d'après leur profil écologique, il est possible de les rassembler dans des groupes homogènes sur le plan de l'autoécologie. Les groupes ainsi formés portent une valeur informative supplémentaire. Leur "spectre" écologique couvre l'ensemble du gradient trophique, ce qu'il est difficile de réaliser avec les espèces prises isolément.

Les espèces sont comparées entre elles d'après l'étendue, le mode et le période de leur distribution parmi toutes les modalités de la variable écologique envisagée.

Le classement que nous avons effectué pour les espèces du massif du Morvan a été confronté avec celui de la Flore forestière française (RAMEAU et al. 1989). Le résultat est donné dans un tableau récapitulatif (Annexe C) qui propose une classification de la flore du Morvan en groupes écologiques.

Une première remarque s'impose. Le traitement du premier sous-ensemble de nos données n'est opérationnel que pour aborder le classement des espèces en fonction du niveau trophique des sols puisque les stations choisies forment un échantillon assez homogène pour les conditions d'humidité des sols.

La description des autres aspects de l'autoécologie des espèces, en particulier des affinités pour l'humidité des sols, exige de travailler avec un complément de données récoltées dans les stations humides et marécageuses, que nous effectuerons plus loin.

Pour l'ensemble des unités floristiques de cet échantillon, l'amplitude de variation du niveau trophique, assez réduite, s'établit entre un pôle très acidiphile (espèces de dysmoder) et un pôle neutrocline (espèces de mull mésotrophe) et neutroclines abondantes.

Enfin, signalons dès à présent, que les groupes créés sont valides uniquement dans l'aire étudiée. Certaines espèces montrent une distribution beaucoup plus large que celle décrite ici. Leur profil écologique est "amputé" par rapport à celui établi pour le territoire français. Néanmoins chaque étude régionale offre des compléments pour l'autoécologie des espèces que nous examinerons dans la discussion.

3.2.5. Etude de la projection des individus

* Etude de la projection totale (Graphe 4)

La projection totale dans le plan 1/2 fournit une image assez confuse. Le nuage très dense n'offre pas de discontinuité. Comme pour la projection des espèces, c'est en effectuant des sélections opérant sur des critères de qualité de la représentation des individus que nous progressons dans le dépouillement des résultats.

ETAPE 1 : ANALYSE EN PRESENCE-ABSENCE

GRAPHE 4 : Analyse partielle - Projection totale des individus (relevés) dans le plan factoriel 1/2.

NOMBRE DE POINTS A REPRESENTER : 416

Traitement des points à plus de 2.30 écarts-types du centre : Points éloignés

IDENTIFICATEUR	ABSCISSE	ORDONNEE	IDENTIFICATEUR	ABSCISSE	ORDONNEE
001	0.893	1.323	129	0.616	1.709
086	0.898	1.405	173	0.896	1.406
112	-0.944	1.741	175	0.154	1.270
113	-1.091	1.660	224	0.556	1.327
116	0.883	1.539	233	-0.930	1.656
120	0.377	1.300	329	1.111	1.352
123	0.630	1.601	452	0.034	-1.287
126	-0.616	1.421	529	-0.291	-1.481

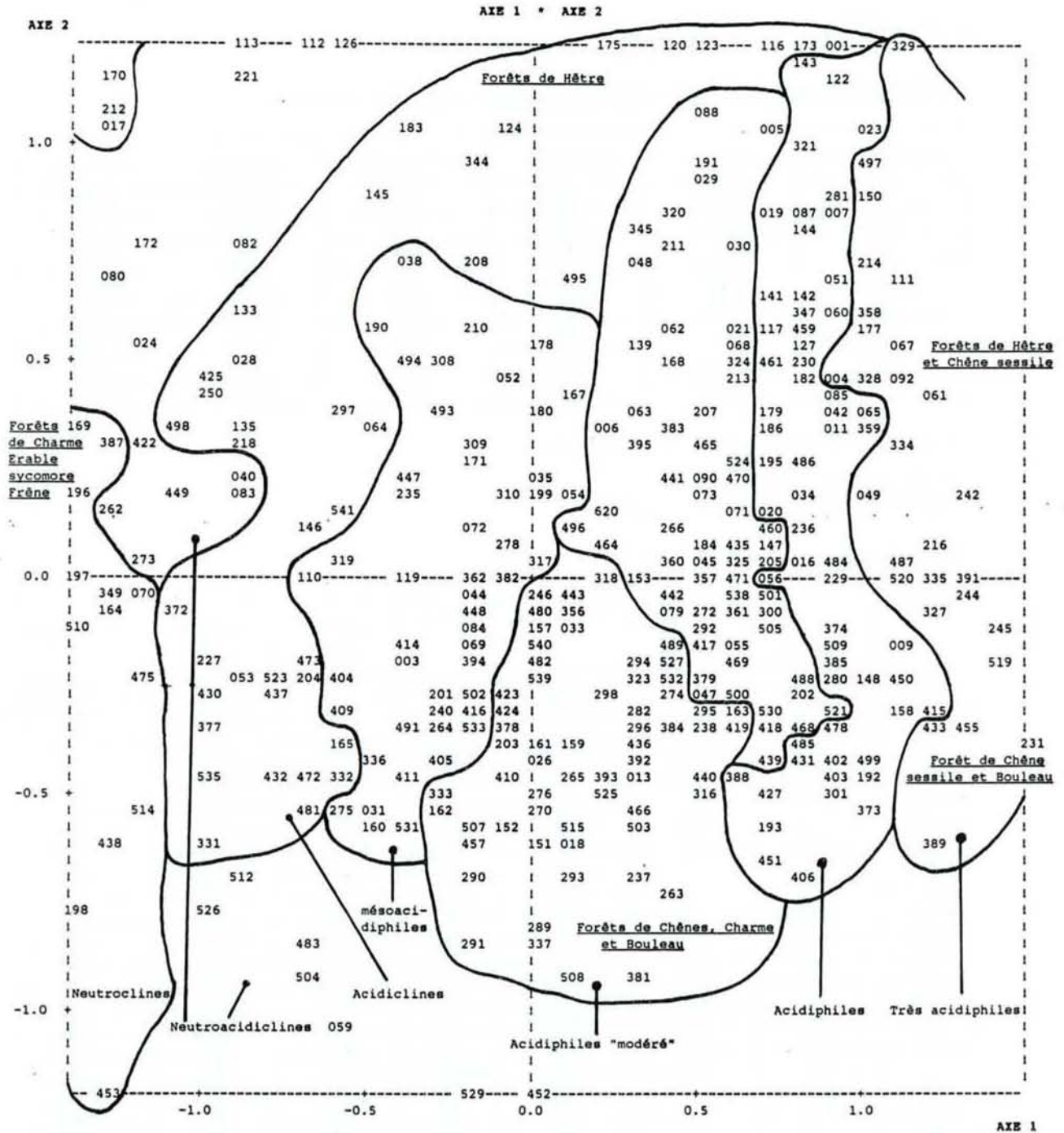
16 points ont été ramenés sur le bord du graphique.

NOMBRE DE POINTS REPRESENTES : 416

Points multiples : 65 points multiples, 78 points cachés

POINT VU	ABSCISSE APPROCHEE	ORDONNEE APPROCHEE	POINTS CACHES	POINT VU	ABSCISSE APPROCHEE	ORDONNEE APPROCHEE	POINTS CACHES
112	-0.67	1.23	233	448	-0.19	-0.08	462/277
123	0.48	1.23	224/129	079	0.38	-0.08	477
173	0.76	1.23	086/128	300	0.67	-0.08	511
321	0.76	1.00	206/066	084	-0.19	-0.12	307
145	-0.48	0.88	181	157	0.00	-0.12	371
211	0.38	0.77	217	245	1.33	-0.12	050
030	0.57	0.77	219	417	0.48	-0.15	537
358	0.95	0.62	037/022	055	0.57	-0.15	058/518
021	0.57	0.58	012	323	0.29	-0.23	397
459	0.76	0.58	279	532	0.38	-0.23	610
178	0.00	0.54	166	379	0.48	-0.23	474
127	0.76	0.54	140/131	280	0.86	-0.23	517
494	-0.38	0.50	225	450	1.05	-0.23	479
182	0.76	0.46	209/346	201	-0.029	-0.27	396
004	0.86	0.46	077	502	-0.19	-0.27	513
186	0.67	0.35	036/075	416	-0.19	-0.31	420
011	0.86	0.35	138	424	-0.10	-0.31	380
359	0.95	0.35	008	530	0.67	-0.31	463
387	-1.24	0.31	408	521	0.86	-0.31	215
195	0.67	0.27	376	158	1.05	-0.31	456
073	0.48	0.19	458	384	0.38	-0.35	454/528
146	-0.67	0.12	412	419	0.57	-0.35	467
496	0.10	0.12	089	418	0.67	-0.35	401
460	0.67	0.12	444	433	1.14	-0.35	032
236	0.76	0.12	299	161	0.00	-0.38	516/156/025/271
273	-1.14	0.04	232	405	-0.29	-0.42	375
484	0.86	0.04	243	392	0.29	-0.42	428
197	-1.33	0.00	154	431	0.76	-0.42	326
318	0.19	0.00	398	393	0.19	-0.46	241
153	0.29	0.00	400	162	-0.29	-0.54	506
471	0.57	0.00	155	507	-0.19	-0.58	228
070	-1.14	-0.04	421	152	-0.10	-0.58	536
443	0.10	-0.04	386				

GRAPHE 4 : PROJECTION TOTALE DES INDIVIDUS DANS LE PLAN 1/2



* Etude de projections sélectives (Graphes 5, 6)

Nous utiliserons trois représentations d'un même plan factoriel (1/2) comportant successivement les 50 individus possédant le \cos^2 le plus élevé sur les axes 1 et 2, puis les 100 et les 200 premiers.

L'identification de quelques groupes de relevés nous permet de retrouver la distribution reconnue dans l'analyse globale. Le long de l'axe 1 reste matérialisé un gradient trophique évident. Deux pôles se différencient nettement avec des relevés possédant un nombre important d'espèces qui leur sont propres. Dans la région du point origine, se regroupent des relevés avec composition floristique intermédiaire, ayant beaucoup d'espèces en commun.

Les projections partielles font apparaître des coupures plus nettes entre les unités de végétation reconnues. Les projections moins sélectives, recrutant des points de degré de signification moins élevé, permettent d'inclure dans la projection des unités supplémentaires placées en position intermédiaire entre les différentes masses de points identifiées auparavant. Une quantité importante de relevés situés à proximité du point origine sont évidemment peu fiables pour l'interprétation (\cos^2 faible). Néanmoins, ceux-ci concourent à donner un effet de densité à l'intérieur du nuage, qui procure une image inversée de la logique de construction de la projection.

Ce procédé de lecture permet de mieux comprendre la composition du nuage de points et d'expliquer la répartition des points de relevés le long de cet axe, ce qui n'était pas possible d'après la seule signification des espèces.

3.2.6. Interprétation :

Le résultat statistique obtenu apporte une vérification à la structuration écologique qui a été proposée par les auteurs déjà cités. Cette deuxième analyse floristico-écologique qui concerne les forêts installées sur sols sains ou engorgés temporairement met en évidence un premier gradient écologique correspondant au niveau trophique des sols. Ceci reste en conformité avec le premier tri global. N'apparaît plus dans cette étape le facteur d'humidité car toutes les stations marquées par une forte humidité permanente ont été séparées dans un second ensemble de données qui sera étudié ultérieurement.

Un deuxième résultat nous a amené à souligner la difficulté d'interprétation de l'axe F2. Mais, il nous est difficile de délaissier une somme d'informations non négligeable portée par cet axe qui est le deuxième de notre analyse comme c'est souvent le cas dans la sélection des plans factoriels opérée par les auteurs.

Les pratiques courantes incitent à la recherche de l'influence d'un facteur stationnel pour expliquer l'ordination des relevés. Plusieurs hypothèses peuvent être testées dans notre cas.

Les relevés les plus liés à l'axe 2 correspondent aux forêts de Hêtre ou de Hêtre dominant sur le Chêne sessile. Ils sont difficiles à caractériser car leur flore est très pauvre. En premier lieu, nous pourrions reconnaître l'intervention d'un facteur altitudinal puisque la Hêtraie naturelle occupe les sommets les plus élevés du massif. Cette première idée, qui ressort des synthèses publiées sur la région, transcrit de manière assez satisfaisante l'ambiance écologique du compartiment montagnard morvandiau. Or à l'issue de notre traitement statistique, rien ne nous permet d'infirmer cette

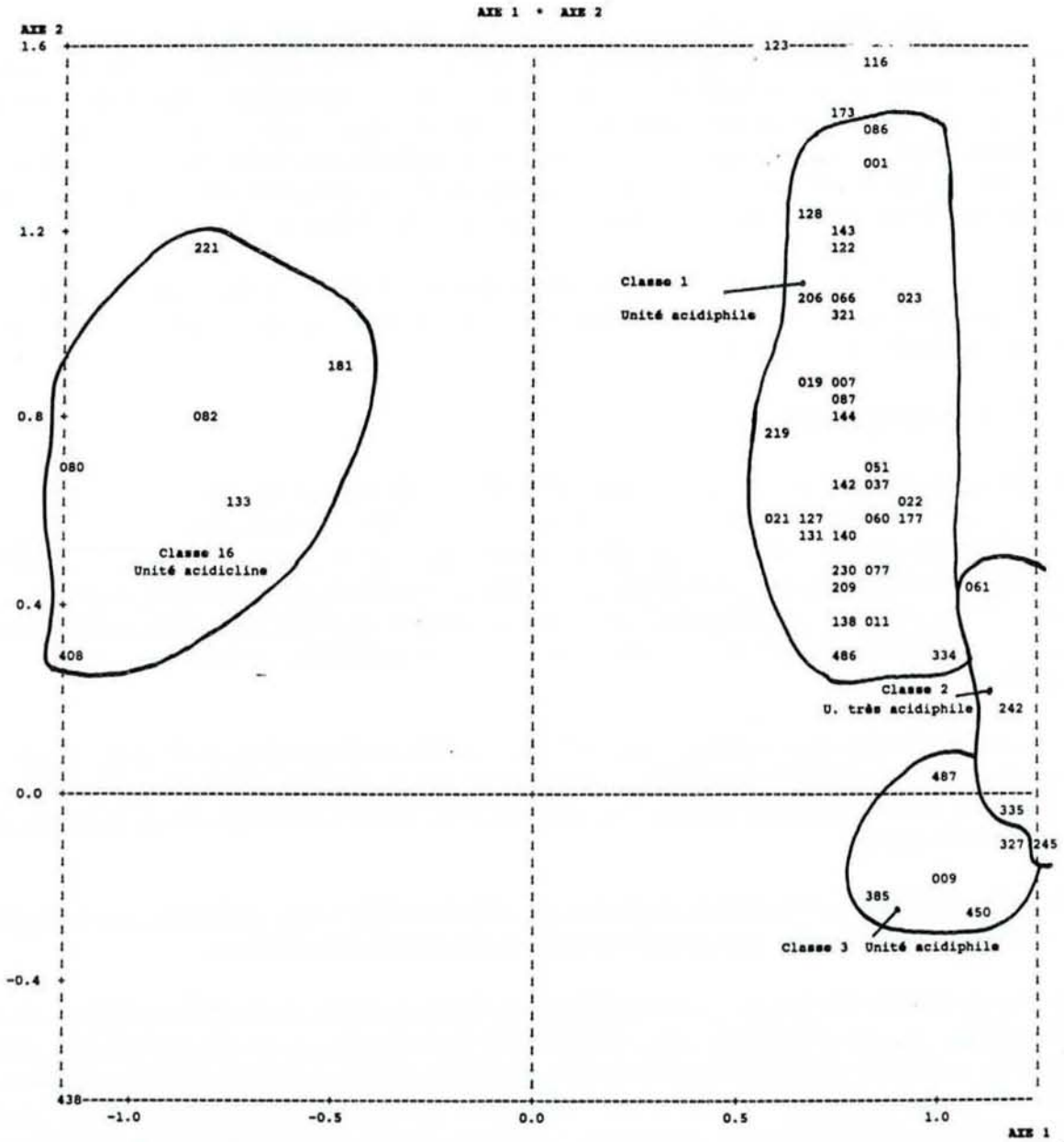
ANALYSE EN PRESENCE-ABSENCE

GRAPHE 5 : Analyse partielle - Projection des 50 individus (relevés) les mieux corrélés aux axes 1 et 2.

NOMBRE DE POINTS A REPRESENTER : 416

366 points de cosinus carré trop faible dans l'espace des axes 1 à 2.

NOMBRE DE POINTS REPRESENTES : 50



ANALYSE EN PRESENCE-ABSENCE

GRAPHE 6 : Analyse partielle - Projection des 100 individus (relevés) les mieux corrélés aux axes 1 et 2.

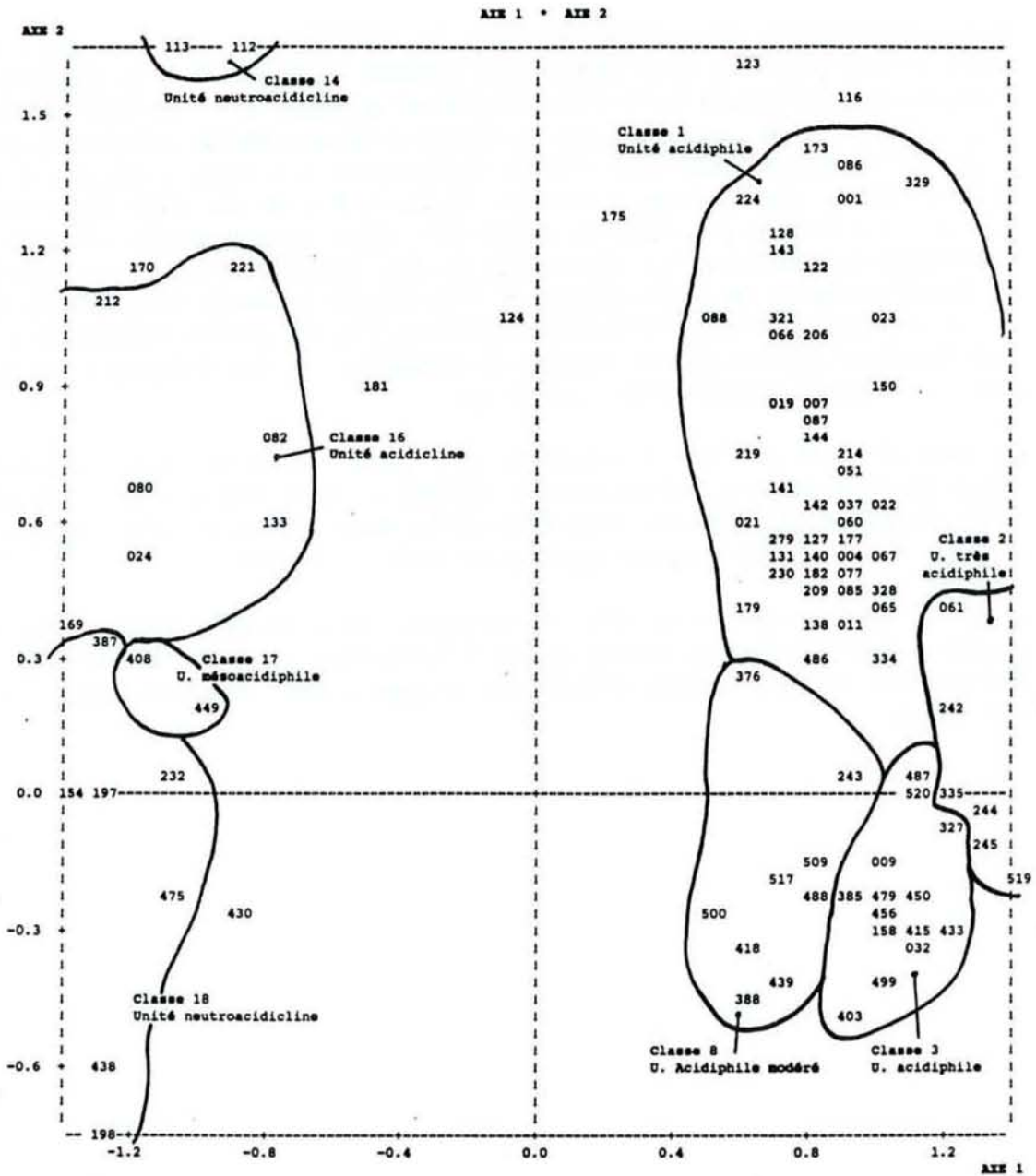
NOMBRE DE POINTS A REPRESENTER : 416

366 points de cosinus carré trop faible dans l'espace des axes 1 à 2.

Traitement des points à plus de 2.30 écarts-types du centre : 1 point a été ramené sur le bord du graphique.

IDENTIFICATEUR	ABSCISSE	ORDONNEE
112	-0.944	1.741

NOMBRE DE POINTS REPRESENTES : 100



première interprétation, mais en revanche nous ne disposons d'aucun élément pour pouvoir la confirmer. En effet, le contingent de taxons floristiques montagnards est quasi absent de nos relevés, d'où le manque d'individualisation des relevés effectués dans les forêts montagnardes. Ce point constitue aussi une caractéristique de la végétation forestière morvandelle, par comparaison avec les résultats obtenus dans d'autres régions (Vosges, Massif Central) où le gradient altitudinal apparaît toujours nettement.

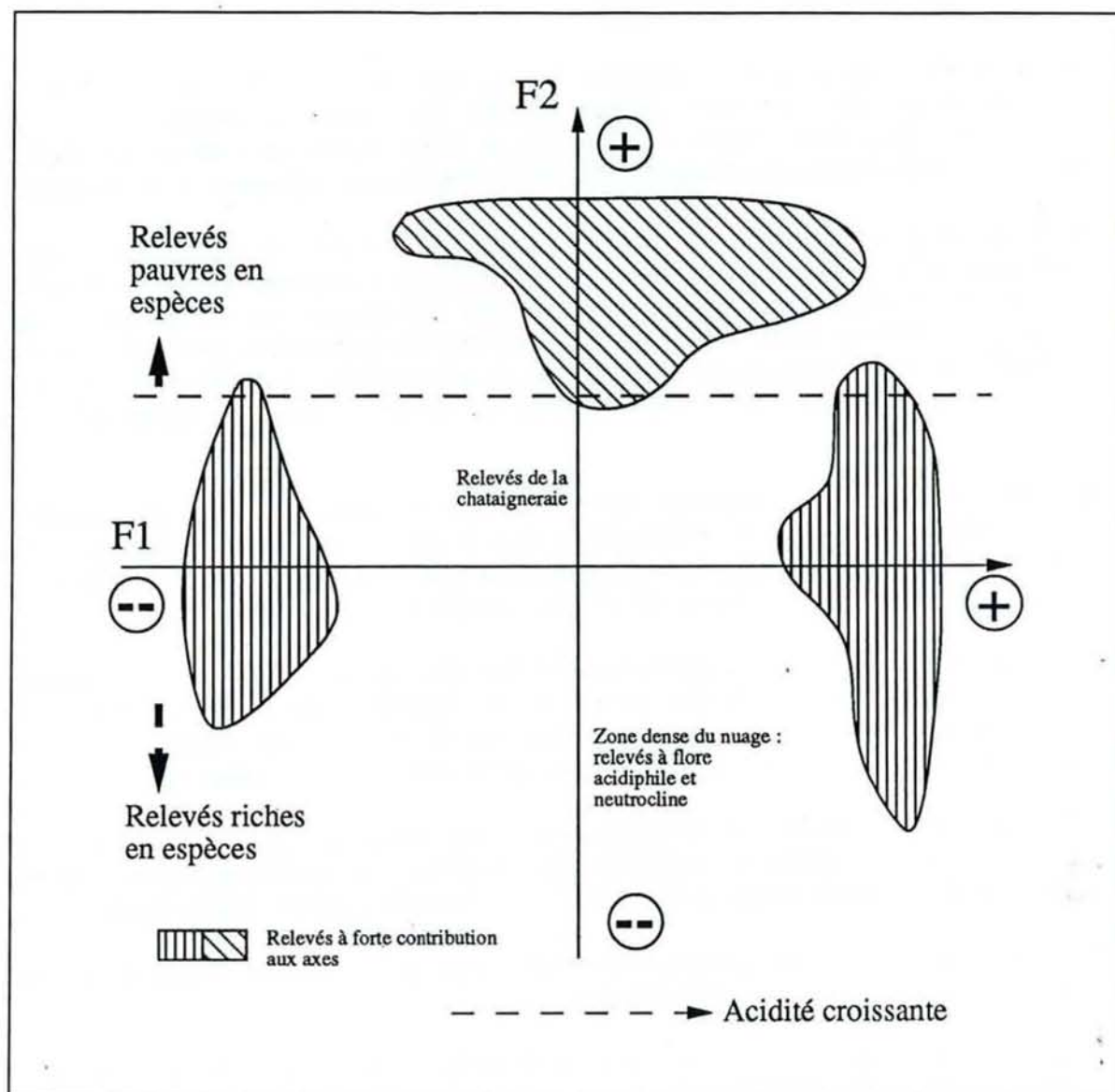
En faisant intervenir des points moins significatifs, nous avons testé l'hypothèse d'un facteur de fraîcheur des stations, que nous signalait la présence de quelques taxons comme *Dryopteris dilatata*, fréquentes dans les forêts du type de celles regroupées à l'extrémité positive de F2. Mais en parcourant les autres ensembles de relevés situés le long de l'axe, on s'aperçoit de la présence de relevés pratiqués dans des forêts plus sèches (proximité du point origine), puis plus humides (extrémité négative). La prise en compte de l'ambiance hydrique du milieu n'apporte pas d'explications suffisantes.

Seule la détermination d'un gradient qui traduit les variations dans la richesse des relevés en espèces offre la possibilité d'une interprétation cohérente de l'ensemble de la projection. Nous situons à l'extrémité positive de F2, les relevés pauvres en espèces et, à l'extrémité négative, ceux les plus riches, soit une opposition entre les hêtraies et hêtraies-chênaies avec couvert dense aux forêts à Chênes sessile et pédonculé, Charme, Erable sycomore et Frêne, d'une part, et à Chêne sessile et Bouleau moins fermées, d'autre part. La figure 3 donne une image simplifiée du plan factoriel. Les relevés les plus riches en espèces sont séparés en deux groupes le long de l'axe 1 (matérialisant le gradient trophique des stations). En effet, la richesse en espèces s'explique soit par une bonne fertilité du sol (partie négative de F 1), soit par l'existence de sylvofaciès dégradés ouverts en condition de sols pauvres (partie positive de F 1). En position intermédiaire se situent aussi les relevés effectués dans les parcelles de Châtaignier, car ceux-ci possèdent une flore qui emprunte à plusieurs groupes d'espèces indicatrices.

On reconnaît ainsi sur l'axe 2, l'existence d'un gradient microclimatique, correspondant à l'ambiance imprimée par le couvert forestier, opposant des forêts dont la strate dominante laisse passer une quantité de lumière importante (feuillage peu dense, ouvertures) à d'autres, très fermées, (hêtraies) où seules quelques espèces sciaphiles parviennent à s'installer.

Ainsi, les variations de ce microclimat s'accompagnent d'une évolution parallèle quantitative et qualitative (dans une moindre part) du cortège floristique avec dominance de taxons photophiles dans les forêts les mieux éclairées et diminution de ceux-ci, voire disparition, dans les forêts les plus fermées.

Figure 3 : Schéma du plan factoriel 1/2 (projection totale des individus)



3.3. Résultat de la classification

3.3.1. Isolement des unités floristiques

Après l'analyse des gradients écologiques mis en évidence par l'AFC, un des objets de la structuration écologique des forêts consiste à établir une relation satisfaisante entre les unités floristiques et les différents degrés d'intervention du facteur écologique prépondérant. Dans cette partie nous rechercherons une correspondance entre chaque niveau trophique et unité floristique.

Dans les travaux du laboratoire de phytoécologie de l'E.N.G.R.E.F., ce principe est couramment appliqué et utilise un diagramme écologique à deux dimensions proposant des classes bien définies d'acidité et d'humidité. Pour chaque région, l'étude des combinaisons des groupes d'espèces indicatrices conduit à l'isolement d'unités floristiques pouvant être inscrites dans l'échelle d'acidité, d'humidité ou de tout autre facteur. La répétition de ces expériences a suscité aussi l'emploi d'un vocabulaire possédant un nombre fini de termes qui désignent chacun les degrés des échelles élaborées.

Les méthodes floristiques emploient une terminologie beaucoup plus libre pour qualifier le comportement des taxons et des communautés. Il reste souvent difficile de comprendre comment sont élaborés les groupes d'espèces indicatrices et envisagées les combinaisons observées dans les relevés. En revanche, la formalisation est déjà bien avancée en phytoécologie.

En conclusion de ces remarques préliminaires, il faut noter que ce n'est pas la mise à disposition d'un vocabulaire définitif et exclusif qui est le plus important, mais plutôt la définition d'une méthode précise qui offre la possibilité de reproduire les étapes du raisonnement, d'établir une correspondance aussi exacte que possible entre les unités décrites par des auteurs différents.

Afin de poursuivre la tentative de formalisation de la méthode de typologie, nous avons recherché à mettre au point une exploitation complémentaire des résultats statistiques destinée à l'élaboration des échelles de variabilité de chacun des facteurs stationnels prépondérants dans la région.

En complément du traitement classique, nous effectuons une partition afin de consolider les groupes de relevés fournis par la classification hiérarchique.

D'après l'histogramme des indices de niveau fourni par la C.A.H., nous avons retenu une partition en 20 classes du fichier de départ. Pour chacune des classes, un tableau de relevés a été construit afin d'analyser la composition floristique et la représentation des groupes d'espèces. Rappelons que les groupes de relevés sur lesquels nous travaillons, sont isolés à la suite d'une analyse sur le critère de présence-absence des espèces et que le premier facteur intervenant pour le classement est le niveau trophique des stations.

3.3.2. Etude du gradient trophique

* Description des classes (N=20)

Vingt classes sont obtenues à l'aide de la partition réalisée à la suite de la Classification Hiérarchique Ascendante. La fréquence des espèces dans les relevés sert à évaluer la proportion relative des groupes d'espèces indicatrices (d'après le tableau général, annexe B).

* Construction de l'échelle des niveaux trophiques

L'étape suivante consiste à construire une règle de décision qui positionne les différentes unités floristiques dans l'échelle d'acidité fournie par le diagramme à deux dimensions. Le raisonnement suivi impose d'abord de fixer les bornes de notre gradient, puis d'identifier les différents "degrés" contenus entre ces deux limites.

Le **tableau III** présente le "profil" floristique de chaque classe de relevés. Dans la marge sont désignées les unités élémentaires reconnues.

* Interprétation

En premier lieu, nous voyons que le gradient trophique comprend à la fois des groupements très acidiphiles (Classe 2) et des groupements neutroclines (Classes 19 et 20). Ensuite, nous pouvons déduire la correspondance avec les niveaux intermédiaires entre les deux bornes reconnues précédemment. Nous empruntons la terminologie de la Flore forestière (RAMEAU, 1989). La structuration ainsi élaborée est représentée dans la **figure 4**. Elle tient office de règle utilisable pour le diagnostic des communautés végétales sur l'aire de validité de notre étude.

Deux groupes d'espèces dominent nettement dans le cortège floristique. Il s'agit, d'une part, des espèces acidiphiles à large amplitude et de modérat, d'autre part, des espèces neutroclines. L'évaluation de leur poids relatif permet de se situer, soit dans la partie la plus riche du gradient lorsque les neutroclines dominent, soit dans la partie la plus pauvre lorsque ce sont les acidiphiles.

Une analyse complète du tableau de résultats (**Tab. III**) nous montre aussi que plusieurs classes désignent une même unité floristique. En comparant celles-ci, on s'aperçoit que certaines espèces arborescentes sont à l'origine de l'individualisation de plusieurs groupes de relevés lorsqu'elles sont :

- en peuplement pur (Hêtre, Châtaigner),
- ou bien représentées au niveau du sous-bois (effet du codage en 4 variables des essences); les codes des strates inférieures jouent le rôle de variables différentielles pour l'analyse.

On remarque aussi l'existence d'un groupe de relevés (classe 17) qui présentent une composition floristique assez variable à base de neutroclines et d'acidiphiles. Cette classe de relevés englobe en fait tous les points d'échantillonnage effectués dans les châtaigneraies. Ce dernier point nous permet de comprendre la situation de la châtaigneraie parmi les relevés constituant un nuage central dense. Nous avons pu identifier à proximité du point origine, un regroupement de relevés à flore peu différenciée, positionné à mi-distance entre les stations strictement acidiphiles ou neutroclines. De même, les stations à Châtaignier sont distribuées, en position médiane par rapport à F 1, vers les coordonnées positives de F 2.

Tableau III : Les unités floristiques mises en évidence dans la partition

CLASSE	EFFECTIF	GROUPES D'ESPECES INDICATRICES												NIVEAU TROPHIQUE			
		1	2	3.1	3.2	5	6	7	8	9	10.1 et 2	10.3	11		12		
1	86																ACIDIPHILE
2	14																TRES ACIDIPHILE
3	19																ACIDIPHILE
4	11																ACIDIPHILE "MODERE"
5	4																ACIDIPHILE
6	17																"AMPHI" (*).
7	21																ACIDIPHILE "MODERE"
8	61																ACIDIPHILE "MODERE"
9	61																MESOACIDIPHILE
10	3																NEUTROACIDICLINE
11	7																ACIDICLINE
12	18																MESOACIDIPHILE
13	19																ACIDIPHILE "MODERE"
14	3																ACIDICLINE
15	17																MESOACIDIPHILE
16	30																ACIDICLINE
17	8																MESOACIDIPHILE
18	12																NEUTROACIDICLINE
19+20	4																NEUTROCLINE

Pour la désignation des groupes indicateurs, on se reportera à l'annexe C

(*) Terme utilisé pour désigner une unité à composition floristique mal typée où les espèces acidiphiles et neutroclines jouent un rôle assez proche.

Légende :


	DOMINANT		NON DOMINANT, ABONDANT
	ABSENT		NON DOMINANT, DISSEMINÉ

Figure 4 : Structuration écologique des communautés végétales d'après le niveau trophique

UNITE FLORISTIQUE	TRES ACIDIPHILE	ACIDIPHILE	ACIDIPHILE "MODERE"	MESO-ACIDIPHILE	ACIDICLINE	NEUTROACI-DICLINE	NEUTROCLINE
GROUPES	10.3						2
	8		9	10.1	5	9	5
D'ESPECES	9	9	8	9	9	8	4
INDICATRICES	10.2	10.2	10.2	8	8	3.2	3.2
	10.1	10.1	10.1	3.1	3.1	3.1	3.1

<table style="border: none;"> <tr> <td style="background-color: black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td style="padding-left: 5px;">DOMINANT</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td style="padding-left: 5px;">ABSENT</td> </tr> </table>		DOMINANT		ABSENT	<table style="border: none;"> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td style="padding-left: 5px;">NON DOMINANT, ABONDANT</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td style="padding-left: 5px;">NON DOMINANT, DISSEMIINE</td> </tr> </table>		NON DOMINANT, ABONDANT		NON DOMINANT, DISSEMIINE
	DOMINANT								
	ABSENT								
	NON DOMINANT, ABONDANT								
	NON DOMINANT, DISSEMIINE								

Pour la désignation des groupes indicateurs, on se reportera à l'annexe C.

4. Résultats et interprétation : étape 2, étude quantitative

4.1. Résultats obtenus à l'aide de la partition de l'échantillon.

4.1.1. Remarques préliminaires

Après une première étude reposant sur le critère de présence-absence des espèces, nous nous proposons d'analyser les mêmes données en utilisant l'**Abondance-Dominance**.

Lors d'une recherche précédente (SIMONNOT, 1987, op. cit.), nous avons pu déjà déterminer les caractéristiques des résultats obtenus avec le coefficient d'abondance-dominance des espèces. Celles-ci avaient d'ailleurs été mises en lumière par certains auteurs (HUBERT, 1985, par ex.). Nous retenons un des intérêts de ce mode d'analyse qui réside dans les possibilités de mesurer l'importance des espèces dans la physionomie des communautés végétales.

Par ailleurs, plusieurs des traits caractéristiques de la végétation forestière du Morvan sont à prendre en considération :

- existence d'un parcellaire très morcelé, traduisant une surface de propriétés privées très largement dominante où l'on trouve des traitements sylvicoles très divers;
- exercice d'une pression très importante de la part de l'homme, qui a modifié profondément voire dégradé la forêt naturelle, au cours des périodes anciennes (**Annexe II**).

Enfin lors de l'étape précédente, nous avons constaté que le couvert formé par les essences dominantes exerçait une influence importante sur la composition et le développement du cortège floristique. Il y donc lieu de penser que l'examen de l'abondance-dominance des taxons au sein de notre échantillon s'intègre logiquement dans la démarche entreprise et qu'il est susceptible d'apporter un éclairage supplémentaire utile pour la description des unités floristiques déjà recensées.

4.1.2 Exploitation des résultats

La poids important donné par le coefficient d'abondance-dominance aux espèces arborescentes nous a incité à pratiquer trois calculs différents, afin de conserver la possibilité d'étudier indépendamment le comportement des espèces dans chaque strate prise isolément.

Le menu d'analyse reste identique à celui présenté au départ de l'étude floristique, mais nous sélectionnons trois ensembles de variables actives ("espèces") :

- toutes les espèces,
- les espèces du couvert arborescent seules,
- les espèces du sous-bois (strates arbustive, herbacée et muscinale) seules.

4.1.3. Description des résultats

A l'aide des données fournies par la C.A.H., nous exploitons directement les résultats des partitions issues des trois calculs proposés précédemment. Le nombre de classes retenu pour chaque partition est fixé par l'indice de niveau de la classification hiérarchique correspondante. Les partitions comprennent respectivement $N = 13$, $N = 10$ et $N = 12$ classes.

Dans l'analyse choisie, on note l'existence de trois types de variables : actives, les espèces ayant participé au calcul; illustratives (ou supplémentaires), les espèces soustraites du calcul et les modalités écologiques. Ces dernières jouent le même rôle au sein des groupes d'espèces que les variables supplémentaires employées dans l'A.F.C. (projections notamment). Pour l'interprétation, nous avons étudié simultanément les variables actives les plus caractéristiques de chaque classe (celles possédant les plus grandes valeurs-tests), les variables illustratives (modalités écologiques et espèces non actives).

Deux types de tableaux sont édités :

- les tableaux descriptifs des classes complètes fournissant la liste des variables et des modalités accompagnées de leur identificateur, des indicateurs de fréquence (de la classe par rapport à la modalité, de la modalité par rapport à la classe et globale), le poids et la valeur-test (**annexe F**);
- des tableaux synthétiques (**Tab. IV-1, IV-2, IV-3**), épurés des valeurs chiffrées, établissent directement la relation entre groupe d'espèces caractéristiques et modalités écologiques; l'effectif de chaque classe est précisé.

C'est sur les trois tableaux synthétiques que porte l'interprétation. En effet, il est difficile de réaliser une analyse de tableaux floristiques comme dans l'étape précédente. Les subdivisions obtenues ici sont des groupes de relevés isolés après un calcul utilisant un caractère quantitatif pour les espèces. L'abondance d'un taxon ou son état "disséminé" est moins évidente à relier à l'action d'un seul facteur écologique.

4.2 - Analyse des résultats

4.2.1. 1er tableau (IV.1)

Toutes les espèces sont des variables actives. Une partition en 13 classes a été demandée. Une première observation nous permet de remarquer que les espèces les plus significatives sont celles capables d'atteindre les plus forts recouvrements (valeurs 4 et 5 du coefficient d'Abondance-Dominance).

8 des 13 classes sont caractérisées par l'essence dominante : *Fagus sylvatica*, classe 1; *Castanea sativa*, classe 2; *Quercus petraea*, classe 3; *Quercus robur*, classes 7 et 8; *Carpinus betulus*, classe 11; *Prunus avium*, *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, classe 12; *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, classe 13;

5 par des taxons des strates inférieures dont 2 possèdent un effectif négligeable : *Deschampsia flexuosa*, *Calluna vulgaris*, classe 4; *Vinca minor*, *Carpinus betulus*, classe 6; *Festuca sylvatica*, *Ulmus montana*, classe 3.

L'observation des espèces les plus caractéristiques, dénote la présence :

- de toutes les essences potentiellement dominantes de la forêt du Morvan,
- la représentation assez importante des herbacées atteignant de forts recouvrements (*Deschampsia flexuosa*, *Holcus mollis*, *Vinca minor*, *Festuca heterophylla*,...),
- l'existence de classes possédant le même taxon caractéristique dans plusieurs strates (*Fagus sylvatica*, classe 1; *Castanea sativa*, classe 2; *Quercus robur*, classe 8).

L'identification du niveau trophique d'après les espèces représentées dans les classes permet de se resituer au niveau du gradient établi. Trois classes pour les forêts acidiphiles (classes 1,3,4,8) recensent les stations avec les sols les plus acides du territoire (brun ocreux, brun acide et colluvial acide) et qui occupent la partie supérieure des reliefs (sommet, haut de versant). Les forêts à Chêne pédonculé des classes 7 et 8 sont rencontrées sur plateau et possèdent des sols hydromorphes. Tous les autres groupes (9, 10, 11, 12 et 13) sont caractérisés par des paramètres stationnels habituels de la partie inférieure des reliefs : situation de versant, bas de versant, talweg, mull mésotrophe, sol colluvial acide ou mésotrophe. Ce groupe "trophique" est divisé en classes plus nombreuses, mais l'effectif global est moins élevé en raison d'une distribution plus réduite de ces forêts sur l'aire d'étude.

Les conditions de milieu associées à chaque classe nous aident à la reconstitution d'un transect synthétique assez cohérent, mais fondé uniquement sur une vue statistique. Il est nécessaire de poursuivre l'exploitation des résultats pour étayer ces premières déductions.

Tableau IV.1: Classes issues de la partition d'après l'analyse avec toutes les espèces actives

CLASSE	EFFECTIF	ESPECES CARACTERISTIQUES	VARIABLES ECOLOGIQUES
1	96	<i>Fagus sylvatica (As,a,p)</i> , <i>Pteridium aquilinum</i> , <i>Ilex aquifolium</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Rhytidiadelphus loreus</i>	Futaie sur souche, sol brun ocreux, moder, sol brun andique, tuf volcanique viséen inférieur
2	28	<i>Castanea sativa(As,a)</i> , <i>Galium aparine</i> , <i>Rubus pl.</i>	Granite à deux micas, mull oligotrophe, granite porph. de Lucenay, granite porphyroïde, taillis-sous-futaie
3	84	<i>Holcus mollis</i> , <i>Quercus petrea(As)</i> , <i>Teucrium scorodonia</i> , <i>Quercus petrea(p)</i> , <i>Lonicera periclymenum</i> , <i>Carpinus betulus (a)</i>	Mull oligotrophe, sol colluvial acide, sol brun acide, sommet arrondi, aplite
4	66	<i>Quercus petrea (a)</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Pseudoscleropodium purum</i> , <i>Melampyrum pratense</i> , <i>Leucobryum glaucum</i> , <i>Quercus petrea (p)</i>	Sol brun ocreux, mull-moder, haut de versant, moder, taillis vieilli
5	1	<i>Carex glauca</i> , <i>Juncus conglomeratus</i> , <i>Juniperus communis</i> , <i>Epilobium montanum</i> , <i>Carex sylvatica</i> , <i>Deschampsia coespitosa</i>	Marnes, sol brun mésotrophe à pseudogley, exposition est, mull mésotrophe, versant
6	7	<i>Vinca minor</i> , <i>Carpinus betulus (Ai)</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Acer campestre (a)</i> , <i>Hedera helix</i> , <i>Eurhynchium striatum</i>	Mull mésotrophe, sol brun mésotrophe, marnes, taillis-sous-futaie, sol colluvial acide
7	63	<i>Quercus robur (As)</i> , <i>Carpinus betulus (a)</i> , <i>Hedera helix</i> , <i>Deschampsia coespitosa</i> , <i>Populus tremula (Ai)</i> , <i>Convallaria maialis</i> , <i>Eurhynchium striatum</i>	Taillis-sous-futaie, plateau, exposition nulle, hydromull
8	5	<i>Quercus robur (a, As, p)</i> , <i>Salix aurita</i> , <i>Betula pendula (As)</i> , <i>Melampyrum pratense</i> , <i>Molinia caerulea</i>	Exposition nulle, sol brun acide à pseudogley, granite porphyroïde, plateau
9	3	<i>Festuca altissima</i> , <i>Ulmus montana (Ai)</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>Rhytidiadelphus loreus</i> , <i>Polypodium vulgare</i> , <i>Tilia platyphyllos (a)</i> , <i>Dryopteris dilatata</i> , <i>Oxalis acetosella</i>	Exposition est, dysmoder, sol colluvial acide, granite porphyroïde à biotite
10	1	<i>Tilia platyphyllos (Ai)</i> , <i>Lathyrus montanus</i> , <i>Festuca heterophylla</i> , <i>Rosa arvensis</i> , <i>Silene nutans</i> , <i>Valeriana officinalis</i> , <i>Melica uniflora</i> , <i>Acer campestre</i>	Rhyolite calco-alkaline, exposition sud, sol colluvial acide, versant, mull oligotrophe
11	25	<i>Carpinus betulus (As)</i> , <i>Mnium undulatum</i> , <i>Melica uniflora</i> , <i>Viola sylvestris</i> , <i>Lamium galeobdolon</i>	Mull mésotrophe, bas de versant, sol colluvial acide, sol brun alluvial, granulite
12	17	<i>Prunus avium (As)</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Fraxinus excelsior (As)</i> , <i>Thamnum alopecurum</i> , <i>Acer pseudoplatanus (As)</i>	Tuf volcanique viséen inférieur, exposition nord-est, taillis, versant, tuf de trachyandésite
13	20	<i>Acer pseudoplatanus (As)</i> , <i>Milium effusum</i> , <i>Endymion non-scriptum</i> , <i>Lamiastrum galeobdolon</i> , <i>Salix caprea</i> , <i>Galium odoratum</i> , <i>Fraxinus excelsior</i>	Sol colluvial acide, mull mésotrophe, thalweg, futaie sur souche, bas de versant

As, arborescent supérieur; Ai, arborescent inférieur; a, arbustif.

4.2.2. 2ème tableau (IV.2)

Les espèces arborescentes sont seules actives dans le calcul. Une partition en 10 classes a été demandée. Après un premier calcul, il s'est avéré nécessaire de retirer les essences trop rares des variables actives (*Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*, *Ulmus montana*).

Le tableau de résultats obtenu est constitué de 10 classes dont les caractéristiques les plus significatives sont les essences dominantes ou dominées. 7 des 10 classes comportent comme espèce caractéristique des essences représentées en strate arborescente supérieure : *Fagus sylvatica*, (cl. 1), *Quercus petraea*, (cl. 2), *Castanea sativa*, (cl. 3), *Quercus robur* (cl. 4), *Alnus glutinosa* (cl. 7), *Acer pseudoplatanus* (cl. 9) *Carpinus betulus* (cl. 10).

Trois autres ensembles (cl. 4, 5, 8) proposant le regroupement de forêts marquées par une strate arborescente inférieure à base de quelques essences dominantes : *Carpinus betulus*, *Quercus petraea*, *Acer pseudoplatanus*.

Toutes les classes isolées confirment le résultat de l'analyse du premier tableau. Sont représentées comme caractéristiques, les essences potentiellement dominantes de la forêt du Morvan. Le tableau à 10 classes obtenu propose une classification équivalente à celle de la première analyse, excepté pour les faciès signalés par des espèces du sous-bois qui ne sont plus individualisés.

Pour chaque ensemble de relevés, les groupes de caractéristiques formés permettent de reconstituer la combinaison dendrologique dominante. Une seule essence caractérise les classes 2 (*Quercus petraea*), 1 (*Fagus sylvatica*), 3 (*Castanea sativa*), 6 (*Quercus robur*), et 7 (*Alnus glutinosa*).

Deux essences dominent dans les relevés des groupes 9 et 10 : respectivement *Acer pseudoplatanus* et *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus* et *Populus tremula*. Enfin, les classes 4, 5 et 8 semblent mettre en évidence des forêts possédant un sous-étage ou une strate arborescente dominante basse dont la composition dendrologique est à base de Chêne sessile et Bouleau verruqueux (cl. 5), Charme, Tremble, Bouleau verruqueux (cl. 4), Erable sycomore et Frêne commun (cl. 8).

On note toujours une individualisation nette des chataigneraies comme dans le premier tableau. Par différence avec l'analyse précédente, les espèces déterminantes (actives dans le calcul) sont moins nombreuses. La mise en relation de celles-ci avec les modalités des variables stationnelles qui leur sont associées devient donc plus informative.

L'étude des variables écologiques nous indique une classification des modalités écologiques attachées aux groupes de relevés du même type que la précédente avec :

- des forêts des stations sur sols acides, en situation de sommet, haut de versant et plateau,
- des forêts situées sur la partie inférieure des versants et sur le fond des vallées.

On relève des liaisons assez nettes entre certaines espèces arborescentes et les conditions de milieu. *Quercus petraea* semble distribué majoritairement sur les sols bruns acides. *Quercus robur* est très lié aux sols hydromorphes. *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium*, s'accommodent de sols peu différenciés; *Carpinus betulus*, de même, mais dans une moindre proportion.

Tableau IV.2 : Classes issues de la partition d'après l'analyse avec espèces arborescentes actives

CLASSE	EFFECTIF	ESPECES CARACTERISTIQUES	VARIABLES ECOLOGIQUES
1	101	<i>Fagus sylvatica</i> (As), <i>Fagus sylvatica</i> (a)	Futaie sur souche, sol brun ocreux, moder, exposition nord, tuf volcanique viséen inférieur
2	146	<i>Quercus petrea</i> (As), <i>Quercus petrea</i> (a), <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Quercus petrea</i> (p), <i>Pseudoscleropodium purum</i> , <i>Teucrium scorodonia</i> , <i>Lonicera periclymenum</i>	Sol brun acide, sommet arrondi, mull oligotrophe, lias et infralias, plateau
3	34	<i>Castanea sativa</i> (As), <i>Castanea sativa</i> (a), <i>Castanea sativa</i> (p), <i>Galium aparine</i>	Granite à deux micas, granite porphyroïde, taillis-sous-futaie, mull oligotrophe
4	27	<i>Carpinus betulus</i> (Ai), <i>Populus tremula</i> (Ai), <i>Betula pendula</i> (Ai), <i>Fraxinus excelsior</i> (Ai)	Plateau, taillis-sous-futaie, sédimentaire silicifié, mull mésotrophe
5	10	<i>Quercus petrea</i> (Ai), <i>Juniperus communis</i> , <i>Betula pendula</i> (Ai), <i>Pseudoscleropodium purum</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Silene nutans</i>	Exposition nulle, sommet arrondi, granophyre calco-alcalin, tuf volc. acide Viséen
6	34	<i>Quercus robur</i> (As), <i>Carpinus betulus</i> (a), <i>Quercus robur</i> (a), <i>Quercus robur</i> (p), <i>Hedera helix</i>	Sol brun acide à pseudogley, thalweg, mull oligotrophe, sables et graviers
7	6	<i>Alnus glutinosa</i> (As), <i>Lamium galeobdolon</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Circea lutetiana</i> , <i>Stellaria nemorum</i> , <i>Eurhynchium striatum</i> , <i>Vinca minor</i>	Thalweg, mull mésotrophe, sol brun mésotrophe, gley, hydromull
8	3	<i>Acer pseudoplatanus</i> (Ai), <i>Sanicula europaea</i> , <i>Endymion non-scriptum</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> (As), <i>Paris quadrifolia</i> , <i>Galium odoratum</i> , <i>Euphorbia amygdaloides</i> , <i>Polygonatum multiflorum</i> , <i>Stellaria holostea</i>	Sol colluvial acide, thalweg, intercalations grésoschisteuses, tuf de trachyandésite, mull mésotrophe
9	24	<i>Acer pseudoplatanus</i> (As), <i>Fraxinus excelsior</i> (As), <i>Prunus avium</i> (As), <i>Corylus avellana</i> , <i>Lamium galeobdolon</i>	Mull mésotrophe, sol colluvial acide, taillis, thalweg
10	31	<i>Carpinus betulus</i> (As), <i>Lamium galeobdolon</i> , <i>Plagiomnium undulatum</i> , <i>Populus tremula</i> (Ai), <i>Viola sylvestrís</i> , <i>Melica uniflora</i>	Mull mésotrophe, bas de versant, sol colluvial acide, granite porphyroïde à biotite, taillis vieilli

As, arborescent supérieur; Ai, arborescent inférieur; a, arbustif; p, plantule.

Enfin, l'exploitation peut s'achever avec l'observation des modalités écologiques des classes identifiées par des espèces de la strate arborescente inférieure. Nous écarterons la classe 8 à très faible effectif qui semble très voisine de la classe 9. Les classes 4 et 5 présentent des modalités écologiques qui, comme pour les châtaigneraies, ne se prêtent pas à une interprétation précise. Les variables "humus" et "sol" sont très faiblement significatives à l'inverse des classes déterminées par les essences dominantes.

Il est aussi à souligner que les variables attachées à certains groupes d'espèces ne révèlent aucune signification et de ce fait montrent la difficulté d'appréhender l'écologie de l'espèce : cas des châtaigneraies ne comportant que des modalités décrivant le substrat géologique et la physionomie.