UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document 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. 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.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

9u INPL035N

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

BIU NANCY
Service Commun de Documentation
INPL
2, avenue de la Forêt de Haye - B.P. 3
54501 VANDOEUVRE Cédex FRANCE

THESE

présentée par
Philippe FLEURY

pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
EN SCIENCES AGRONOMIQUES

LE DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE DES VEGETATIONS PRAIRIALES ET SON UTILISATION DANS LA GESTION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES.

Typologies fondées sur les aptitudes des prairies à remplir des fonctions.
Méthode et applications dans les Alpes du Nord.

Soutenue le 24 Février 1994 devant la commission d'examen :

M. GUCKERT A.	Professeur, ENSAIA, Nancy	Président
M. HUBERT B.	Directeur de Recherches, INRA, Avignon	Rapporteur
M. LEMAIRE G.	Directeur de Recherches, INRA, Lusignan	Rapporteur
M. CHARLES J.P.	Directeur adjoint, Station Fédérale de Recherches Agronomiques, Changins	Examinateur
M. JE[illegible]	r de Recherches, INRA, Versailles	Examinateur
M. PL[illegible]	e Conférence, ENSAIA, Nancy	Examinateur
M. PE[illegible]	t de l'Union des Producteurs de Beaufort, Albertville	Examinateur

D 136 001073 3

1360010733

94 INPL035N

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

[M]1994 FLEURY, Ph.

THESE

BIU NANCY
Service Commun de Documentation
INPL
2, avenue de la Forêt de Haye - B.P. 3
54501 VANDOEUVRE Cédex FRANCE

présentée par
Philippe FLEURY

pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
EN SCIENCES AGRONOMIQUES

LE DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE DES VEGETATIONS PRAIRIALES ET SON UTILISATION DANS LA GESTION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES.

Typologies fondées sur les aptitudes des prairies à remplir des fonctions.
Méthode et applications dans les Alpes du Nord.

Soutenue le 24 Février 1994 devant la commission d'examen :

M. GUCKERT A.	Professeur, ENSAIA, Nancy	Président
M. HUBERT B.	Directeur de Recherches, INRA, Avignon	Rapporteur
M. LEMAIRE G.	Directeur de Recherches, INRA, Lusignan	Rapporteur
M. CHARLES J.P.	Directeur adjoint, Station Fédérale de Recherches Agronomiques, Changins	Examinateur
M. JEANNIN B.	Ingénieur de Recherches, INRA, Versailles	Examinateur
M. PLANTUREUX S.	Maître de Conférence, ENSAIA, Nancy	Examinateur
M. PELLICIER B.	Président de l'Union des Producteurs de Beaufort, Albertville	Examinateur

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu être initié, poursuivi et achevé sans la participation, les incitations et les encouragements d'un grand nombre de personnes que je remercie. Je ne souhaite pas établir un ordre d'importance dans ces appuis, puiqu'ils furent tous nécessaires. J'ai donc choisi une formule simple, en trois paragraphes.

Je remercie B. Jeannin et J.M. Dorioz avec qui j'ai fait un long bout de chemin, ce travail est le fruit de cette collaboration. Je remercie F.X. de Montard et Jeanne Françoise Vincent qui m'ont réconcilié avec les exercices académiques.

Je remercie tous les gens qui m'ont aidé, par leurs idées, leur coup de main ou le temps qu'ils m'ont consacré dans la réalisation de cette thèse. Je remercie aussi tous ceux qui ont soutenu, ou qui ont participé à ce dont je parle ici, le travail sur les prairies de fauche : C. Cohendet, M. Hudry, J. Robert, X. Folliet, Agnès Hauwuy, Ph. Moyroud, J. Longueville, G. Larrieu, D. Curtenaz, Suzanne Badin, Isabelle Philippot, M. Dupuy, J. Andrieu, Jocelyne Aufrère, C. Demarquilly, M. Viallet, G. Viallet, B. Bal, J.P. Roumet, H. et Nathalie Lhottelier, D. Trevisan, B. Cristofini, Brigitte Dubeuf, Laurence de Bonneval et R. Fleury.

Je remercie enfin le directeur de cette thèse Monsieur Guckert et les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail et qui l'ont guidé dans sa phase finale : Messieurs Hubert, Lemaire, Charles, Plantureux et Pellicier.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION **1**

PREMIERE PARTIE. DEFINIR LES BESOINS EN CONNAISSANCES SUR LES PRAIRIES **6**

INTRODUCTION : DANS QUELLES CONDITIONS PARLER D'OUTILS ?6

I - LA CONCEPTION D'OUTILS TECHNIQUES 7
1 - Le diagnostic agronomique..... 7
A) Diagnostic agronomique et aide à la décision..... 7
B) Diagnostic et references agronomiques..... 8
2 - Definir les objectifs d'une étude sur les prairies 8
A) Replacer le problème technique dans l'unité de gestion 8
B) Le concept de fonction des surfaces 8
C) La fonction parcellaire : une liaison simple entre surfaces et unité de gestion..... 10
D) Les critères d'aptitude prairiaux 11
E) Valeur d'usage des prairies 11
3 - Créer des outils opérationnels..... 12
A) Les différents types d'outils agronomiques..... 12
B) Connaissances scientifiques et connaissances pratiques..... 13
C) Le cahier des charges d'un outil de diagnostic sur les prairies 13
4 - Les étapes d'une recherche-développement sur les prairies 14
5 - Synthèse..... 15

II - FONCTIONS ET CRITERES D'APTITUDE DES PRAIRIES DANS LES ALPES DU NORD..... 16
1 - Fonctions des prairies et pratiques agricoles..... 16
A) Fonctions des prairies..... 16
1 - Identification des fonctions parcellaires 17
1 - Inventaire des fonctions parcellaires 18
B) Pratiques agricoles 18
2 - Plusieurs critères fourragers pour caractériser la valeur d'usage 19
3 - Les prairies dans le contexte biogéographique des Alpes du Nord... 20
A) Divisions biogéographiques et conséquences climatiques et pédologiques 20
B) Quelques traits de la végétation des prairies..... 21

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA PREMIERE PARTIE..... 22

DEUXIEME PARTIE. IDENTIFIER LES ETATS DE VEGETATION INFLUANT SUR LES APTITUDES AGRICOLES DES PRAIRIES 23

INTRODUCTION..... 23

I - MODE D'ACTION DES FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LES APTITUDES AGRICOLES DES COUVERTS PRAIRIAUX..... 24
1 - Description et analyse de la végétation..... 24
A) Plusieurs points de vues sur la végétation 24
1 - Quelques définitions de spécialistes 24
2 - Les agriculteurs pratiquent un diagnostic complexe... 25
B) Définitions retenues..... 28
1 - Plusieurs niveaux hiérarchiques dans la végétation.... 28
2 - Plusieurs modes de description de la végétation..... 28
2 - Facteurs et descripteurs écologiques..... 29
A) Définitions 29
B) Identification de descripteurs écologiques pertinents..... 30
3 - Mode d'action des facteurs écologiques sur les aptitudes des couverts prairiaux..... 31
A) Différents niveaux d'action des facteurs écologiques..... 31
B) Stratégies adaptatives et convergence ecologique..... 32
1 - Stratégies adaptatives..... 32
1 - Convergence écologique 33
C) Relations entre facteurs écologiques, végétation et valeur d'usage agricole 34

II - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES ETATS DE VEGETATION UTILISES POUR LES DIAGNOSTICS ECOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES 35
1 - Diagnostic botanique dans les prairies..... 36
A) Composition floristique et facteurs du milieu et des pratiques 36
B) Composition floristique et diagnostic agronomique 37
2 - Diagnostics sur la base de la morphologie et de la structure des végétations..... 38
A) Morphologie, structure de la végétation et conditions écologiques..... 38
B) Variabilité morphologique intraspécifique..... 39
C) Composition morphologique des plantes et conséquences sur la valeur nutritive 40
D) Morphologie et structure de la végétation : diagnostic agronomique à l'échelle de la communauté 41

III - DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET CONVERGENCES ENTRE ESPECES DANS LES ALPES DU NORD 42
1 - Matériel et méthodes..... 43
A) Diversité intraspécifique et valeur nutritive dans les prairies de fauche 43
1 - Observations de terrain..... 43

2 - Techniques statistiques 44
B) Diversité intraspécifique et appétibilité dans les prairies pâturées 45
C) Diagnostic direct à l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues 46
1 - Variations de composition morphologique des communautés 46
2 - Morphologie et valeur d'usage des communautés 46
2 - Résultats et discussion 47
A) Diversité intraspécifique et valeur nutritive dans les prairies de fauche 47
1 - Variabilité intraspécifique de morphologie et de structure 47
2 - Conséquences des variations physionomiques de *Dactylis* sur sa valeur nutritive 50
3 - Conséquences des variations physionomiques des autres espèces sur leur valeur nutritive 54
4 - Synthèse : convergences entre espèces 55
B) Diversité intraspécifique et appétibilité dans les prairies pâturées 56
1 - Variations d'appétibilité des espèces suivant leur physionomie 56
2 - Structure de la végétation et consommation au pâturage 59
3 - Synthèse : le pâturage facteur de structuration de la végétation 61
C) Diagnostic direct à l'échelle de la communauté toutes espèces confondues 63
1 - Morphologie moyenne des communautés 63
2 - Morphologie de la végétation toutes espèces confondues et valeur d'usage 64

IV - LES FACTEURS DE VARIATION DES APTITUDES AGRICOLES DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE DES ALPES DU NORD 65
1 - Matériel et méthodes 66
A) Protocole de mesure de la production et de la valeur nutritive des fourrages verts 66
B) Protocole de mesure de la récoltabilité des fourrages 67
C) Mesure de la valeur d'encombrement des foins 68
2 - Résultats et discussion 68
A) Analyse de l'évolution de la biomasse 68
1 - Evolution durant le premier cycle, des facteurs de variation de la biomasse 69
2 - Hiérarchie des facteurs de variation de la biomasse durant le premier cycle 69
3 - Discussion : l'effet des facteurs écologiques sur la biomasse ne dépend pas de la végétation 70

B) Analyse de l'évolution de la valeur nutritive 71
1 - Facteurs de variation de la valeur nutritive..... 71
2 - Discussion : les facteurs écologiques ont un effet complexe sur la valeur nutritive..... 72
C) Séchage et modifications de valeur nutritive durant la fenaison..... 73
1 - Différences de séchage entre espèces et organes..... 73
2 - Facteurs de variation des besoins en séchage des foins 75
3 - Modifications de valeur nutritive durant la fenaison .. 76
4 - Synthèse sur la récoltabilité des fourrages..... 77
D) Valeur d'encombrement des foins 78
Synthèse sur les facteurs de variation de la valeur d'usage des prairies de fauche 79

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA DEUXIEME PARTIE..... 80

TROISIEME PARTIE. COMPRENDRE LES DETERMINISMES DES ETATS DE VEGETATION 82

INTRODUCTION..... 82

I - MATERIEL ET METHODES 84
1 - Echantillonnage des stations..... 84
A) Echantillon régional des prairies de fauche..... 84
B) Echantillon des prairies pâturées de l' étage montagnard externe 85
2 - Descripteurs écologiques utilisés 85
3 - Modes de description de la végétation..... 86
A) Méthodes d'inventaire de la végétation 86
1 - Composition floristique..... 86
2 - Structure et physionomie de la végétation 87
B) Constitution des groupes morphologiques et structuraux 88
1 - Regroupements d'espèces de même morphologie 88
2 - Les regroupements d'individus par groupes morpho-structuraux..... 89
3 - Mise au point d'une liste d'éléments structuraux..... 90
4 - Architecture de la végétation 91
4 - Techniques d'analyse des données 91
A) Echantillon des prairies de fauche 92
B) Echantillon des prairies paturées 93

II - RESULTATS ET DISCUSSION. LES FACTEURS INFLUENCANT LA VEGETATION DES PRAIRIES DANS LES ALPES DU NORD 94
1 - Caractéristiques générales de la végétation 94
A) Fréquence d'occurence des espèces..... 94
B) Une relative homogénéité phytosociologique des prairies 95
C) Grands traits de la végétation..... 95

2 - Analyse régionale de l'effet des facteurs écologiques sur la végétation des prairies de fauche 96
A) Liaisons entre couples de descripteurs écologiques 96
B) Facteurs écologiques influencant la végétation des prairies ... 96
C) Présences des espèces et morpho-structure des individus. Deux modes extrêmes de relations végétation-facteurs écologiques..... 97
1 - Présence des espèces..... 98
2 - Morpho-structure des individus 98
3 - Effet des facteurs écologiques sur la végétation des prairies de fauche du montagnard externe 100
A) Liaisons entre couples de descripteurs écologiques 100
B) Facteurs écologiques influençant la végétation des prairies ... 100
C) Etats de végétation et descripteurs écologiques 101
1 - Présence des espèces..... 101
2 - Abondances des espèces..... 101
3 - Morphologie potentielle des espèces..... 102
4 - Groupes morpho-structuraux d'individus 103
D) Synthèse : états de végétation indicateurs des conditions écologiques des prairies de fauche..... 103
4 - Effet des facteurs écologiques sur la végétation des prairies pâturées du montagnard externe..... 105
A) Liaisons entre descripteurs écologiques..... 105
B) Contrastes entre stations suivant le mode de description de la végétation..... 106
C) Facteurs influençant la végétation des prairies pâturées 107
D) Etats de végétation indicateurs des conditions écologiques ... 108
1 - Présences des espèces..... 109
2 - Abondances des espèces..... 109
3 - Recouvrement des éléments structuraux 110
4 - Structure et architecture de la végétation 110
E) Ecologie comparée des éléments structuraux et des espèces .. 111
F) Synthèse : grands types d'éléments structuraux et descripteurs écologiques..... 112

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA TROISIEME PARTIE 114

QUATRIEME PARTIE. REALISATION D'UNE TYPOLOGIE DES VALEURS D'USAGE AGRICOLE..... 115

INTRODUCTION..... 115

I - MATERIEL ET METHODES..... 116
1 - Une typologie conçue pour des utilisations précises..... 116
A) Les rapports entre recherche et développement..... 116
B) Besoins du développement en références fourrragères..... 117
2 - Une élaboration interactive..... 118

A) Le groupe de travail sur les fourrages..... 118
B) Le choix d'un modèle typologique..... 118
C) Des actions de diffusion avant la fin du travail de recherche . 118
3 - Principes de construction méthodologique..... 119
A) Point bibliographique..... 119
B) Une construction dirigée et non pas une classification automatique..... 120
1- Présentation de la méthode mise au point..... 120
2 - Echantillonnage des stations..... 121

II - RESULTATS..... 122
1 - La structure de la typologie..... 122
A) Facteurs de variation de la valeur d'usage..... 122
B) Un outil qui doit permettre le dialogue..... 123
2 - Présentation de la typologie des prairies de fauche..... 123
A) La zone de validité..... 124
B) la clef de reconnaissance des types de prairies de fauche..... 124
1 - Choix d'états de végétation pertinents..... 124
2 - Les indicateurs de la clef..... 125
C) Les informations par type de prairie..... 125
D) Fonctions des prairies et solutions techniques..... 126

III - DISCUSSION..... 127
1 - Validation de la méthode typologique utilisée..... 127
2 - Une approche globale et discontinue est-elle justifiée ?..... 128
A) Les types fournissent une interprétation des phénomènes..... 129
B) Les types structurent la diversité..... 129
3 - Typologie des prairies et aide à la décision..... 130
A) Utilisation de la typologie dans le conseil agricole..... 130
B) Enrichissements du modèle actuel..... 131
C) La construction de la typologie a modifié les modes de raisonnement des acteurs..... 132
D) Fonctions parcellaires et fonctionnement fourrager des exploitations..... 132
4 - Reproductibilité et adaptabilité du modèle..... 134

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA QUATRIEME PARTIE..... 135

CONCLUSION GENERALE..... 136

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1. FONCTIONS DES SURFACES FOURRAGERES DANS LES ALPES DU NORD..... 1

ANNEXE 2. LES STADES PHENOLOGIQUES DES GRAMINEES ET DES DICOTYLEDONES 7

ANNEXE 3. DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET VALEUR NUTRITIVE DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE. Equations de régressions..... 9

ANNEXE 4. VALEUR D'USAGE DES PRAIRIES DE FAUCHE. PRODUCTION ET VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES VERTS. Protocole et résultats complémentaires 12

ANNEXE 5. VALEUR D'USAGE DES PRAIRIES DE FAUCHE. RECOLTABILITE DES FOURRAGES. Protocole et résultats complémentaires 21

ANNEXE 6. ENQUETE SUR LES RELATIONS ENTRE LES PRATIQUES AGRICOLES, LE MILIEU PHYSIQUE ET LA VEGETATION. Protocoles et résultats compléméntaires 26

ANNEXE 7. TABLES DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES DU TYPE FM3 A "GERANIUM ET GRAMINEES EN TAPIS REGULIER" 35

ANNEXE 8. LISTE DES ESPECES PRESENTES DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE DES ALPES DU NORD 36

ANNEXE 9. LISTE DES ESPECES PRESENTES DANS LES PRAIRIES PATUREES DES ALPES DU NORD 40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : L'objet et la méthodologie de la recherche.

Figure 1-1 : Première partie : définir les besoins en connaissances sur les prairies.

Figure 1-2 : Pratiques agricoles et fonctions parcellaires dans le processus de production de l'exploitation agricole.

Figure 1-3 : Les étapes d'une recherche-développement sur les prairies.

Figure 1-4 : Les grandes zones biogéographiques des Alpes du Nord : avant-pays et fonds de vallées, zones externes, intermédiaires et internes.

Figure 2-1 : Deuxième partie : identifier les états de végétation influant sur les aptitudes agricoles des prairies.

Figure 2-2 : Plusieurs points de vue sur la végétation.

Figure 2-3 : La structure influence aussi la physionomie d'une prairie et peut s'observer, comme la composition floristique.

Figure 2-4 : Niveaux d'action des facteurs écologiques sur la végétation.

Figure 2-5 : Mode d'action des facteurs écologiques sur les aptitudes des couverts végétaux.

Figure 2-6 : Diversité intraspécifique et conséquences sur la valeur nutritive. Situation géographique des sites de mesures.

Figure 2-7 : Physionomie de *Dactylis glomerata* et de *Geranium sylvaticum.*

Figure 2-8 : Variations du pourcentage pondéral de talles reproductrices de *Dactylis* suivant sa physionomie.

Figure 2-9 : Variations du taux de sénescence de *Dactylis* suivant sa physionomie.

Figure 2-10 : Variations de la longueur des tiges de *Dactylis* suivant sa physionomie.

Figure 2-11 : Variations de la digestibilité de *Dactylis* suivant sa physionomie. (valeurs ajustées en fonctions de l'âge).

Figure 2-12 : Variations de la digestibilité de *Dactylis* suivant sa physionomie. (nuages de points et coefficients de corrélation).

Figure 2-13 : Variations de la teneur en matières azotées totales de *Dactylis* suivant sa physionomie. (valeurs ajustées en fonctions de l'âge).

Figure 2-14 : Variations de la teneur en matières azotées totales de *Dactylis* suivant sa physionomie. (nuages de points et coefficients de corrélation).

Figure 2-15 : Variations de la digestibilité des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur longueur.

Figure 2-16 : Variations de la digestibilité des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur âge.

Figure 2-17 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur longueur.

Figure 2-18 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur âge.

Figure 2-19 : Variations de la digestibilité des talles reproductrices et herbacées de *Dactylis.*

Figure 2-20 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices et herbacées de *Dactylis.*

Figure 2-21 : Variations de la digestibilité des talles herbacées de *Dactylis.* Vallées externes et internes.

Figure 2-22 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices de *Dactylis.* Vallées externes et internes.

Figure 2-23 : Variations de la digestibilité de *Festuca pratensis* suivant sa physionomie : (vallées externes et internes).

Figure 2-24 : Variations de la digestibilité de *Geranium sylvaticum* suivant sa physionomie : (vallées externes et internes).

Figure 2-25 :Variations de la teneur en matières azotées totales de *Festuca pratensis* suivant sa physionomie : (vallées externes et internes).

Figure 2-26 :Variations de la teneur en matières azotées totales de *Geranium sylvaticum* suivant sa physionomie : (vallées externes et internes).

Figure 2-27 : Variations de la digestibilité de *Dactylis* et de *Festuca pratensis* en fonction de leur physionomie.

Figure 2-28 : Variations de la teneur en matières azotées totales de *Dactylis* et de *Festuca pratensis* en fonction de leur physionomie.

Figure 2-29 : Variations de la DMO des éléments structuraux dans une végétation à touffes de graminées à feuilles larges et tapis de graminées à feuilles moyennes.

Figure 2-30 : Variations de la MAT des éléments structuraux dans une végétation à touffes de graminées à feuilles larges et tapis de graminées à feuilles moyennes.

Figure 2-31 : Appétibilité au pâturage et sociabilité des talles de *Festuca arundinacea*.

Figure 2-32 : Appétibilité au pâturage et mode d'agrégation des brins d'herbe dans la végétation.

Figure 2-33 : Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert. Homogénéité morphologique entre éléments structuraux.

Figure 2-34 : Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert. Légère hétérogénéité entre éléments structuraux.

Figure 2-35 : Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert. Forte hétérogénéité entre éléments structuraux.

Figure 2-36 : Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert. Interaction entre éléments structuraux.

Figure 2-37 : Variations du pourcentage de tiges en fonction du niveau de nutrition : ensemble de la communauté.

Figure 2-38 : Variations du taux de sénescence en fonction du niveau de nutrition : ensemble de la communauté.

Figure 2-39 : Variations du pourcentage de tiges en fonction du niveau de nutrition : ensemble des graminées.

Figure 2-40 : Variations du taux de sénescence en fonction du niveau de nutrition : ensemble des graminées.

Figure 2-41: Variations du pourcentage de tiges en fonction du niveau de nutrition : ensemble des dicotylédones.

Figure 2-42 : Variations du taux de sénescence en fonction du niveau de nutrition : ensemble des dicotylédones.

Figure 2-43 : Morphologie de la végétation toutes espèces confondues et valeur d'usage dans les prairies de fauche. Analyse factorielle des correspondances multiples.

Figure 2-44 : Le Beaufortain et le pays de Thônes dans les Alpes du Nord.

Figure 2-45 : Production de matière sèche durant le 1er cycle : variations décadaires de l'écart moyen apparent des variables explicatives.

Figure 2-46 : Courbes de dessiccation d'organes de différentes espèces des prairies de fauche des Alpes du Nord.

Figure 2-47 : Courbes de dessiccation de différentes végétations des Alpes du Nord.

Figure 2-48 : Relations entre les valeurs d'encombrement (UEL) et énergétique (UFL) des foins des Alpes du Nord.

Figure 3-1 : Troisième partie : comprendre les déterminismes des états de végétation.

Figure 3-2 : Les régions dans lesquelles ont été réalisées les enquêtes.

Figure 3-3 : Les trois grands types d'éléments structuraux : touffe, tache et tapis.

Figure 3-4: Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche. **Présence des espèces.**

Figure 3-5 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche. **Morpho-structure détaillée des individus.**

Figure 3-6 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe. **Abondance des espèces.**

Figure 3-7 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe. **Morphologie potentielle des espèces.**

Figure 3-8 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe. **Morpho-structure des individus.**

Figure 3-9 : Abondances moyennes, par classe de fertilisation, de différents états de végétation. Prairies de fauche de l'étage montagnard des Alpes du Nord externes.

Figure 3-10 : Sous-nuage de quelques espèces dans le plan F1XF2 des relevés. Pâtures des Alpes du Nord.

Figure 3-11 : Variables écologiques et états de végétation dans l'AFCVI réalisée avec azote apporté et taux de consommation.Pâtures des Alpes du Nord. **Recouvrement des éléments structuraux.**

Figure 3-12 : Sous-nuage des réactions de la végétation dans les zones influencées par les déjections. Plan F1XF2 des relevés. Pâtures des Alpes du Nord.

Figure 3-13 : Sous-nuage de quelques espèces et éléments structuraux dans le plan F1XF2 des relevés. Pâtures des Alpes du Nord.

Figure 4-1 : Quatrième partie. Réalisation d'une typologie des valeurs d'usage agricole.

Figure 4-2 : Secteurs de test de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord externes.

Figure 4-3 : Zone de validité de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord externes.

Figure 4-4 : Clef de reconnaissance des types de prairies de fauche des Alpes du Nord externes.

Figure 4-5 : Exemple de fiche. Cas du type prairial FM3 à "géranium et graminées en tapis régulier". Déterminants écologiques.

Figure 4-6 : Exemple de fiche. Cas du type prairial FM3 à "géranium et graminées en tapis régulier". Appréciation globale et dynamique.

Figure 4-7 : Exemple de fiche. Cas du type prairial FM3 à "géranium et graminées en tapis régulier". Table de la valeur alimentaire.

Figure 4-8 : Méthode de prévision et mode de diagnostic de la valeur d'usage agricole dans la typologie des prairies de fauche.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Fonctions des prairies de fauche des Alpes du Nord.

Tableau 1-2 : Principales fonctions des prairies pâturées et des prairies mixtes fauchées et pâturées des Alpes du Nord.

Tableau 1-3 : Les critères fourragers assurant une bonne aptitude des couverts prairiaux pour les différentes fonctions des prairies de fauche.

Tableau 1-4 : Les critères fourragers assurant une bonne aptitude des couverts prairiaux pour les différentes fonctions des prairies pâturées et mixtes fauchées et pâturées.

Tableau 1-5 : Caractéristiques climatiques des zones biogéographiques des Alpes du Nord.

Tableau 1-6 : Principaux résultats de la première partie. Exemples de fonctions des prairies de fauche des Alpes du Nord et critères de la valeur d'usage.

Tableau 2-1 : Facteurs écologiques et descripteurs de l'environnement des communautés.

Tableau 2-2 : Les regroupements d'espèces herbacées sur la base de critères morphologiques dans la bibliographie. Travaux à finalité écologique.

Tableau 2-3 : Les regroupements d'espèces herbacées sur la base de critères morphologiques et structuraux dans la bibliographie. Travaux à finalité agronomique et écologique.

Tableau 2-4 : Variabilité de morphologie et de structure chez *Dactylis glomerata.*

Tableau 2-5 : Diversité intraspécifique et valeur nutritive dans les prairies de fauche. Espèces suivies et variations physionomiques en fonction des conditions écologiques.

Tableau 2-6 : Variables utilisées dans l'étude des variations de valeur nutritive en fonction de la diversité intraspécifique.

Tableau 2-7 : Ecologie et végétation des stations utilisées pour les mesures de morphologie à l'échelle de la communauté.

Tableau 2-8 : Caractéristiques morphologiques des graminées suivant leur physionomie.

Tableau 2-9 : Caractéristiques morphologiques des dicotylédones suivant leur physionomie.

Tableau 2-10 : Part de variation de la DMO et de la MAT de *Dactylis* expliquée pour différentes structurations de l'échantillon en populations.

Tableau 2-11 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT de *Dactylis* en fonction de l'âge comme covariable et avec la physionomie comme populations (facteurs) : analyse dans les vallées externes.

Tableau 2-12 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT de *Dactylis* en fonction de l'âge comme covariable et avec le cadre macroclimatique et la physionomie comme populations (facteurs) : analyse dans les 2 secteurs bioclimatiques.

Tableau 2-13 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT des talles reproductrices et herbacées de *Dactylis* en fonction de l'âge comme covariable et avec le cadre macroclimatique et la physionomie comme populations (facteurs).

Tableau 2-14 : Part de variation de la DMO et de la MAT expliquée pour différentes structurations des espèces en populations en fonction de leur physionomie.

Tableau 2-15 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT des tiges reproductrices et des feuilles radicales de *Geranium sylvaticum* en fonction de l'âge comme covariable et avec la physionomie comme populations (facteurs) : (vallées internes).

Tableau 2-16 : Part de variation de la DMO et de la MAT expliquée pour différentes structurations de l'échantillon des vallées internes de *Dactylis* et *Festuca pratensis* en populations.

Tableau 2-17 : Taux de tiges en % du poids sec total pour différents éléments de la végétation de la station N°2.

Tableau 2-18 : Relations générales entre morphologie des végétations et valeur d'usage : codage et signification des variables.

Tableau 2-19 : Matrice des corrélations entre facteurs écologiques, variables morphologiques et critères de la valeur d'usage.

Tableau 2-20 : Hiérarchie des facteurs de variation de la production de matière sèche. Codage et signification des variables.

Tableau 2-21 : Hiérarchies des facteurs de variation de la production de matière sèche durant le premier cycle. Analyse par décades.

Tableau 2-22 : Hiérarchie des facteurs de variation de la production de matière sèche durant le premier cycle.

Tableau 2-23 : Facteurs de variation de la digestibilité de la matière organique et des teneurs en matières azotées totales : codage et signification des variables.

Tableau 2-24 : Facteurs de variation de la DMO durant le premier cycle.

Tableau 2-25 : Facteurs de variation de la MAT durant le premier cycle.

Tableau 2-26 : Coefficients de détermination pour plusieurs modèles explicatifs de la DMO et de la MAT durant le premier cycle.

Tableau 2-27 : Modifications durant la fenaison pour quelques fourrages de premier cycle.

Tableau 2-28 : Les facteurs de variation des critères de la valeur d'usage dans les prairies de fauche des Alpes du Nord.

Tableau 2-29 : Principaux résultats de la deuxième partie. Structure, morphologie et valeur d'usage agricole. Variations intraspécifiques et convergences entre espèces.

Tableau 3-1 : Echantillons de prairies ayant servi à la mise en évidence des relations entre les pratiques agricoles, le milieu physique et la végétation.

Tableau 3-2 : Classes et codification des descripteurs écologiques : échantillon des prairies de fauche.

Tableau 3-3 : Classes et codification des descripteurs écologiques : échantillon régional des prairies pâturées du domaine externe.

Tableau 3-4 : Les regroupements d'espèces sur la base de leur morphologie potentielle dans les prairies de fauche : groupes morphologiques et espèces principales.

Tableau 3-5 : Echantillon des prairies de fauche : classification des individus en catégories morpho-structurales.

Tableau 3-6 : Echantillon des prairies de fauche : exemples de répartition de quelques espèces de sociabilité variable dans différents groupes, suivant le mode de description de la végétation.

Tableau 3-7 : Classification des éléments structuraux de la végétation des prairies pâturées du domaine externe des Alpes du Nord.

Tableau 3-8 : Description de l'architecture de la végétation des prairies pâturées. (liste des modalités utilisées).

Tableau 3-9 : Liaisons entre couples de descripteurs écologiques dans l'échantillon régional de prairies de fauche.

Tableau 3-10 : Inertie des descripteurs écologiques en pour mille de l'inertie des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche.

Tableau 3-11 : Inertie portée par les trois premiers axes des AFC "présences des espèces" et "morpho-structure détaillée des individus ". Echantillon régional de prairies de fauche.

Tableau 3-12 : Contribution relative des descripteurs écologiques aux trois premiers axes des AFC "présences des espèces" et morpho-structure détaillée des individus". Echantillon régional de prairies de fauche.

Tableau 3-13 : Liaisons entre couples de descripteurs écologiques dans les prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle.

Tableau 3-14 : Inertie des descripteurs écologiques en pour mille de l'inertie des AFC "végétation-descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle.

Tableau 3-15 : Inertie porté par les trois premiers axes des AFC "végétation descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle.

Tableau 3-16 : Contribution relative des descripteurs écologiques aux trois premiers axes des AFC "végétation descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle.

Tableau 3-17 : Valeur des paramètres des AFCVI pour les prairies pâturées du domaine externe des Alpes du Nord. AFCVI avec 28 modalités pour 7 descripteurs écologiques.

Tableau 3-18 : AFCVI sous contraintes dans les pâtures des Alpes du Nord. Part de l'inertie expliquée par les différents niveaux de contraintes.

Tableau 3-19 : Classement des descripteurs écologiques par ordre d'influence décroissant sur les états de végétation dans les pâtures des Alpes du Nord.

Tableau 3-20 : Liste des espèces dont la présence dans les pâtures des Alpes du Nord est liée au régime trophique ou au régime hydrique.

Tableau 3-21 : Liste des espèces dont l 'abondance dans les pâtures des Alpes du Nord est liée au régime trophique ou au régime hydrique.

Tableau 3-22 : Liste des éléments structuraux dont le recouvrement dans les pâtures des Alpes du Nord est lié au régime trophique.

Tableau 3-23 : Liste des éléments structuraux dont le recouvrement dans les pâtures des Alpes du Nord est lié au taux de consommation.

Tableau 3-24 : Liste des états architecturaux lié au régime trophique dans les pâtures des Alpes du Nord.

Tableau 3-25 : Liste des états architecturaux lié au taux de consommation dans les pâtures des Alpes du Nord.

Tableau 3-26 : Déterminismes écologiques des éléments structuraux dans les prairies pâturées.

Tableau 3-27 : Principaux résultats de la troisième partie. Les facteurs de variation de la végétation dans les prairies de fauche de l'étage montagnard externe.

Tableau 3-28 : Principaux résultats de la troisième partie. Ecologie de quelques éléments structuraux à dominante de graminées. Conséquences sur la morphologie des organes et la valeur d'usage.

Tableau 3-29 : Principaux résultats de la troisième partie. Quels relevés de végétation pratiquer en enquête dans les prairies permanentes ?

Tableau 4-1 : Les différents éléments qui interviennent dans la structure de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord externes.

Tableau 4-2 : Comment utiliser la typologie ?

Tableau 4-3 : Les variations des facteurs explicatifs du taux de dicotylédones non légumineuses suivant la région bioclimatique.

Tableau 4-4 : Comment vérifier l'appartenance d'une prairie à la zone de validité ? 1 Méthode des repères topographiques.

Tableau 4-5 : Comment vérifier l'appartenance d'une prairie à la zone de validité ? 2 Méthode par l'environnement forestier.

Tableau 4-6: Etats de végétation indicateurs du niveau des facteurs écologiques dans les prairies de fauche des Alpes du Nord externe.

Tableau 4-7 : Aptitudes aux fonctions parcellaires de quelques types de prairies de fauche.

Tableau 4-8 : Fonctions parcellaires et aptitudes de quelques types de prairies de fauche.

Tableau 4-9 : Variance des descripteurs écologiques et d'états de végétation expliquée par différentes partitions des stations en types. Prairies de fauche des Alpes du Nord externes.

Tableau 4-10 : Relations entre critères de la valeur d'usage du fourrage vert et différents modèles explicatifs.

INTRODUCTION

Les travaux de ce mémoire ont été réalisés dans le cadre d'un programme de recherche-développement sur les systèmes bovins laitiers des Alpes du Nord (CRISTOFINI, 1990). Il s'agit d'une recherche finalisée qui a comme objectif principal, l'utilisation des connaissances produites dans le conseil en exploitation agricole. Dans ce programme, ayant abordé de nombreux thèmes de la production agricole, de "l'herbe au fromage ", mon travail a été, avec Bernard JEANNIN (I.N.R.A. S.A.D.) et Jean-Marcel DORIOZ (I.N.R.A. Science du sol), d'étudier le fonctionnement et la gestion des couverts prairiaux.

Plus qu'un cadre formel et juridique (un Groupement d'Intérêt Scientifique), le programme de recherche-développement des Alpes du Nord est aussi un contexte spécifique. Pour mieux comprendre l'orientation que je donne à ce mémoire, il me semble important de souligner un point de son fonctionnement. Le travail que chercheurs et agents du développement ont conduit ensemble depuis dix ans, ne s'est pas réduit à une simple dialectique du questionneur (les agents du développement) et du répondeur (les chercheurs). Il a fallu que chacun s'ouvre aux cultures en présence, soit scientifiques, soit professionnelles, mais aussi que chacun puisse conserver la logique de sa démarche et ses objectifs.

C'est dans cette situation, de dialogue permanent entre chercheurs de différentes disciplines et agents du développement, que s'est progressivement élaborée notre démarche d'étude des couverts prairiaux régionaux. En conséquence, je n'ai pas réduit ma problématique à un thème précis, comme auraient pu l'être l'analyse de la dynamique de la végétation ou l'étude des effets des pratiques agricoles et du milieu physique sur la production fourragère. **J'ai fait le choix d'aborder la caractérisation des couverts prairiaux de façon plus globale, dans une logique d'utilisation des connaissances produites pour le conseil en exploitation agricole.** Il ne s'agit pas de retracer la chronique d'une recherche mais bien d'envisager ce qui, au delà du local, peut avoir valeur plus générale. Dans cette optique, **j'ai donc privilégié une mise en valeur théorique de l'expérience acquise dans les prairies de fauche et les pâtures des exploitations des Alpes du Nord.**

L'OBJET ET L'UTILITE DE LA RECHERCHE

L'étude des états et de la production agricole des couverts prairiaux pérennes est au centre de cette recherche. L'objectif est de réaliser un **outil de diagnostic** des prairies qui permette la prise en compte conjointe de thèmes généralement séparés dans la bibliographie :

- relations entre la végétation, les pratiques agricoles et le milieu physique,
- diagnostic agronomique du couvert végétal (production quantitative et qualitative de fourrages en particulier),
- dynamique des couverts (lois et itinéraires techniques d'évolution de la végétation et de ses propriétés agronomiques).

Pour cela, je développe une approche en terme de fonctionnement des prairies. Elle suppose de mettre en évidence les différentes modalités d'action des facteurs du milieu physique et des pratiques agricoles sur les états et les caractéristiques agronomiques des végétations. Une démarche de modélisation intègre ensuite, au sein d'un même dispositif, ces données de nature différente. **Ce modèle global prend la forme d'une typologie régionale des prairies permanentes.**

Une recherche ancrée dans l'action peut-elle, au-delà des connaissances appliquées qu'elle produit, apporter sa part de concepts et de méthodes généraux et ainsi contribuer à l'avancée d'une théorie du fonctionnement agronomique des couverts prairiaux ?

L'utilité de ce travail est donc à évaluer sous deux angles. L'un est celui de la pertinence des connaissances produites à aider dans les prises de décisions, en matière de conduite des prairies permanentes. L'autre angle est celui d'apports scientifiques en agronomie et en écologie des communautés prairiales.

UNE APPROCHE SECTORIELLE INTEGREE

L'étude des facteurs de variation de la production fourragère des couverts prairiaux est sectorielle. Elle concerne une seule échelle de l'exploitation agricole, la parcelle et un seul aspect de son fonctionnement, la formation de la ressource végétale. Or, les différentes parcelles d'une exploitation ont des rôles complémentaires. D'une exploitation à une autre ces rôles varient également. C'est pourquoi, la définition du champ des connaissances à produire doit déborder le cadre strict de la production fourragère. **En fait, les performances des couverts ne peuvent pas se juger seulement en référence à un optimum, voire à un potentiel technique.** Les différents rôles ou fonctions des prairies dans les exploitations doivent être pris en compte.

UNE RECHERCHE AVEC PLUSIEURS ACTEURS

Formuler une problématique de recherche sur les prairies en considérant leurs fonctions dans les exploitations est une étape importante, mais elle n'est pas suffisante. Les techniciens du développement et les agriculteurs ont des raisonnements et des savoirs techniques qui interviennent dans l'analyse qu'ils font d'une situation. Ils ont des réseaux d'information qui leur permettent d'ajuster ces repères. Pour élaborer une démarche de recherche, il est utile de tenir compte de ces conditions, dans lesquelles ces acteurs prennent leurs décisions. Ne pas le faire comporte deux risques. D'une part, les résultats peuvent être en rupture complète avec leurs systèmes de pensée et donc être inacceptables et inappliqués. D'autre part, il est impossible de leur proposer une adaptation de leur modes de raisonnement et d'élargir le champs des solutions qu'ils envisagent. Dans les Alpes du Nord, acteurs du développement et de la recherche se sont associés pour la production de connaissances. Ceci permet de la concevoir en se référant à plusieurs logiques, dont une logique d'utilisation dans le diagnostic pour l'action. La réflexions s'enrichit aussi de ces savoirs techniques différents.

QUELLE DISCIPLINE SCIENTIFIQUE ET QUEL SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DES COUVERTS PRAIRIAUX ?

J'étudie l'ensemble formé par les communautés prairiales, le sol, le climat et les pratiques agricoles. Il s'agit d'un travail d'agronomie au sens de la définition donnée par HENIN (1967) : "une écologie appliquée à la production des peuplements des plantes cultivées et à l'aménagement des terrains agricoles". J'aborde cette étude à différents niveaux d'analyse, mais le peuplement prairial et son fonctionnement restent la préoccupation centrale. C'est un sujet qui concerne aussi les phytosociologues, les écologues et les biogéographes. C'est pourquoi, certains des concepts que j'utilise ou définis, renvoient à ces disciplines.

La plupart des auteurs réalisent des diagnostics de prairies à l'aide d'une caractérisation botanique du couvert. Ils privilégient l'enregistrement de la composition floristique et obtiennent des informations sur le milieu physique et les pratiques agricoles, grâce aux espèces indicatrices (HEDIN, 1960 ; DAGET et POISSONET, 1972 ; DIETL et al., 1981 ; DELPECH, 1982). Sur cette base floristique ils pratiquent également une évaluation agronomique en utilisant, par exemple, des notes de valeur des espèces (ELLENBERG, 1952 et 1953 ; DAGET et POISSONNET, 1971). Mais ce type d'approche rend souvent mal compte des propriétés agronomiques de la végétation prairiale (PEETERS et LAMBERT, 1990), ne serait- ce qu'en raison de la grande plasticité des espèces dominantes (DORIOZ et al., 1989).

Je vais démontrer l'intérêt de descripteurs particuliers, peu utilisés jusqu'à présent en prairies permanentes, notamment ceux permettant de caractériser le port, la morphologie et la structure des couverts. L'utilisation de données morphologiques, telles que la hauteur d'herbe, le taux d'épiaison ou de sénescence est fréquente dans les prairies temporaires ou artificielles. Leur emploi permet de prévoir les possibilités d'utilisation immédiate ou la valeur nutritive de la végétation (HODGSON, 1985 ; LEMAIRE et al., 1989b. ; WADE, 1991). Certains de ces descripteurs peuvent ne traduire que très partiellement les conditions de milieu physique et les pratiques agricoles des stations (MATHIEU et VAUBERNIER (de), 1988). Or, pour qu'une typologie des végétations soit utilisable, il est nécessaire qu'elle rende compte à la fois du milieu et des pratiques d'une part et des principales aptitudes agricoles d'autre part. C'est la condition pour raisonner des évolutions. Les expérimentations ont donc été orientées vers la recherche et l'analyse d'états de végétation possédant cette double valeur indicatrice.

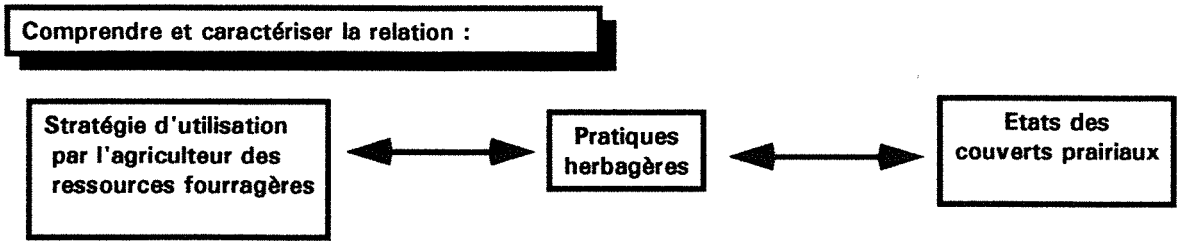
LE PLAN DU MEMOIRE

Il est organisé en quatre parties qui rendent compte de changements dans les niveaux d'analyse (figure 1) :

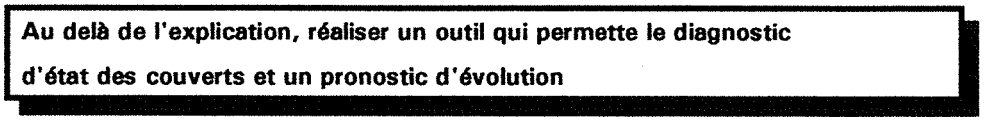
1. définir les besoins en connaissances sur les prairies,
2. identifier les états de végétation influant sur les aptitudes agricoles,
3. comprendre les déterminismes de ces états de végétation,
4. réaliser un outil de diagnostic utilisable dans le conseil agricole.

Figure 1: L'objet et la méthodologie de la recherche

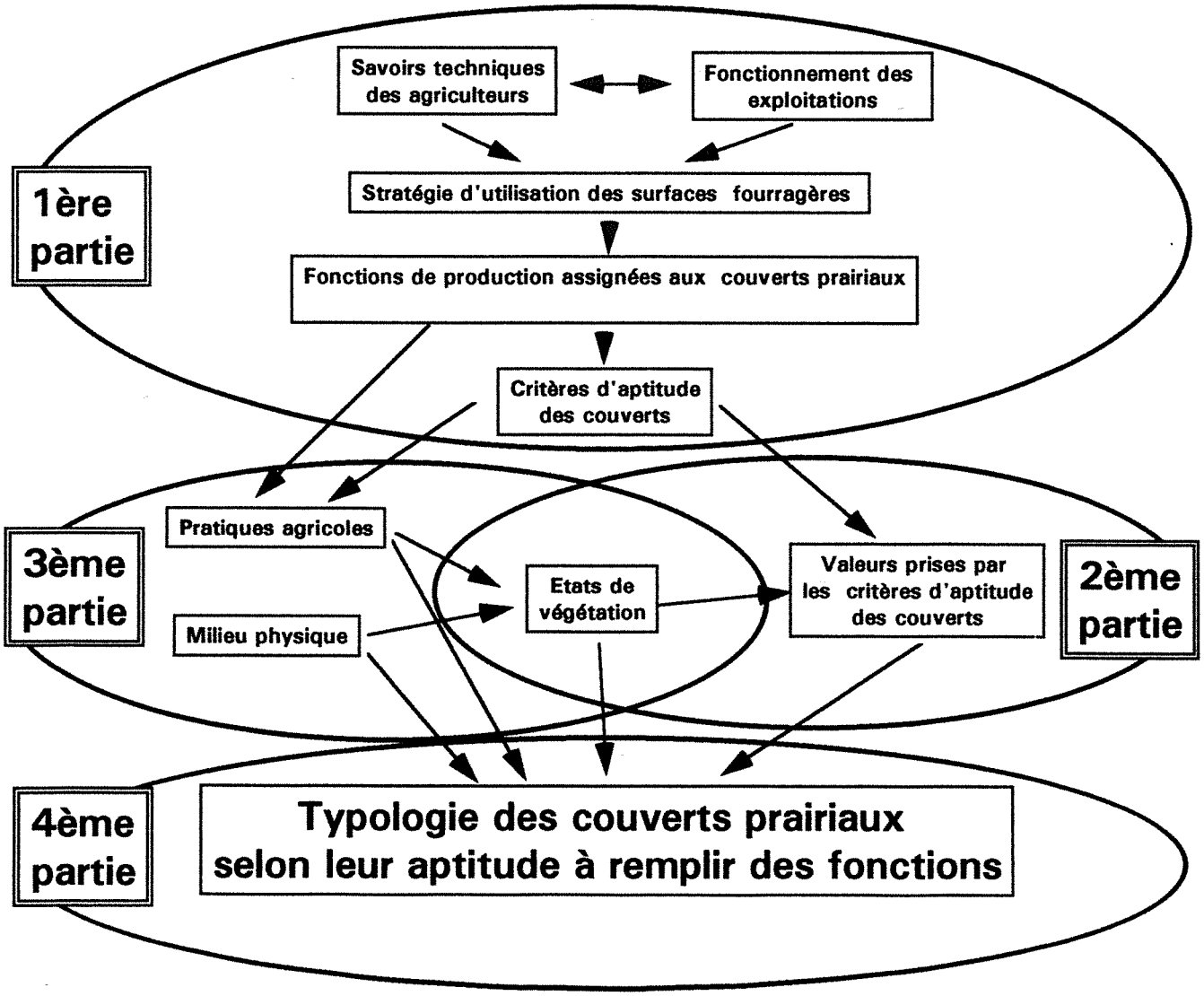
Une question de recherche :



Un objectif de recherche-développement :



Une démarche hiérarchisée :



La première partie s'intéresse aux stratégies de l'agriculteur en matière de valorisation de ses surfaces fourragères. Il s'agit de montrer comment, par une analyse hiérarchisée et rapide, de l'exploitation vers les parcelles, on peut préciser les besoins en connaissances techniques et les conditions de leur utilisation dans la gestion de l'exploitation. **La volonté de caractériser les couverts prairiaux par rapport à leurs possibilités d'utilisation, nous amène à identifier leurs fonctions de production.** L'analyse des fonctions et des pratiques qui leur sont associées permet de définir des critères fourragers (par exemple évolution saisonnière de la biomasse, difficultés de récolte) qui sont caractéristiques de l'aptitude des prairies à satisfaire ces fonctions.

L'objectif de la seconde partie, est d'établir les relations existant entre les différents états de la végétation et les critères fourragers précédemment identifiés. Cette partie débute par la description de la variabilité de la morphologie (taux de tiges et de sénescence) et de la sociabilité (mode d'agencement des individus) de quelques espèces. Puis, je mets en évidence les conséquences de cette diversité intraspécifique, sur la valeur nutritive et l'appétibilité. Pour ces mêmes critères fourragers, mais aussi pour d'autres, je pratique ensuite une analyse à l'échelle de la communauté. Les états de végétation utilisés sont de nature variée. Certains se rapportent à la taxinomie végétale (au niveau de la famille botanique, rarement de l'espèce) d'autres à la morphologie de la communauté (sénescence, taux de tiges, ...) ou à sa structure (sociabilité, stratification, agencement spatial...).

Dans la troisième partie, j'aborde l'étude des relations entre états de végétation et déterminismes liés au milieu physique et aux pratiques agricoles. Je compare la nature et la qualité des relations entre facteurs du milieu et des pratiques, et différents modes de description de la végétation : liste des espèces, abondances des espèces, morphologie et structure de la végétation. Ces deux dernières méthodes ont été définies de façon à prendre en compte les états de végétation dont l'influence sur les aptitudes agricoles est montrée dans la deuxième partie. Du point de vue de l'écologie des communautés, ces différentes caractérisations renvoient à des niveaux d'organisation distincts et révèlent des processus dynamiques de durées différentes.

L'objet de la quatrième partie est de recomposer l'ensemble des connaissances présentées sous forme d'une typologie des couverts prairiaux, utilisable à des fins de diagnostic et de pronostic d'évolution de leurs caractéristiques agronomiques. En plus de la présentation de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord, je développe la méthodologie mise en oeuvre. Je montre ainsi qu'une typologie peut mettre en évidence des phénomènes nouveaux, non perceptibles dans l'analyse disjointe des déterminants de la végétation d'une part, et des facteurs de variation de la production fourragère d'autre part.

Enfin une discussion conclut cette quatrième partie. Une réflexion, sur la reproductibilité et l'adaptabilité de cette modélisation typologique à des situations et des questionnements divers, permet de s'interroger sur la validité et le caractère général des concepts et de la méthode proposés. Je fais l'inventaire des possibilités d'utilisation d'un tel outil pour la pratique du conseil agricole. J'aborde également son intérêt dans un travail d'intégration, au niveau de l'exploitation agricole et de son fonctionnement fourrager, de données techniques sur les prairies.

Le choix de ne pas se réduire à un thème, mais d'envisager globalement la prairie, dans son fonctionnement et dans ses relations avec les utilisateurs, a aussi ses exigences en matière de rédaction et de lecture. Chacune des trois premières parties de ce mémoire constitue une suite de la partie précédente. Elle se prête également à une lecture relativement autonome dans la mesure où, revue bibliographique, principes et méthodes sont traités partie par partie. La quatrième partie permet la recomposition d'informations sélectionnées dans les différentes parties. Son rôle est donc de présenter une image synthétique de l'ensemble de la méthode mise en oeuvre et des réalisations concrètes qu'elle permet.

Figure 1-1 :

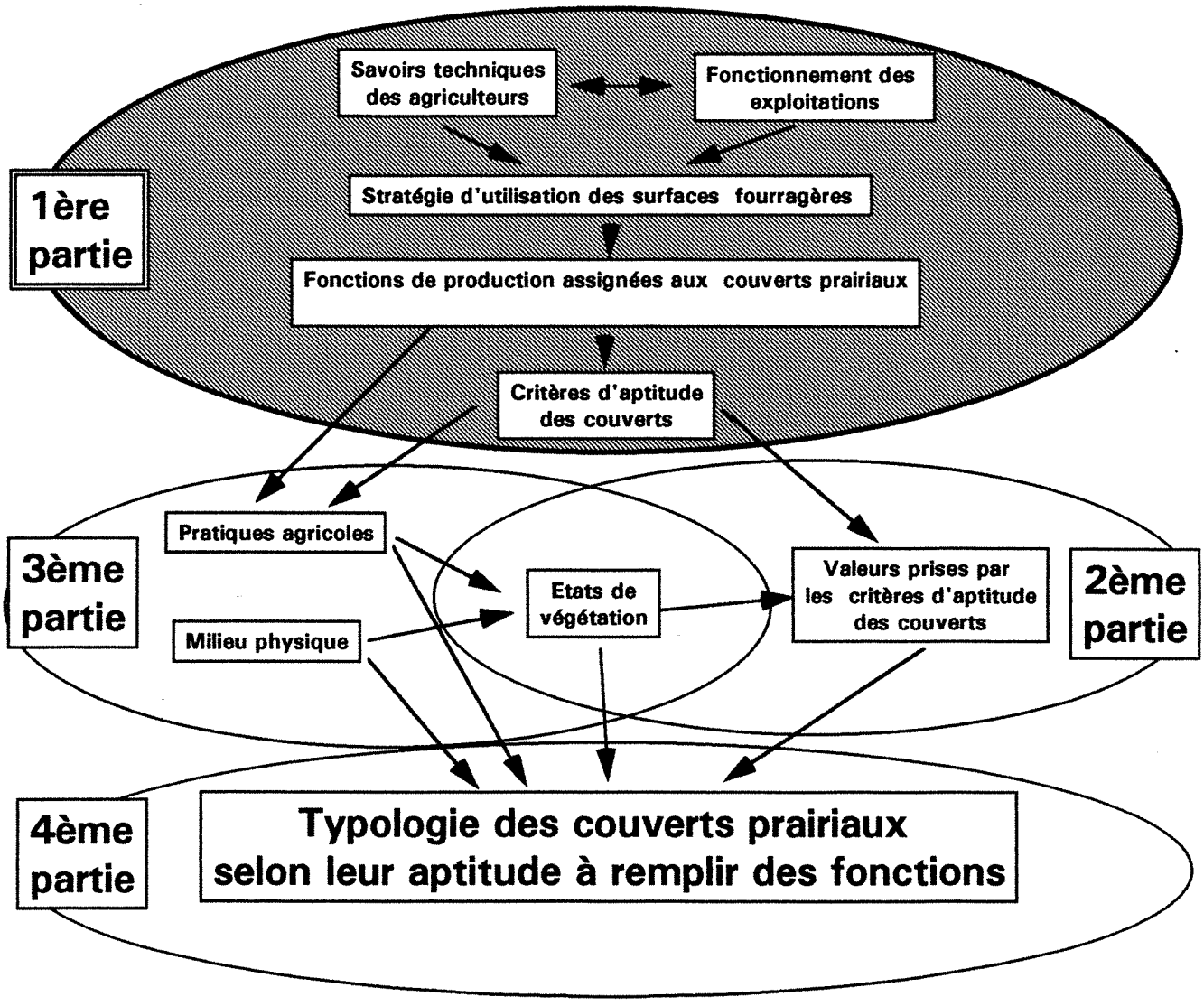
Première partie : définir les besoins en connaissances sur les prairies

Une méthode :

Identifier les fonctions des couverts prairiaux dans les exploitations

Produire les connaissances avec différents acteurs

Dans une démarche hiérarchisée :



PREMIERE PARTIE

DEFINIR LES BESOINS EN CONNAISSANCES SUR LES PRAIRIES

INTRODUCTION : DANS QUELLES CONDITIONS PARLER D'OUTILS ?

Cette première partie se situe en amont du travail de mise en évidence des relations entre les facteurs écologiques, les états de végétation et les caractéristiques agronomiques des couverts prairiaux. Nous proposons une réflexion générale autour de la conception d'outils de diagnostic, destinés à l'intervention technique sur les couverts prairiaux dans l'exploitation agricole.

Quand on parle d'outil, on ne peut oublier que dans la production, dans la transformation de la matière, à la différence de la machine plus complexe, l'outil permet une relation immédiate entre l'homme et l'objet fabriqué. L'outil est à l'origine un prolongement du cerveau et de la main de l'homme. C'est un moyen qu'il utilise pour agir sur la nature. Le terme est aujourd'hui employé dans une acception plus étendue, mais il n'en demeure pas moins quelques caractéristiques essentielles qui permettent de reconnaître un "bon outil" : simplicité et confort d'utilisation d'une part, bonne adaptation à l'usage et à l'usager pour lequel il a été fait d'autre part.

L'outil, moyen pour l'action, ne peut donc pas s'élaborer en ne considérant que son champ d'intervention, indépendamment de l'utilisateur. La seule connaissance des processus biotechniques agissant sur la production fourragère n'est donc pas suffisante pour concevoir un outil de diagnostic. Il importe également de connaître les utilisateurs potentiels, de s'intéresser à leurs besoins et aux outils qu'ils ont à leur disposition ou qu'ils ont créés. D'autre part, comme les processus biotechniques sont nombreux, complexes et en interaction, la prise en compte des besoins permet aussi de préciser et de réduire le champ des études à mener.

Nous allons exposer une démarche qui facilite, dans une étude technique agronomique, la définition des objectifs et du champ des connaissances à produire. Ces repères méthodologiques permettent aussi de réfléchir les conditions de leur diffusion et de leur adoption. La mise à l'épreuve de ces concepts se fait, comme tout au long de ce mémoire, à l'aide du travail réalisé dans les Alpes du Nord. Pour cela, nous présentons aussi le contexte régional : fonctions des prairies dans les exploitations agricoles et pratiques agricoles d'une part, conditions de milieu physique d'autre part.

I - LA CONCEPTION D'OUTILS TECHNIQUES

Pendant longtemps, la connaissance des processus d'élaboration des productions végétales a été au centre des préoccupations des agronomes. Ces résultats permettaient de dégager des modes de conduite "idéaux" qui, par le relais du développement agricole, devaient parvenir sous forme de conseils à l'agriculteur. Les travaux actuels s'intéressent de plus en plus à l'exploitation agricole et aux pratiques des agriculteurs.

1 - LE DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE

A) DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE ET AIDE A LA DECISION

En médecine, le diagnostic est l'action de déterminer une maladie d'après ses symptomes. Le diagnostic agronomique consiste à identifier les caractéristiques du milieu et des pratiques agricoles ayant influé sur un résultat observé dans une parcelle (GRAS et al., 1989 ; CERF et al., 1990 ; MEYNARD et DAVID, 1992). Cela conduit l'agronome à porter un jugement sur l'efficacité des pratiques par rapport à un objectif et de définir des actions à entreprendre pour atteindre avec plus d'efficacité cet objectif.

Le diagnostic pose donc la question des objectifs. Par rapport à quelles références le jugement d'une situation est-il effectué ? SEBILLOTTE et SOLER (1990) proposent à l'agronome de combiner deux types de diagnostic :

- celui du point de vue de l'agriculteur. Les résultats sont-ils satisfaisants par rapport à ses objectifs ? quelles décisions prendre pour réduire l'écart entre ce qui a été prévu et le résultat observé ?
- celui d'un point de vue extérieur, à partir de normes ou de connaissances diverses.

Ce deuxième diagnostic, est celui habituellement réalisé par les experts. Ils ont souvent privilégié un objectif de maximisation de la production des différentes composantes de l'exploitation, sans se préoccuper du fonctionnement global : par exemple, des conseils de fertilisation pour obtenir la production fourragère potentielle permise par le climat, sans tenir compte des possibilités d'utilisation par le troupeau.

C'est la combinaison des deux points de vue, l'un interne, l'autre extérieur, qui permet d'établir un diagnostic au regard des objectifs de l'agriculteur, tout en s'interrogeant sur la cohérence de ses objectifs. Pour cela, HUBERT et al. (1993) insistent sur la nécessité d'une démarche participative d'aide à la décision dans laquelle, "il s'agit pour chaque interlocuteur de comprendre les termes du diagnostic de l'autre".

Le diagnostic agronomique s'inscrit dans un processus de décision, de choix à réaliser pour parvenir à un objectif. Il est important d'associer, étude de l'efficacité agronomique des pratiques et compréhension des raisons pour lesquelles l'agriculteur les a mises en oeuvre (GRAS et al., 1989 ; HUBERT, 1991). La prise en compte des règles de décision et des savoirs techniques des agriculteurs devient essentielle, en particulier lors de la transformation des connaissances agronomiques en outil d'aide à la décision (CERF et al., 1990 ; DARRE, 1990.).

B) DIAGNOSTIC ET REFERENCES AGRONOMIQUES

Cette façon d'aborder le diagnostic agronomique dans le cadre plus large de la décision ne fait pas que susciter des recherches en sciences sociales et en sciences de la gestion. Elle renouvelle les recherches en agronomie, y compris celles qui concernent l'échelle de la parcelle. Les modèles de production fourragère, par exemple, prospectent une plus large gamme des conditions de milieu et de pratiques (GRAS et al., 1989). Cela concerne également la mise en évidence d'indicateurs pertinents pour l'action :

- évaluation de l'état instantané d'une prairie, pour juger de ses possibilités d'utilisation actuelles, par exemple, lors de la prise de décisions d'ajustements tactiques entre surfaces et conduite des troupeaux à certaines périodes délicates (GILIBERT et MATHIEU, 1990 ; HUBERT et al., 1993),
- prévision de l'évolution et de la pérennité de la ressource végétale, pour aider dans la mise au point d'une stratégie d'utilisation des parcelles et l'adaptation des pratiques aux conditions du milieu (BELLON, 1992),
- confrontation et mise en évidence des relations entre les indicateurs des différents acteurs, agents du développement, agriculteurs mais aussi chercheurs et les modèles biotechniques (CERF et al., 1990 ; SEBILLOTTE et SOLER 1990 ; LEBOEUF et MENAHEM , 1993).

Pour définir les besoins en connaissances sur le fonctionnement des prairies dans une finalité d'aide à la décision, c'est à dire de diagnostic par rapport à différents objectifs, nous avons au préalable resitué les parcelles dans la logique de fonctionnement de l'exploitation agricole.

2 - DEFINIR LES OBJECTIFS D'UNE ETUDE SUR LES PRAIRIES

A) REPLACER LE PROBLEME TECHNIQUE DANS L'UNITE DE GESTION

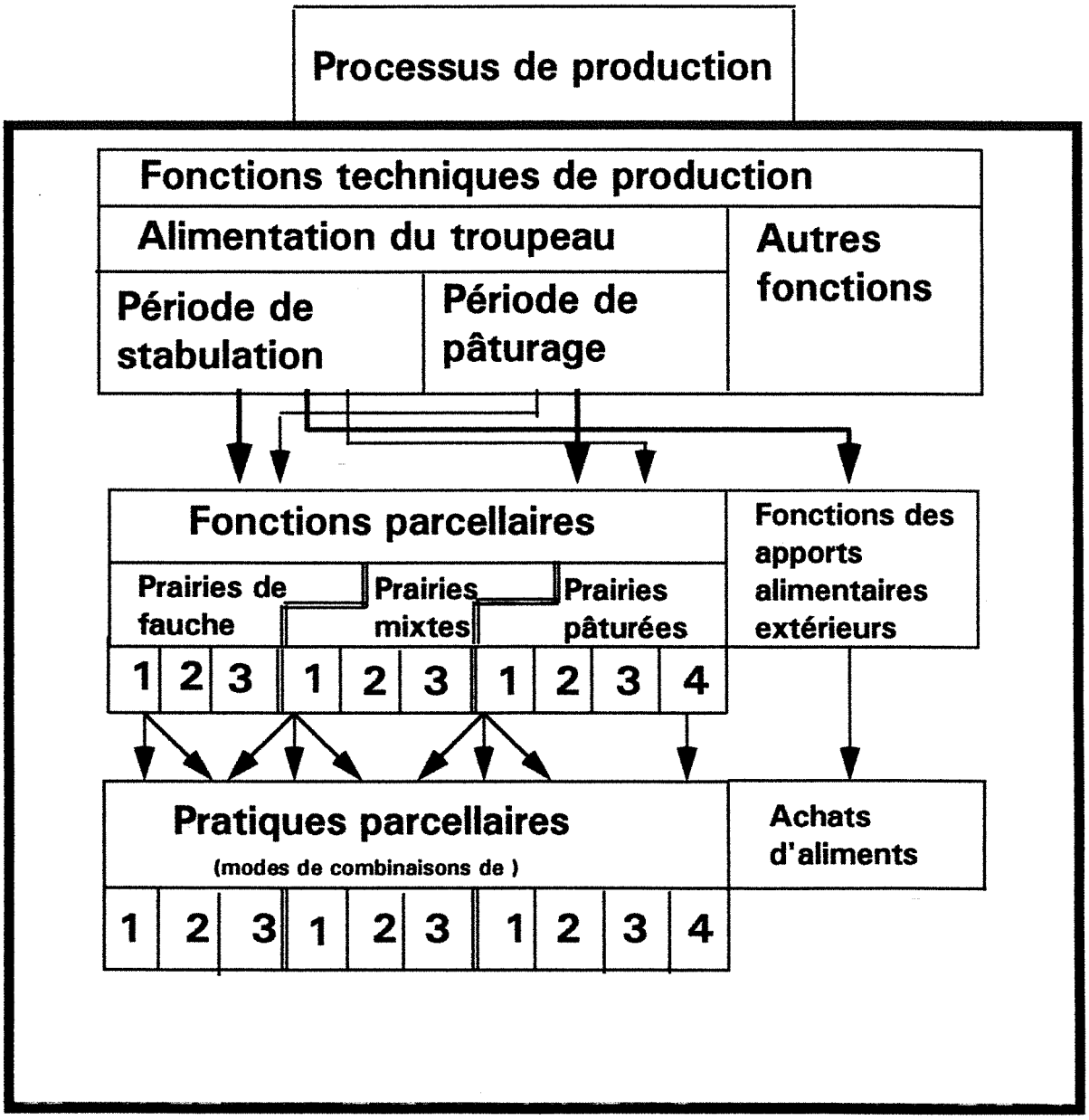
Le jugement d'une production fourragère ne peut pas se faire indépendamment de son rôle dans l'exploitation agricole. Le parcellaire d'une exploitation forme un tout dans lequel chaque élément territorial, parcelle ou groupe de parcelles, est chargé de remplir une fonction. Ces fonctions sont diverses et doivent être identifiées avant l'émission d'un diagnostic.

B) LE CONCEPT DE FONCTION DES SURFACES

Divers chercheurs et agents du développement essaient, depuis quelques années, de formaliser le concept de fonction de parcelles ou de portions de territoire (BENOIT, 1985 ; GUERIN et BELLON, 1990 ; MORLON et BENOIT, 1990 ; JEANNIN et al., 1991). L'objectif de cette approche est d'établir des outils opérationnels pour le conseil en exploitation d'élevage. Ce

Figure 1-2 :

Pratiques agricoles et fonctions parcellaires dans le processus de production de l'exploitation agricole



mode d'analyse paraît indispensable, surtout lorsque le territoire présente des aptitudes et des contraintes très différenciées pour satisfaire les besoins des troupeaux aux diverses périodes de l'année. Le concept de fonction des surfaces devient alors une des clés de compréhension de la complexité des relations entre modes d'utilisation des surfaces et stratégies d'alimentation des animaux.

Plusieurs définitions et classifications des fonctions des surfaces sont proposées selon les situations d'élevage et le point de vue des spécialistes concernés.

Notons, en particulier, l'approche opérationnelle des chercheurs pastoralistes du Sud-Est qui oeuvrent dans un contexte, où une approche globale des fonctions du couvert prairial est nécessaire. Par leur identification, ils relient le niveau de la prise de décision concrète, la parcelle, à celui plus englobant de l'utilisation du territoire par les animaux. Celle-ci est exprimée sous la forme d'une chaîne de pâturage (GUERIN et BELLON, 1990). Les fonctions qu'ils distinguent sont réparties en trois groupes : celles directement liées à l'alimentation du troupeau, celles en relation avec les fluctuations du climat ou les possibilités d'utilisation de certaines surfaces (fonctions de régulation ou de soudure) et celles liées au travail de l'éleveur et au confort du troupeau (fonctions annexes de surveillance, de contention, ...). Pour ces auteurs, la fonction d'une portion de territoire se caractérise par l'objectif pour lequel elle est mobilisée par l'éleveur : mise à l'herbe des chèvres, entretien de l'ensemble du troupeau en été ou encore parc de mise bas, de sevrage...

Dans une démarche d'analyse hiérarchique du fonctionnement de l'exploitation, la "fonction technique de production" (BENOIT, 1985) est un niveau intermédiaire dans l'ensemble du processus de production. Sa prise en compte permet de découvrir la logique d'un ensemble d'opérations techniques.

Par exemple, le processus de production du lait nécessite plusieurs fonctions techniques de production. L'une d'entre elle est d'assurer la conduite des peuplements prairiaux pour leur conservation et l'élaboration des stocks hivernaux du troupeau laitier. Pour cela l'agriculteur est amené à plusieurs opérations techniques : épandage de lisier, fauche... Tout élément de l'exploitation (parcelles, bâtiment) étant, par définition, affecté à au moins une fonction, il est possible de mieux comprendre, par cette décomposition, les relations entre le parcellaire, le territoire et le fonctionnement global de l'exploitation. Ainsi, en partant de l'identification des fonctions productives prioritaires et des opérations techniques les plus exigeantes qui leurs sont associées, MORLON et BENOIT (1990) classent les parcelles d'une exploitation en termes d'atouts et de contraintes liés au terrain (pente, excès d'eau), à la structure du territoire (distance) et au statut juridique. Dans cette modélisation des relations entre pratiques agricoles et territoire il est particulièrement intéressant de noter que l'évaluation des contraintes du parcellaire est réalisée par rapport à des aptitudes à remplir des fonctions.

Les analystes du fonctionnement fourrager des exploitations ressentent le besoin de prendre en compte, en plus des atouts et des contraintes mentionnés ci-dessus, ceux directement liés aux aptitudes des couverts prairiaux (DURU et RHOMER, 1987 ; MATHIEU et FIORELLI, 1989 ; JEANNIN et CRISTOFINI, 1990). Cette nécessité est particulièrement forte dans les régions de prairies permanentes et de systèmes d'élevage pratiquant une conduite relativement extensive des surfaces et des troupeaux.

Dans l'esprit de ces travaux, nous définissons le terme de fonction d'une parcelle comme étant le rôle principal qui lui est assigné par l'agriculteur. Les fonctions "parcellaires" rendent compte de la contribution d'une parcelle ou d'un bloc de parcelles dans l'élaboration de la production de l'exploitation (figure 1-2). Sous le terme de parcelle, nous désignons une portion continue de territoire, ne correspondant pas nécessairement à une entité cadastrale, mais faisant l'objet d'un même mode d'utilisation.

Nous caractérisons la fonction par les objectifs attribués en faisant, en particulier, référence à une période dans le processus de production (alimentation hivernale, de printemps...) **et à un niveau d'exigence quant à l'état de la ressource végétale** (fourrage abondant et de qualité, bonne appétibilité de l'herbe même après un long temps de repousse, ...). **Les coûts et les risques acceptés pour assurer la réalisation des objectifs attribués aux différentes parcelles permettent de préciser les fonctions.**

Le concept de fonction "parcellaire" a deux utilisations complémentaires. Il permet tout d'abord d'établir les liens, aux différentes périodes du processus de production, entre parcelles, conduite des troupeaux et fonctionnement global de l'exploitation. Ce concept est aussi un élément essentiel pour définir les critères fourragers caractérisant l'aptitude des couverts prairiaux à remplir différentes fonctions. **L'identification des fonctions des couverts dans les exploitations d'une région peut donc constituer le fondement d'une recherche sur la production fourragère.**

C) LA FONCTION PARCELLAIRE : UNE LIAISON SIMPLE ENTRE SURFACES ET UNITE DE GESTION

Certains analystes de l'exploitation définissent son fonctionnement comme un ensemble de fonctions compatibles entre elles, mises en relation de manière logique et ordonnée dans le cadre d'un système de production (CRISTOFINI, 1985 ; ROYBIN, 1985). Pour eux, une fonction est un module organisé dans le système qui répond à un objectif de production et/ou de transmission de matière, d'argent, de travail ou d'information.

Le concept de fonction parcellaire appartient à cette démarche générale (JEANNIN et CRISTOFINI, 1989) et constitue un élément de compréhension des prises de décision concrètes (les pratiques) sur les parcelles, dans le cadre d'un système de production.

La fonction permet de distinguer les pratiques de leur finalité. Une même fonction peut-être mise en oeuvre de diverses façons et des pratiques identiques peuvent avoir des finalités différentes. Pour assurer la fonction de production de fourrages stockés de qualité, l'éleveur a plusieurs techniques à sa disposition : fauche précoce, coupes nombreuses et fertilisation des repousses, déprimage de printemps, installation de prairies artificielles, ... De même, exemple classique, la fertilisation minérale azotée peut être utilisée avec différents objectifs : production plus importante et/ou plus précoce.

La possibilité d'analyser la multiplicité des pratiques d'une petite région en les référant à une liste limitée de fonctions parcellaires est un élément de compréhension de ces pratiques et de leur opportunité (figure 1-2). Perçu sous cet angle, le concept de fonction parcellaire permettrait de concevoir un outil d'appui technique, se traduisant par des conseils à l'échelle des parcelles, mais tenant compte de leur rôle respectif dans le système fourrager de l'exploitation.

D) LES CRITERES D'APTITUDE PRAIRIAUX

Pour caractériser les prairies selon leur aptitude à plus ou moins bien répondre aux demandes des systèmes de production, il est nécessaire de définir des critères fourragers exprimant la faculté des prairies à remplir leurs fonctions.

L'inventaire des fonctions parcellaires régionales permet d'identifier des critères fourragers essentiels pour juger des aptitudes des couverts prairiaux aux différentes fonctions. En première analyse, ces critères sont différents suivant que l'on s'intéresse à la période de pâturage ou à la production de réserves :

- critères d'aptitude au pâturage : précocité, souplesse d'exploitation au cours de la croissance printanière, importance de la repousse estivale, niveaux et variations de la valeur nutritive, appétibilité, résistance aux aléas, dynamique de la végétation, ...,
- critères d'aptitude à la constitution de réserves : périodes et niveaux de production, niveaux et variations de la valeur nutritive, adaptation à la fenaison (vitesse et homogénéité de séchage , pertes quantitatives et modifications qualitatives), résistance aux aléas, dynamique de la végétation, ...

Plus finement, on ne juge pas sur les mêmes critères fourragers la végétation d'une prairie de fauche destinée à la production d'un foin abondant et de qualité, en acceptant coûts et risques élevés et celle d'une prairie dans laquelle on recherche, à moindre coût et moindre risque, un foin de qualité plus moyenne, quelle que soit la quantité. Dans le premier cas, le jugement se fait sur la base des quantités produites et de la valeur nutritive du fourrage dans les stades de croissance les plus précoces. Dans le second, la valeur nutritive du fourrage dans les stades tardifs ainsi que sa facilité de séchage deviennent les critères de jugement de l'aptitude.

L'étude des processus biotechniques dans les couverts prairiaux peut donc être organisée autour de l'analyse des facteurs de variation de ces critères fourragers. D'autre part, il est possible d'envisager la réalisation d'un outil qui permette un diagnostic des prairies en termes d'aptitudes aux différentes fonctions régionales.

E) VALEUR D'USAGE DES PRAIRIES

Nous appelons valeur d'usage d'une prairie l'ensemble des positions qu'elle prend à l'égard des différents critères d'aptitude découlant des fonctions qui peuvent lui être attribuées dans une région (JEANNIN et al., 1991). Ce concept est, ou plus exactement a été, utilisé en sciences économiques pour exprimer la valeur d'un objet fondée sur son utilité objective et subjective, c'est à dire sur l'aptitude que les hommes reconnaissent à cet objet de correspondre à leurs besoins (BENETTI, 1985). Cette notion de la valeur fondée sur l'utilité était, pour cette école de pensée, le fondement d'une théorie sur les rapports d'échange entre produits, c'est à dire sur les prix. Mais l'utilité est très fortement liée à l'individu et il fut rapidement reconnu l'impossibilité de traduire des différences d'utilité en un chiffre admis par les partenaires d'un échange.

Ce n'est donc pas l'objet qui détermine la valeur et il n'est pas question pour nous de rassembler les jugements relatifs à chaque critère d'aptitude prairial pour produire une note globale. Sur ce point, nous nous situons en opposition avec certains agronomes et phytosociologues qui pensent pouvoir juger les couverts dans l'absolu par une note de valeur pastorale (DAGET et POISSONNET, 1972). Notre objectif est, par ce concept de valeur d'usage, de caractériser un couvert prairial à l'égard de chaque critère d'aptitude. La liste de ces critères d'aptitude est établie régionalement, grâce à l'identification des fonctions réalisées dans le cadre d'une gamme de systèmes de production.

3 - CREER DES OUTILS OPERATIONNELS

A) LES DIFFERENTS TYPES D'OUTILS AGRONOMIQUES

Très schématiquement, lorsqu'il y a une volonté de transfert de résultats agronomiques parcellaires issues de la recherche vers les agriculteurs, trois formes de présentation des données sont généralement utilisées : **la référence, le modèle et l'indicateur d'état.**

La référence n'explique pas, elle quantifie un état, souvent de manière statistique : gamme de variation de la production d'un échantillon de prairies par exemple. Le modèle permet l'analyse du processus et en offre une vision dynamique. Si sa formulation est mathématique, celle-ci autorise simulations et prévisions et aide ainsi dans la conception de solutions diversifiées. L'indicateur est un repère simple pour se situer dans les différents étapes d'un processus. Il permet donc un diagnostic sur le fonctionnement (GILIBERT et MATHIEU, 1990) et a valeur d'événement décisif. **La référence exprime un état, le modèle permet d'expliquer un processus et l'indicateur lie état réel et processus.** Ces formes d'expression de la connaissance ne sont pas exclusives l'une de l'autre, même si historiquement la production de références agronomiques a précédé la modélisation des processus. De plus, dans le domaine de la production fourragère, beaucoup d'indicateurs sont issus des résultats de modélisations : sommes de températures pour la formation du rendement (LEMAIRE et al., 1982), hauteur de l'herbe pour la conduite du pâturage (HODGSON, 1985).

Les combinaisons entre références, simulations, et indicateurs de conduite peuvent être multiples. Par exemple, les connaissances actuelles de l'effet de la température sur la productivité primaire au printemps (LEMAIRE et SALETTE, 1981 ; LEMAIRE, 1985) ont permis de réaliser un modèle général reliant l'accumulation de biomasse aérienne à la somme des températures moyennes journalières. Au-delà de la valeur explicative de ces travaux, leur utilisation dans l'exploitation agricole et dans la pratique du conseil peut se concevoir à différents niveaux complémentaires :

- **production de références**, le potentiel bioclimatique régional des prairies est de X tonnes (MORLON et al, 1985),
- **mise en évidence d'un indicateur de la biomasse aérienne**, les valeurs de somme de températures (KÜNG-BENOIT, 1991),
- **intégration dans un modèle de simulation des systèmes fourragers** pour évaluer leurs réactions aux aléas climatiques (DURU et CHARPENTEAU, 1985 ; LE BRIS et DURU, 1988).

- **critère caractéristique de la valeur d'usage d'une végétation**, la dynamique de croissance (en kg de matière sèche formée par hectare et par jour). C'est un aspect du fonctionnement de la prairie qui peut aussi être utilisé comme un critère d'aptitude à certaines fonctions de production (LEMAIRE, Com. pers.).

B) CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET CONNAISSANCES PRATIQUES

L'agronome privilégie la compréhension alors que l'agriculteur est tourné vers une logique de l'action sur les processus (SEBILLOTTE, 1974). Son adhésion à un outil implique, en particulier, qu'il souscrive aux principes agronomiques qui le sous-tendent (SEBILLOTTE et SOLER, 1990). Dans cette phase, le recours aux modèles et à leur représentation graphique pour assurer l'explication des phénomènes est utile. La lecture des résultats en regard des savoirs et des indicateurs des agriculteurs n'est pas non plus à négliger. En effet, la connaissance scientifique n'apporte pas un système de pensée aux agriculteurs pour leur permettre de décider de leurs pratiques. Raisonnement théorique et raisonnement pratique n'ont pas les mêmes caractéristiques ni les mêmes fonctions. Il s'agit plus, pour la science, de donner aux agriculteurs les moyens "d'intégrer des matériaux nouveaux à leur propre système conceptuel, associé à leurs pratiques" (DARRE, 1985b). L'élaboration d'outils opérationnels pour l'action nécessite donc de s'intéresser aux conditions d'intégration des résultats scientifiques dans les connaissances des praticiens. Ce souci influe sur les modes de conduite de certaines recherches.

Classiquement, dans une logique descendante, la connaissance produite par le chercheur est ensuite acheminée par des organismes de vulgarisation vers l'agriculteur. Cette méthode a souvent montré ses limites. Aujourd'hui, les agriculteurs et les agents du développement ne sont plus perçus comme de simples consommateurs de résultats mais comme des partenaires actifs que l'on associe à l'ensemble de la recherche : définition d'une problématique, conception d'un modèle et réalisation d'un outil (JOUVE, 1990 ; RUSSEL et al., 1991). Le pilotage de celle-ci est alors confié à un groupe de travail associant chercheurs et utilisateurs.

C) LE CAHIER DES CHARGES D'UN OUTIL DE DIAGNOSTIC SUR LES PRAIRIES

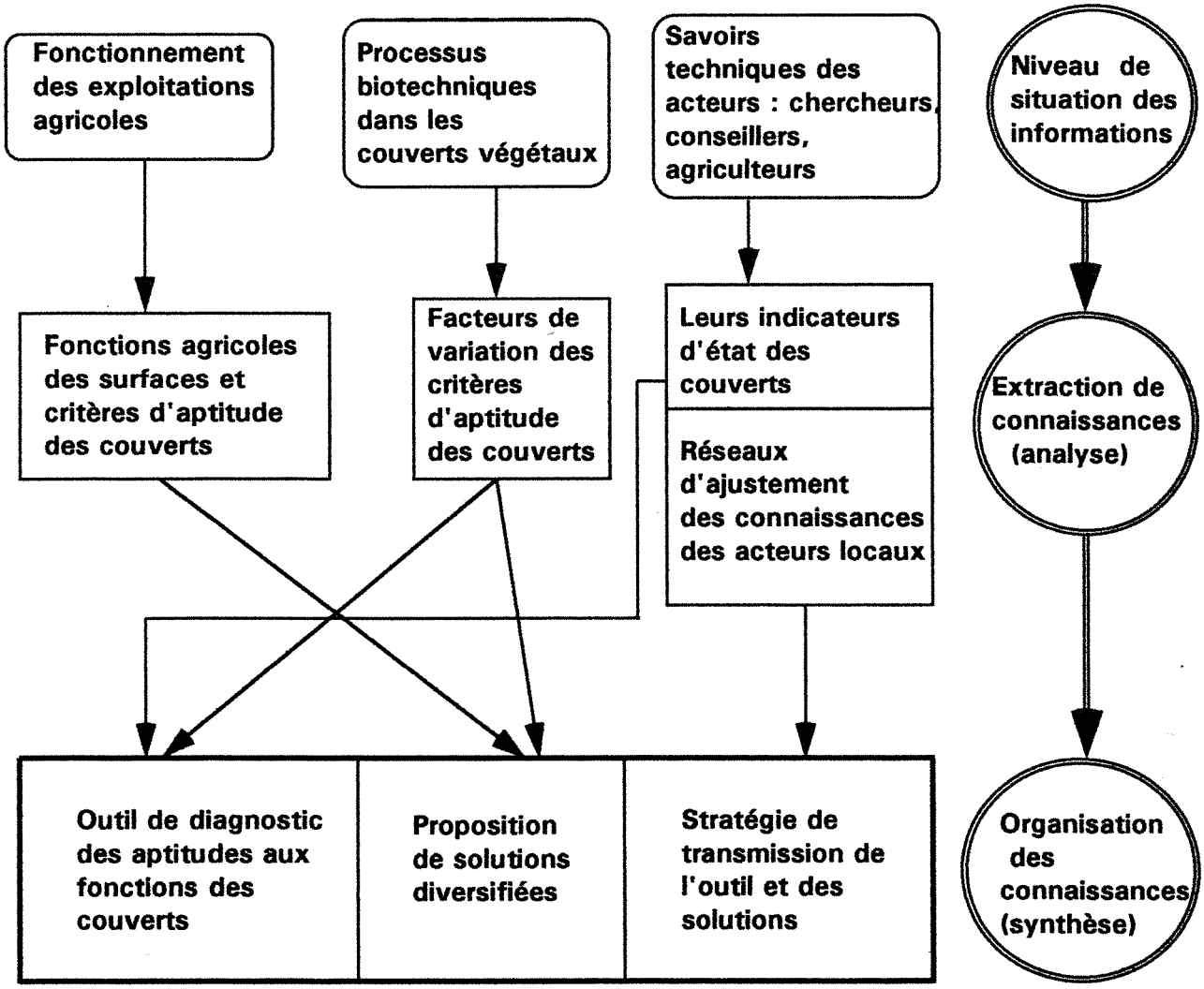
Malgré la nécessaire adaptation d'un outil à une situation concrète, il semble possible de formuler quelques propriétés générales que devrait regrouper tout outil de diagnostic des aptitudes agricoles des prairies.

Le **fondement scientifique** de l'outil sur des modèles de fonctionnement ayant une dimension dynamique est, en premier lieu, une condition essentielle pour permettre l'analyse d'une situation (**diagnostic**) et pour émettre des hypothèses sur ses possibilités d'évolution futures (**pronostic**). Mais pour que l'outil ait un caractère opérationnel et qu'il puisse s'intégrer dans la gestion de l'exploitation il doit regrouper d'autres caractéristiques :

- avoir un domaine de validité qui dépasse la conjoncture et les cas particuliers pour rester valide si celle-ci évolue ou si il y a utilisation plus large (**prise en compte de la diversité et prospection vers les pratiques récentes**),
- proposer des solutions variées, adaptées à des situations et à des objectifs divers (**conseil adapté**),

Figure 1-3 :

Les étapes d'une recherche-développement sur les prairies



- prendre en compte la manière dont les acteurs se représentent les processus pour favoriser son appropriation et son utilisation (**acceptabilité**),
- se présenter sous une forme commode et attrayante invitant à l'utilisation et ne nécessitant pas une formation lourde (**convivialité**).

De plus, compte tenu de la complexité des décisions à prendre dans une exploitation agricole et de la multiplicité des indicateurs à considérer, il n'est pas opportun de découper encore une approche sectorielle en thèmes trop nombreux. Par exemple, il ne paraît pas pertinent de séparer le diagnostic de la production quantitative de fourrage de celui de la valeur nutritive. En effet, la considération conjointe de ces deux critères est souvent nécessaire pour porter un jugement d'aptitude à telle ou telle fonction (**polyvalence**). Enfin, une recherche de complémentarité avec les autres outils disponibles pour la gestion des exploitations est également nécessaire.

4 - LES ETAPES D'UNE RECHERCHE-DEVELOPPEMENT SUR LES PRAIRIES

Le schéma proposé (figure 1-3) permet d'aborder l'ensemble des niveaux nécessaires à la réalisation d'une étude sur les prairies intégrable dans l'exploitation :

- fonctionnement des exploitations agricoles,
- processus bio-techniques dans les couverts,
- savoirs techniques des différents acteurs ainsi que leurs réseaux d'ajustement des connaissances.

Mais la solution retenue n'est pas de faire une recherche exhaustive sur chacun de ces éléments pris séparement, puis mis en interaction. **Nous privilégions, une analyse orientée vers l'extraction sélective des informations nécessaires pour répondre à une problématique fourragère.** La logique de raisonnement est cependant bien celle d'une approche systémique dans la mesure où, il ne s'agit pas simplement de juxtaposer des composantes, mais de les mettre en relation dans un assemblage cohérent. Par ce choix, nous pensons également donner la possibilité d'introduire, sans en réduire la diversité et la complexité, nos résultats en matière de production fourragère à des niveaux où ils sont généralement absents ou formalisés sous une forme réductrice : fonctionnement général de l'exploitation, conduite et pratiques d'alimentation du troupeau.

Faire fonctionner un tel schéma implique la participation de différentes disciplines scientifiques, en particulier celle des spécialistes de la gestion de l'exploitation. Elle se conçoit dans un processus associant chercheurs et praticiens. Les participants suivent l'avancée des différentes étapes et participent à un réajustement permanent de la conduite de l'opération. L'objectif d'une telle démarche, est surtout d'enrichir l'approche disciplinaire de l'agronome fourrager et permet d'envisager les questions techniques sur les prairies selon différents angles de vue (HUBERT, 1991) :

- celui de l'offre fourragère par les surfaces,
- celui de la demande alimentaire pour les troupeaux,
- celui de l'utilisation des surfaces dans l'exploitation,
- celui de l'utilisation et de l'adoption des connaissances.

5 - SYNTHESE

L'objectif de ce travail est d'élaborer un outil de diagnostic de l'aptitude des couverts prairiaux pérennes à remplir différentes fonctions agricoles. La définition des déterminants des pratiques et de leurs conséquences sur le système d'exploitation n'entre pas dans ce champ et nous nous limitons à l'étude de leurs effets dans les processus biotechniques.

La mise en évidence des relations entre les pratiques agricoles, le milieu physique, la végétation et plus généralement la production fourragère ne renseigne pas complètement sur l'opportunité d'une pratique ou d'une technique sur une surface. Elle permet de prévoir l'effet combiné des facteurs du milieu et des pratiques sur la végétation et autorise seulement à répondre à trois types de questions :

- quelle est la réaction de la végétation et de ses propriétés agronomiques à différentes pratiques, compte tenu de la situation climatique et pédologique ?
- quelles actions techniques faut-il mettre en oeuvre pour obtenir tel résultat dans une situation donnée ?
- est-ce que cette végétation est capable de satisfaire telle ou telle demande en matière fourragère ?

Ainsi, hormis certaines erreurs grossières qu'une approche technique peut éviter et corriger, un travail à l'échelle de la parcelle ne permet pas de donner des conseils à lui seul, puisque ceux-ci risquent d'avoir des conséquences à l'échelle de l'exploitation dans sa globalité. **Un outil technique a pour rôle de prévoir les conséquences de certaines décisions et d'aider à en prendre d'autres plus appropriées à un objectif.** Il rend prévisible les effets d'une décision, mais il ne permet pas de raisonner complètement une prise de décision, celle-ci étant à réfléchir dans le cadre plus large des objectifs de l'exploitation.

Nous ne portons donc pas de jugement sur les objectifs d'utilisation des parcelles. Nous cherchons à donner les moyens de faire un diagnostic par rapport à ceux-ci : sont-ils atteints ? quelles solutions proposer pour assurer une meilleure aptitude des prairies ? mais aussi, ces objectifs sont-ils techniquement réalisables ?

La production de connaissances techniques n'est pas une fin en soi. Leur organisation sous forme d'outil utilisable présente une grande importance. Pour réaliser un outil il faut tenir compte de ses objectifs et de ses conditions d'utilisation. Cela suppose, en particulier, de définir des indicateurs pertinents des états des couverts et de leurs aptitudes compatibles avec, d'une part les connaissances générales sur le sujet et les résultats de l'étude et d'autre part les savoirs techniques des praticiens et le temps d'apprentissage qu'ils souhaitent y consacrer.

Il nous appartient de montrer qu'il est possible de réaliser de tels outils de diagnostic. Pour cela, dans une première étape nous identifions les fonctions des prairies dans les exploitations des Alpes du Nord. Ce catalogue de fonctions est une représentation de la gamme des objectifs qui peuvent être attribués aux prairies.

II - FONCTIONS ET CRITERES D'APTITUDE DES PRAIRIES DANS LES ALPES DU NORD

Une question des agriculteurs et plus particulièrement d'un de leurs représentants, Monsieur Maxime Viallet, ancien président de la coopérative du Beaufortain, est à l'origine de ce travail : **"Nos prairies de fauche se dégradent, elles sont envahies de mauvaises herbes, que faut-il faire ?"** Pour répondre techniquement à cette question, plutôt que de proposer un simple éventail d'essais associant herbicides, sursemis et fertilisation nous avons privilégié deux voies de travail :

- comprendre les déterminismes de ces états prairiaux jugés défavorables,
- caractériser l'aptitude agronomique des différentes végétations à répondre aux attentes des agriculteurs avant de juger de leur état dégradé ou non.

Pour ce dernier point nous avons reformulé et abordé le problème à l'aide des concepts présentés dans le chapitre précédent. Ainsi, après une présentation détaillée des fonctions des prairies dans les Alpes du Nord, nous décrivons ces surfaces du point de vue des pratiques agricoles et des conditions de milieu physique.

1 - FONCTIONS DES PRAIRIES ET PRATIQUES AGRICOLES

Sous le terme "prairie de fauche" nous rassemblons l'ensemble des prairies dont le cycle reproducteur au moins est fauché. Le déprimage, c'est à dire une pâture de printemps précoce sans coupe des épis (GILLET, 1980) est donc possible. Les repousses peuvent être soit fauchées, soit pâturées. Par opposition, nous appelons "prairie pâturée" ou "pâture" les prairies dont le cycle reproducteur au moins est pâturé. Dans cette catégorie, nous retrouvons des prairies pouvant subir des fauches estivales, le seuil minimal de pâture étant défini comme une coupe des épis par l'animal (étêtage). Ce choix se justifie par l'importance des pratiques appliquées au cycle reproducteur dans la modification des caractéristiques morphologiques de l'herbe et dans le déterminisme des végétations (GILLET, 1980 ; FLEURY et al., 1985). Du point de vue de la physiologie de l'herbe, nous classons donc les prairies mixtes pâturées et fauchées, soit en fauche soit en pâture, suivant la façon dont est exploitée le cycle reproducteur. Mais, du point de vue de leurs fonctions dans l'exploitation agricole nous les considérons comme une catégorie particulière.

A) FONCTIONS DES PRAIRIES

L'agriculture de montagne des Alpes du Nord (figure 1-4) est orientée vers une production laitière bovine transformée en fromages de qualité. Pour des raisons liées aux cahiers des charges de ces fabrications, bénéficiant souvent d'une appellation d'origine contrôlée, la distribution d'ensilage est interdite. Durant la période hivernale, qui est d'au minimum six

Tableau 1-1 : Fonctions des prairies de fauche des Alpes du Nord

Ffoin 1) "Du foin dans la grange" : fournir du fourrage sec en quantité, la qualité étant secondaire, à faible coût et faible risque : limitations du nombre d'opérations techniques (fertilisation organique, pas d'engrais), pas de fauche précoce exigeante en matériel et à fort risque climatique. **Exemple de conduite** : fauche tardive, regain, pâture d'automne ; fertilisation organique importante tous les ans ou tous les 2 ans ; foin séché au sol avec fanages violents.
Ffoin 2) "Un bon petit foin de pays" :fournir un fourrage sec de qualité correcte, la quantité étant secondaire,, à faible coût et faible risque : réduction maximale du nombre d'opérations, fauche tardive. **Exemple de conduite :** fauche tardive, regain (rare) ou pâture d'automne ; pas de fertilisation; foin séché au sol avec fanages manuels ou engins peu violents (moto-faneuse).
Ffoin 3) "Le bon foin de juillet" : fournir un fourrage sec de qualité correcte, la quantité étant plus secondaire à coût moyen et faible risque : augmentation du nombre d'opérations pour la fertilisation et l'entretien mais pas de fauche précoce ni de coupes nombreuses. **Exemple de conduite :** fauche moyenne à tardive, regain, pâture d'automne ; fertilisation organique modérée à moyenne tous les ans ou tous les 2 ans, éventuellement apports légers d'engrais phosphorique et/ou potassique ; foin séché au sol avec fanages mécaniques.
Ffoin 4) "Du foin pour le lait" : fournir un fourrage sec abondant et de qualité en acceptant un coût important mais un risque limité : nombre d'opérations pouvant être important mais limitation du risque au printemps (pluie) et même en été (sécheresse) **Exemple de conduite :** déprimage, fauche moyennement précoce, regain, pâture d'automne ; fertilisation organique importante tous les ans à 2 fois par an, apports légers d'engrais phosphorique et potassique, ammonitrate pour les repousses si la parcelle ne craint pas le sec ; foin séché au sol ou en grange avec engins de fanage rapides (faneuse à toupies, faucheuse conditionneuse).
Ffoin 5) "Du foin pour le lait sinon rien" : fournir un fourrage sec abondant et de qualité en acceptant un coût et un risque élevés : nombre d'opérations important et prise de risques. **Exemple de conduite :** fauche précoce, regain, 3ème coupe, pâture d'automne ; fertilisation organique importante tous les ans à 2 fois par an, apports légers d'engrais phosphorique et potassique, souvent ammonitrate sur les repousses ; foin séché en grange avec engins de fanage rapides (faneuse à toupies, faucheuse conditionneuse).

Précisions sur les notions de coûts et de risques utilisées dans les tableaux 1-1 et 1-2 :
Dans la notion de coût interviennent à la fois les coûts monétaires (engrais, carburants, matériel de fenaison et de fertilisation) et le temps de travail (nombre d'opérations techniques sur la parcelle, exigences de ces opérations en technicité et en ponctualité).

La notion de risque se définit par l'incertitude de réalisation des objectifs. **Le risque est fort quand les décisions sont prises par rapport à des prévisions de pousse de l'herbe ou d'effet des pratiques, par opposition à des décisions prises sur des états observés de l'herbe.**

mois, la ration de base est donc essentiellement composée de foin, pour les vaches laitières comme pour les animaux d'élevage. Les laitières, souvent de races locale (Abondance et Tarine), ont un niveau de production n'excédant que rarement 5000 kg de lait par an. Malgré des achats de foin hors de la région pour certaines exploitations, les prairies de fauche ont comme fonction principale d'assurer la ration de base hivernale des vaches laitières et des génisses. Ces prairies subissent généralement un pâturage d'automne. Durant la période de pâturage, les animaux utilisent soit des parcelles uniquement pâturées, soit ayant un mode d'utilisation intermédiaire associant fauche et pâture à des degrés et des périodes divers.

1 - Identification des fonctions parcellaires

Les déterminants des fonctions d'une parcelle sont nombreux et complexes. Notre objet n'est pas de les étudier ici. Une fonction parcellaire se caractérise à la fois par les objectifs de l'agriculteur et les coûts et les risques qu'il accepte. La fonction parcellaire traduit une double structuration de la demande alimentaire pour les animaux dans l'espace et dans le temps.

Pour définir les fonctions des surfaces, nous avons procédé d'une façon différente de celle présentée par GUERIN et BELLON (1990). Pour ces auteurs, une même surface peut avoir plusieurs fonctions successives dans la saison. La durée d'une fonction peut-être très courte, de l'ordre d'une quinzaine de jours, en relation avec différents niveaux de demandes alimentaires. Nous pratiquons une structuration plus simple du temps et nous privilégions la fonction principale d'une surface (qui peut cependant être mixte fauche et pâture). Nous avons travaillé dans des systèmes bovins laitiers. Dans les troupeaux de vaches laitières, les différents animaux sont souvent à des niveaux de lactation différents. Dans cette situation, un découpage du temps en séquences courtes n'a pas de sens pour caractériser le niveau de la demande alimentaire en matière de ration de base. C'est un découpage saisonnier simple qui a été retenu. D'autre part, nous avons défini des fonctions qui rendent compte des orientations stratégiques d'utilisation des parcelles pour l'alimentation des animaux et non pas de changements d'affectation tactiques en liaison avec les fluctuations du climat. Ce choix est lié au type d'outil de diagnostic que nous avons retenu : l'aide à la décision en matière de conduite des parcelles à moyen terme et non pas l'aide au pilotage quotidien, ou à court terme.

L'identification des fonctions parcellaires nécessite une analyse des pratiques sur les surfaces en les replaçant dans le cadre général des objectifs de l'exploitation et du mode de conduite des troupeaux. Ainsi, la fonction de production de foin de qualité (Ffoin5 : "Du foin pour le lait sinon rien") est liée à un ensemble de caractéristiques :

- des pratiques parcellaires (fortes fertilisations, fauche précoce ...),
- la topographie de la parcelle, sa situation dans le parcellaire (accès facile, peu de problèmes de mécanisation),
- l'utilisation des autres surfaces (existence d'un circuit de pâturage conçu de façon à ne pâturer en aucun cas les regains des parcelles de fonction "Ffoin5"),
- la logique de conduite du troupeau (production de lait d'hiver en maximisant la part de la ration de base),
- des objectifs d'exploitation (recherche de l'autonomie fourragère par intensification dans la conduite des surfaces),
- un savoir technique de l'éleveur (sur la biologie des prairies et la production laitière).

Tableau 1-2 : Principales fonctions des prairies pâturées et des prairies mixtes fauchées et pâturées des Alpes du Nord

1 - FONCTIONS D'ALIMENTATION AU PATURAGE EXCLUSIVES

VACHES LAITIERES ET ANIMAUX DE RENOUVELLEMENT

Fpat 1) "Le troupeau ne doit pas attendre l'herbe" : la demande pour les animaux est supérieure ou égale à l'offre, la fonction du couvert est d'assurer une production d'herbe régulière, abondante et de qualité, dès le début du printemps et tout au long de la saison. Les coûts et les risques acceptés sont élevés.

Exemple de conduite : 4 à 5 pâtures rationnées dans la saison, fauche des refus si nécessaire pour la maîtrise des épis, fertilisation organique, azote minéral après le pâturage.

Fpat 2) "L'herbe doit pouvoir attendre le troupeau" : la demande pour les animaux est facilement couverte et l'évolution des chargements impose que l'on ne suive pas forcément la pousse de l'herbe. Le couvert a pour fonction d'assurer une production d'herbe régulière et de qualité à faible risque (souplesse) et coût limité.

Exemple de conduite : 3 pâtures dans la saison, fertilisation organique ou minérale faible, entretien et travaux faibles (peu de rationnement, pas de fauche des refus).

extrême alpage en pâturage plus ou moins libre avec 1 ou 2 passages dans la saison avec très peu d'entretien et de fertilisation.

ANIMAUX DE RENOUVELLEMENT OU HORS PERIODE DE PRODUCTION LAITIERE

Fpat 6) "Elles auront toujours assez à manger" : le couvert a pour fonction d'assurer l'entretien des animaux à moindre coût et risque limité. Dans une logique de "cueillette" le maintien d'une couverture herbacée n'est pas une nécessité. L'ajustement entre l'offre et la demande pour les animaux n'est pas géré

Exemple de conduite : 1 pâture longue au printemps et en automne. Pas de fertilisation ni d'entretien, clôture parfois incomplète de la parcelle.

2 - FONCTIONS D'ALIMENTATION AU PATURAGE ET DE CONSTITUTION DE STOCKS HIVERNAUX

Fmix 2) "De l'herbe en inter-saisons, du foin en été" : la fonction du couvert est d'assurer l'alimentation des animaux en période intermédiaire avant et après l'alpage et surtout de contribuer à la constitution de stocks de qualité pour l'hiver. Coûts et risques acceptés importants. A l'extrême le pâturage peut avoir comme fonction essentielle d'améliorer la qualité du foin récolté.

Exemple de conduite : pâture, pâture, fauche, fauche, pâture, fertilisation organique, azote minéral.

Fmix 3) "Du foin pour le lait et de l'herbe en été" : la fonction du couvert est de contribuer à la constitution de stocks hivernaux de qualité et surtout de permettre l'agrandissement de la surface pâturée à partir de fin Juillet

Exemple de conduite : fauche précoce, 3 à 4 pâtures rationnées, fertilisation organique, azote minéral après la 1ère coupe.

Cette procédure fait appel à la fois à des informations sur les pratiques et aux explications par lesquelles l'agriculteur les justifie. La fonction est donc une formalisation, une représentation, de l'objectif qu'un agriculteur attribue à une parcelle. La fonction Ffoin5 : "Du foin pour le lait sinon rien", que nous venons de détailler, se rapproche de l'objectif par rapport auquel les experts fourragers ont fait des diagnostics dans les prairies de fauche et proposé des conseils techniques de maximisation de la production fourragère. Elle en diffère cependant car sa dénomination, "Du foin pour le lait sinon rien", évoque explicitement la destination du fourrage et implique que les décisions tiennent compte aussi de ses conditions d'utilisation et pas seulement de sa production.

A l'aide d'enquêtes en exploitation et d'entretiens auprès des techniciens agricoles nous avons des données nombreuses concernant la conduite des prairies de fauche et des pâtures dans l'ensemble des Alpes du Nord (JOSIEN, 1979 ; HUGUET et ROYBIN, 1982 ; FLEURY et al., 1985 ; ROYBIN, 1985 ; GRANGER, 1986 ; FARGEAUD et ORGIAZZI, 1989). C'est grâce à ces connaissances que nous avons défini le catalogue des fonctions parcellaires des surfaces fourragères des Alpes du Nord.

2 - Inventaire des fonctions parcellaires

Les cinq fonctions parcellaires concernant les prairies de fauche des Alpes du Nord sont décrites dans le tableau 1-1. Les principales fonctions parcellaires des prairies pâturées ou des prairies mixtes fauchées et pâturées sont présentées dans le tableau 1-2. La liste complète de l'ensemble des fonctions parcellaires rencontrées dans les exploitations des Alpes du Nord se trouve dans l'annexe 1.

Le plus souvent, pour les prairies de fauche, à ces fonctions de production se superpose une fonction secondaire dans la gestion des fumiers et lisiers des exploitations. Cette fonction d'accueil des déjections peut, pour certaines parcelles, devenir prioritaire sur la récolte de foin (DAMBRICOURT, 1982). De même, quelques parcelles ne sont pas fauchées pour leur foin mais pour permettre le maintien d'un couvert herbacé. Elles n'ont plus de fonction actuelle de production précise dans l'exploitation et la fauche est pratiquée pour maintenir en état le patrimoine agricole.

B) PRATIQUES AGRICOLES

Cette diversité de fonctions parcellaires se traduit par une grande variété dans les pratiques agricoles (tableaux 1-1 et 1-2). Pour une fonction donnée, il existe également des pratiques diversifiées (annexe 1).

Dans les prairies de fauche, le rythme le plus fréquent est du type fauche (F), regain (R), pâture (P) d'automne. Les stades de fauche du premier cycle varient de l'épiaison à la dissémination des graines des graminées, avec une prédominance des fauches moyennes à tardives (au delà de la floraison). La fertilisation, très variable, est à dominance organique : lisiers liquides, lisiers secs (fumier stocké en tas sans adjonction de paille et ayant perdu la majorité des jus) et fumiers plus ou moins riches en paille. Les doses varient de 0 à 50 tonnes

Tableau 1-3 : Les critères fourragers assurant une bonne aptitude des couverts prairiaux pour les différentes fonctions des prairies de fauche

FONCTION	CRITERES FOURRAGERS ASSURANT UNE BONNE APTITUDE A LA FONCTION
Ffoin 1 : **"Du foin dans la grange "**	**1** : biomasse produite importante durant le premier cycle et le regain, **2** : ne pas se situer au dessous d'un seuil minimum de valeur du foin.
Ffoin 2 : **"Un bon petit foin de pays"**	**1** : chute lente de la valeur nutritive durant le premier cycle, **2** : ne pas se situer au dessous d'un seuil minimum de biomasse permettant la fauche.
Ffoin 3 : **"Le bon foin de Juillet"**	**1** : chute lente de la valeur nutritive durant le premier cycle, **2** : accéder à un rendement moyen pour le 1er cycle et le regain.
Ffoin 4 : **"Du foin pour le lait"**	**1** : croissance assez rapide et valeurs alimentaires élevées des fourrages verts, **2** :vitesse de séchage rapide, **3** : modifications faibles durant la fenaison.
Ffoin 5 : **"Du foin pour le lait sinon rien"**	**1** : croissance rapide et valeurs alimentaires élevées des fourrages verts, **2** : modifications faibles durant la fenaison, **3** :vitesse de séchage rapide.

par hectare et par an. La fréquence est souvent annuelle, mais des apports soit tous les deux, voire trois ans, soit au contraire deux fois par an sont également pratiqués. La fertilisation minérale, lorsqu'elle existe, est le plus souvent apportée comme un complément à la fumure organique :

- fumure de fond phosphatée et potassique au printemps ou à l'automne, à doses assez faibles généralement inférieures à 50 unités par hectare et par an, mais atteignant parfois 100 unités,
- fertilisation azotée (30 à 50 unités par hectare) après la fauche du premier cycle et parfois aussi après le regain pour favoriser les repousses.

Dans les prairies pâturées et dans les prairies mixtes de fauche et de pâture, la diversité des pratiques est plus forte encore. Les modes d'utilisation sont nombreux : pâture exclusive avec pâturage rationné ou pâturage libre, combinaisons multiples entre fauches et pâtures, nombre d'exploitations annuelles variant de un (parcs extensifs) à six (pâtures intensives). Les pratiques de fertilisation ont également une grande gamme de variation : aucune fertilisation, fertilisation organique à base de lisier, associée ou non à une complémentation minérale, ou même fertilisation minérale seule. Dans ce dernier cas, les doses d'azote minéral dépassent très rarement 100 unités par hectare et par an.

2 - PLUSIEURS CRITERES FOURRAGERS POUR CARACTERISER LA VALEUR D'USAGE

Au sein d'une exploitation, la fonction varie avec le couvert, mais aussi avec la parcelle (topographie) et la structure du parcellaire (place de la parcelle dans le parcellaire). **Le couvert végétal est loin d'être le seul déterminant de la répartition des fonctions.** Il reste néanmoins un critère essentiel de l'aptitude des surfaces à remplir une fonction. Pour cette raison, nous avons attaché une importance toute particulière à identifier des critères fourragers permettant de caractériser l'aptitude des couverts à remplir les différentes fonctions qui leur sont attribuées.

L'analyse des fonctions et des pratiques qui leur sont associées montre en particulier l'importance de prendre en compte ,non seulement les productions ou la valeur fourragère instantanée, mais aussi les évolutions saisonnières de ces critères. Par exemple, caractériser les couverts végétaux par rapport à leur aptitude à fournir un fourrage de qualité correcte, même en faible quantité (Ffoin 2 : "Un bon petit foin de pays"), implique de connaître les facteurs de variation et l'évolution de la valeur nutritive des prairies durant la saison. Lorsque la fonction du couvert est d'assurer la production d'un fourrage abondant et de qualité (Ffoin 4 : "Du foin pour le lait"), il devient nécessaire de caractériser aussi ses capacités de pousse et de repousse. Il est également important de situer les couverts par rapport à leur aptitude à la fenaison. Enfin, pour évaluer les possibilités d'agir sur la valeur d'usage, la connaissance des facteurs de variation de la végétation et de sa dynamique est très importante.

Les critères fourragers déterminant la plus ou moins grande aptitude d'un couvert à remplir une fonction sont variables suivant la fonction (tableau 1-3). Ces hiérarchies différentes montrent le caractère illusoire d'une caractérisation des végétations dans l'absolu, sans tenir compte des usages auxquels elles sont affectées.

Tableau 1-4 : Les critères fourragers assurant une bonne aptitude des couverts prairiaux pour les différentes fonctions des prairies pâturées et mixtes fauchées et pâturées

FONCTION	CRITERES FOURRAGERS ASSURANT UNE BONNE APTITUDE A LA FONCTION
1 - FONCTIONS D'ALIMENTATION AU PATURAGE EXCLUSIVES	
VACHES LAITIERES ET ANIMAUX DE RENOUVELLEMENT	
Fpat 1 : **"Le troupeau ne doit pas attendre l'herbe"**	**1** : fortes capacités de pousse et de repousses et régularité de la croissance, **2** : qualités alimentaires élevées pour l'ensemble de la saison, **3** : bonne résistance au piétinement.
Fpat 2 : **"L'herbe doit pouvoir attendre le troupeau"**	**1** : souplesse d'utilisation : maintien de la valeur nutritive et de l'appétibilité, même sur de l'herbe âgée, **2** : pas de croissance explosive.
ANIMAUX DE RENOUVELLEMENT OU HORS PERIODE DE PRODUCTION LAITIERE	
Fpat 6 : **"Elles auront toujours assez à manger"**	**1** : consommation et appétibilité correctes au moins sur certaines zones.
2 - FONCTIONS D'ALIMENTATION AU PATURAGE ET DE CONSTITUTION DE STOCKS HIVERNAUX	
Fmix 2 : **"De l'herbe en inter-saisons, du foin en été"**	**1** : fortes capacités de pousse et de repousses, **2** : qualités alimentaires élevées pour l'ensemble de la saison, **3** : bonne résistance au piétinement.
Fmix 3 : **"Du foin pour le lait et de l'herbe en été"**	**1** : fortes capacités de pousse et de repousses, **2** : qualités alimentaires élevées durant le premier cycle et les repousses, **3** : bonne récoltabilité des fourrages à stocker (modifications faibles et séchage rapide)

Pour les prairies de fauche, surfaces sur lesquelles notre exposé porte principalement, nous avons retenu quatre critères fourragers :

- **évolution de la biomasse végétale aérienne durant le premier cycle et les repousses,**
- **évolution de la valeur alimentaire (valeur nutritive et ingestibilité) durant le premier cycle et les repousses,**
- **"récoltabilité" des fourrages produits (besoins en séchage et modifications durant la fenaison),**
- **dynamique de végétation des couverts (possibilités d'évolution vers d'autres aptitudes).**

Après avoir étudié les facteurs de variation de chacun de ces critères, nous pourrons caractériser les aptitudes des couverts prairiaux à remplir l'une des cinq fonctions parcellaires des prairies de fauche des Alpes du Nord.

Pour les prairies pâturées et les prairies mixtes la gamme des fonctions est différente et les critères, permettant d'évaluer l'aptitude des couverts à ces fonctions, ne sont pas les mêmes. L'appétibilité, la souplesse d'exploitation (marges de manoeuvre laissées par l'herbe à l'agriculteur pour éviter gaspillage et refus (GILLET, 1980)) sont plus importantes et se caractérisent par d'autres indicateurs que dans les prairies de fauche (tableau 1-4).

3 - LES PRAIRIES DANS LE CONTEXTE BIOGEOGRAPHIQUE DES ALPES DU NORD

Les biogéographes qui ont étudié la répartition des végétations dans les Alpes du Nord (OZENDA, 1954 ; DOBREMEZ et VARTANIAN, 1974 ; RICHARD et PAUTOU, 1982 ; RICHARD et al., 1983 ; OZENDA, 1985) ont mis en évidence l'existence de deux modes de zonation liée aux variations des facteurs climatiques.

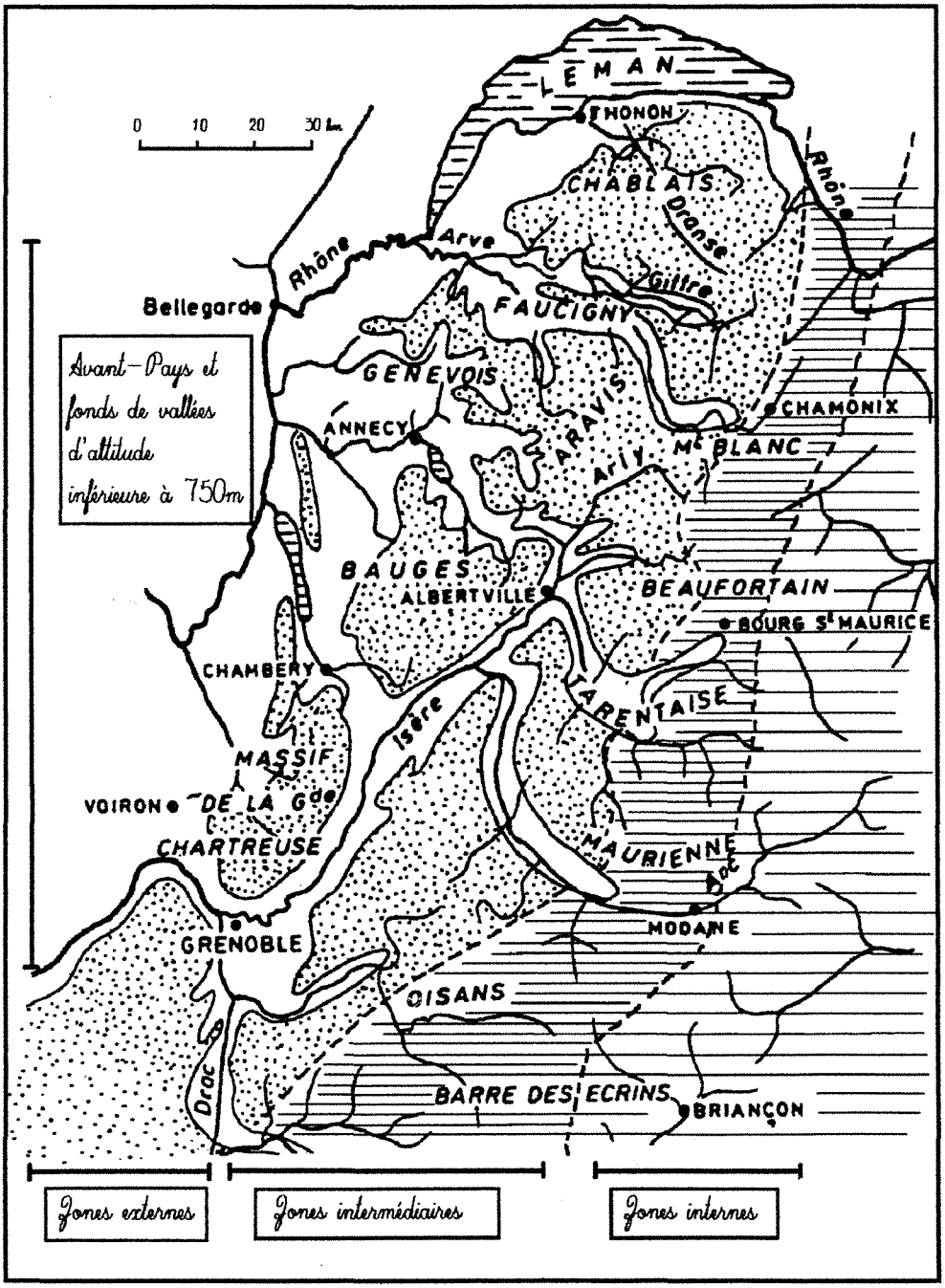
L'augmentation d'altitude a des conséquences bien connues sur le climat : baisse régulière des températures moyennes, augmentation du rayonnement solaire, des précipitations et de la durée d'enneigement. Cette répartition verticale des climats, surtout des températures se traduit par l'existence d'étages de végétation. Le deuxième mode de zonation est longitudinal. La succession des reliefs et la forme coudée de certaines vallées limitent la pénétration des perturbations météorologiques. A altitude constante, les précipitations diminuent lorsque l'on pénètre dans les zones internes des Alpes.

A) DIVISIONS BIOGEOGRAPHIQUES ET CONSEQUENCES CLIMATIQUES ET PEDOLOGIQUES

Dans les régions situées à l'ouest du massif alpin, le domaine externe (figure 1-4), **la pluviométrie est importante** (tableau 1-5), de l'ordre de 1500 à 1700 mm, répartis régulièrement tout au long de l'année. L'ambiance thermique générale est fraîche puisqu'en juillet, mois le plus chaud, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 15°C à 1000m d'altitude. Les sols sous prairies appartiennent dans leur majorité à la famille des sols bruns ou des sols peu évolués. Ils sont issus de roches sédimentaires ou de leurs matériaux d'altération

Figure 1-4 : Les grandes zones biogéographiques des Alpes du Nord : avant-pays et fonds de vallées, zones externes, intermédiaires et internes

(d'après RICHARD et PAUTOU, 1982)



transportés (VAN OORT et DORIOZ, 1982 ; LEGROS et al., 1987 ; DORIOZ, 1989 ; DORIOZ et TREVISAN, 1990). Ce sont des sols souvent profonds, de texture fine (limons dominants), ayant une réserve en eau conséquente.

Les prairies de fauche se concentrent, dans l'étage montagnard, à une altitude variant de 600 à 1500m. L'étage submontagnard recouvre les versants sud d'altitude inférieure à 900m et les zones de collines et de plateaux, de 500 à 800m d'altitude, situés à l'Ouest du massif alpin. Les pâtures, exception faite de la zone des alpages, sont dans la même gamme d'altitude. Les alpages, souvent situés au delà de 1500m, appartiennent à l'étage subalpin.

Dans la zone interne des Alpes (figure 1-4), **la pluviosité, plus faible, est inférieure à 1000 mm sur l'année et les étés sont secs.** A altitude et latitude égales, les températures moyennes annuelles sont supérieures de 1 à 2°C à celles des Alpes externes. Cela entraîne une remontée des étages de végétation de 200 à 300 mètres (OZENDA, 1985). Les sols sous prairies, issus de roche mère siliceuse et souvent moins évolués que dans les Alpes externes ont une texture sableuse à limono-sableuse, filtrante et de faible réserve en eau (DAMBRINE et al., 1984 ; DORIOZ et TREVISAN, 1991). Dans les vallées internes, la majorité des prairies de fauche est située dans l'étage montagnard et dans l'étage subalpin de 1200 à 2000m d'altitude. Au montagnard, les pâtures sont rares, elles sont concentrées dans les alpages aux étages subalpin et alpin.

Il existe une zone "intermédiaire" (figure 1-4), qui a des caractéristiques plus proches des Alpes externes que Alpes zones internes.

Les travaux que nous présentons ici concernent, pour l'essentiel, les prairies de fauche de l'étage montagnard des Alpes externes. Pour montrer la validité générale de certains concepts et de certaines lois que nous proposons, nous utilisons aussi des résultats obtenus, soit dans les prairies de fauche de l'étage submontagnard des Alpes externes, soit dans les Alpes internes, soit encore dans les prairies pâturées de l'étage montagnard externe.

B) QUELQUES TRAITS DE LA VEGETATION DES PRAIRIES

La flore des prairies des Alpes du Nord comprend des espèces fréquentes dans beaucoup de prairies françaises : *Dactylis glomerata*, *Poa trivialis*, *Festuca pratensis*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Ranunculus acris*, *Taraxacum officinale* .... On y rencontre aussi des espèces, généralement des dicotylédones, plus spécifiques du milieu montagnard : *Anthriscus sylvestris*, *Rumex obtusifolius*, *Geranium sylvaticum*, *Chaerophyllum hirsutum*, *Polygonum bistorta* par exemple.

Ces dicotylédones prennent parfois, sous l'influence de certaines conditions de milieu et de pratiques agricoles, un port exubérant. Elles peuvent alors représenter la majorité du volume de la végétation d'une parcelle. Ce sont principalement ces invasions qui ont inquiété les agriculteurs et ont motivé leur demande de recherches sur les prairies.

Tableau 1-5 : Caractéristiques climatiques des zones biogéographiques des Alpes du Nord

(d'après RICHARD et PAUTOU, 1982 ; période 1955-1970, moyennes sur les postes météorologiques de chaque secteur).

Secteur biogéographique	Altitude moyenne (en m)	Précipitations moyennes (en mm)		Températures moyennes (en °C)	
		Année	Eté	Année	Eté
étage sub-montagnard des Alpes externes	450	1298	357	9,9	19,1
étage montagnard des Alpes externes	1000	1633	441	6,7	15,3
étage montagnard des Alpes internes et intermédiaires	1400	955	205	6,2	15,1
étage subalpin des Alpes internes et intermédiaires	1785	942	228	3,8	12,8

Tableau 1-6 : **Principaux résultats de la première partie.**
Exemples de fonctions des prairies de fauche des Alpes du Nord
et critères de la valeur d'usage

1 - LES PARCELLES ONT DES FONCTIONS DIFFERENTES SUIVANT L'EXPLOITATION AGRICOLE ET LEUR POSITION DANS LE PARCELLAIRE :

Ffoin 2) "Un bon petit foin de pays" :fournir un fourrage sec de qualité correcte, la quantité étant secondaire, à faible coût et faible risque : réduction maximale du nombre d'opérations, fauche tardive.

Exemple de conduite : fauche tardive, regain (rare) ou pâture d'automne ; pas de fertilisation; foin séché au sol avec fanages manuels ou engins peu violents (moto faneuse).

Ffoin 5) "Du foin pour le lait sinon rien" : fournir un fourrage sec abondant et de qualité, en acceptant un coût et un risque élevés : nombre d'opérations important et prise de risques.

Exemple de conduite : fauche précoce, regain, 3ème coupe, pâture d'automne ; fertilisation organique importante tous les ans à 2 fois par an, apports légers d'engrais phosphorique et potassique, souvent ammonitrate sur les repousses ; foin séché en grange avec engins de fanage rapides (faneuse à toupies, faucheuse conditionneuse).

2 - LES CRITERES FOURRAGERS PERTINENTS POUR JUGER DES APTITUDES DES COUVERTS PRAIRIAUX SONT VARIABLES SUIVANT LA FONCTION :

FONCTION	CRITERES FOURRAGERS ASSURANT UNE BONNE APTITUDE A LA FONCTION
Ffoin 2 : "Un bon petit foin de pays"	**1** : chute lente de la valeur nutritive durant le premier cycle, **2** : ne pas se situer au dessous d'un seuil minimum de biomasse permettant la fauche.
Ffoin 5 : "Du foin pour le lait sinon rien"	**1** : croissance rapide et valeurs alimentaires élevées des fourrages verts, **2** : modifications faibles durant la fenaison, **3** :vitesse de séchage rapide.

3 - QUATRE CRITERES FOURRAGERS PERMETTENT DE CARACTERISER LES APTITUDES DES VEGETATIONS AUX DIFFERENTES FONCTIONS DES PRAIRIES DE FAUCHE :

- évolution de la biomasse végétale aérienne durant le premier cycle et les repousses,
- évolution de la valeur alimentaire (valeur nutritive et ingestibilité) durant le cycle de printemps et les repousses,
- "récoltabilité" des fourrages produits (besoins en séchage et modifications durant la fenaison),
- dynamique de la végétation (possibilités d'évolution vers d'autres aptitudes).

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA PREMIERE PARTIE

Les approches techniques, comme l'agronomie appliquée à la production fourragère, peuvent tenir compte de données concernant le fonctionnement général des exploitations et les savoirs techniques des agriculteurs et des agents du développement. Cette introduction raisonnée n'a pas pour objectif de se substituer aux recherches conduites en matière de gestion ou de sociologie. Il s'agit simplement de mettre en évidence les liens fonctionnels entre parcelles et exploitation pour :

- aider à l'élaboration d'une problématique de recherche technique,
- permettre l'intégration de connaissances techniques parcellaires dans une gestion globale de l'exploitation,
- favoriser l'utilisation de ces connaissances en les rendant compatibles avec les modes de raisonnement des praticiens.

La prise en compte des fonctions des parcelles, c'est à dire de leurs rôles dans les exploitations agricoles, permet d'aborder des questions d'ordre agronomique dans une logique hiérarchisée, de l'exploitation vers la parcelle. Cela suppose de considérer séparément les déterminants des fonctions et l'aptitude d'une surface à remplir une fonction. Les fonctions formalisent les objectifs qu'un agriculteur attribue à ses différentes parcelles. Les déterminants des fonctions sont donc de l'ordre de la décision, de la gestion de l'exploitation. Ces déterminants sont nombreux, liés aux savoirs techniques des exploitants, au mode de conduite des troupeaux et au fonctionnement de l'exploitation. Au sein d'une exploitation, la fonction varie avec la parcelle (topographie, accès, statut juridique) et la structure du parcellaire (place de la parcelle dans le parcellaire). Ces derniers critères sont importants, à la fois dans le déterminisme des fonctions et dans l'aptitude des différentes parcelles. Mais, dans les systèmes fondés sur l'utilisation de végétations pérennes, le couvert végétal constitue un critère important influant sur l'aptitude d'une parcelle à remplir une fonction.

Notre objectif est de caractériser l'aptitude des couverts prairiaux à remplir les différentes fonctions qu'ils ont dans le cadre d'une gamme de systèmes de production. L'inventaire régional des fonctions parcellaires permet d'identifier des critères fourragers essentiels pour juger des aptitudes des couverts prairiaux aux différentes fonctions.

Ces critères de la valeur d'usage des prairies aident aussi à définir les orientations d'une recherche sur la caractérisation agronomique des prairies. Nous avons illustré ces concepts par la présentation des fonctions parcellaires et des critères de la valeur d'usage des prairies de fauche des Alpes du Nord. Les principaux résultats sont rappelés dans le tableau 1-6. L'objectif de la seconde partie est d'étudier les facteurs de variation des critères de la valeur d'usage.

Figure 2-1 :

Deuxième partie : Identifier les états de végétation influant sur les aptitudes agricoles des prairies

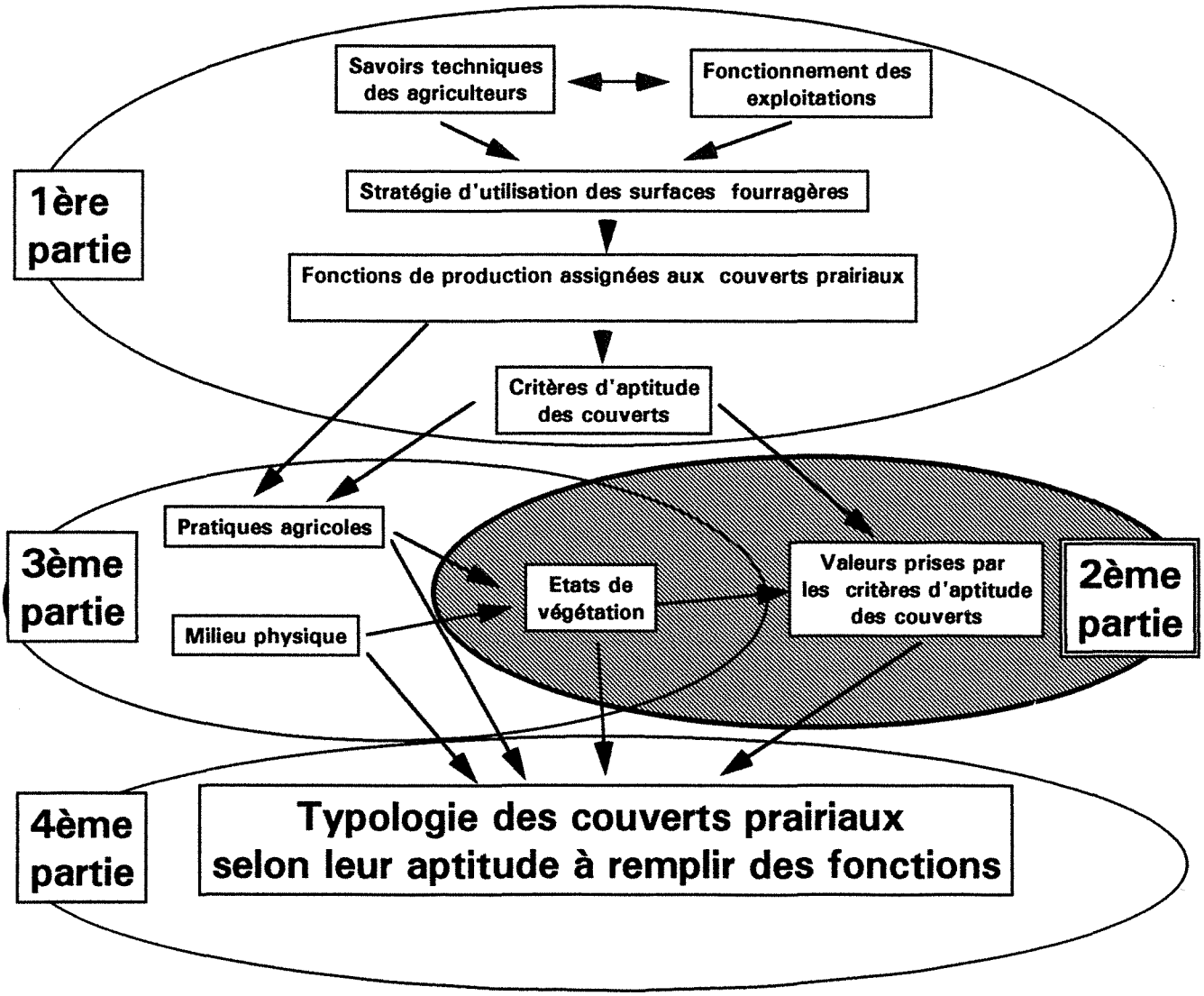
Une méthode :

Etude des différents niveaux d'action des facteurs écologiques sur la végétation et ses aptitudes agricoles

Identification d'états de végétation non exclusivement taxinomiques

Prise en compte de variations intraspécifiques et de convergences interspécifiques par des mesures morphologiques et structurales

Dans une démarche hiérarchisée :



DEUXIEME PARTIE

IDENTIFIER LES ETATS DE VEGETATION INFLUANT SUR LES APTITUDES AGRICOLES DES PRAIRIES

INTRODUCTION

L'objectif de cette partie, est d'étudier l'influence des états de végétation sur la valeur d'usage agricole des prairies (figure 2-1). Nous faisons l'hypothèse que des états de végétation non taxinomiques relevant, en particulier, de la morphologie (sénescence, taux de tiges, ...) et de la structure des végétations (sociabilité, stratification, agencement spatial, ...) ont une forte influence sur la valeur d'usage. Pour traiter de cette question nous procédons de la façon suivante :

1. nous proposons tout d'abord, une représentation du mode d'action des facteurs écologiques sur les aptitudes agricoles. Ce modèle nous permet de formuler notre problématique et nos hypothèses. Nous développons un point de vue sur la végétation et ses déterminants en relation avec nos objectifs.

2. le deuxième chapitre est consacré à une revue bibliographique. Celle-ci fait l'inventaire des différents états de végétation, utilisés pour comprendre les variations des caractéristiques agronomiques des prairies et pour faire un diagnostic des conditions de milieu et de pratiques agricoles,

3. une approche expérimentale dans les prairies des Alpes du Nord, démontre les conséquences de la variabilité intraspécique de morphologie et de structure sur la valeur nutritive et l'appétibilité. Dans cette étude, conduite sur plusieurs espèces, nous montrons des convergences de morphologie et de sociablité entre espèces vivant dans des conditions similaires. Nous utilisons ce phénomène pour mettre en évidence les possibilités de diagnostic agronomique à l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues,

4. dans le quatrième chapitre, nous étudions les facteurs de variation, à l'échelle de la communauté, des trois critères de la valeur d'usage que nous avons retenu pour les prairies de fauche des Alpes du Nord : évolution de la biomasse, évolution de la valeur alimentaire et récoltabilité des fourrages. Pour expliquer les variations de ces critères de la valeur d'usage, nous utilisons des variables rendant compte des conditions de milieu physique et des pratiques agricoles d'une part, mais aussi des états de végétation de nature variée. Certains se rapportent à la taxinomie végétale (au niveau de la famille botanique, rarement de l'espèce) ou à la phénologie des espèces, d'autres concernent la morphologie et la structure de la communauté.

I - MODE D'ACTION DES FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LES APTITUDES AGRICOLES DES COUVERTS PRAIRIAUX

L'objectif de ce chapitre est d'argumenter une représentation du mode d'action des facteurs relevant du milieu et des pratiques agricoles sur les aptitudes agricoles des couverts prairiaux. Nous suivons une démarche en trois étapes :

- comment définir des états de végétation, simples à repérer, ayant à la fois une valeur indicatrice des aptitudes agricoles d'un couvert et des conditions du milieu physique et des pratiques agricoles ?
- comment exprimer des pratiques agricoles et des conditions de milieu physique pour qu'elles aient un sens en terme de facteur susceptible d'agir sur la végétation ?
- quelle représentation fonctionnelle donner de cet ensemble, constitué par la végétation et ses déterminants et quels processus biotechniques privilégier dans une recherche finalisée ?

1 - DESCRIPTION ET ANALYSE DE LA VEGETATION

A) PLUSIEURS POINTS DE VUES SUR LA VEGETATION

1 - Quelques définitions de spécialistes

Si en écologie prairiale la végétation est souvent réduite à ses aspects taxinomiques, cela n'est cependant pas une règle exclusive. Quelques définitions du terme végétation montrent bien que de nombreux auteurs lui attribuent un sens beaucoup plus large et conçoivent son étude sous des angles variés.

La caractérisation de la végétation permet de "peindre l'aspect que donne à une contrée la distribution, le port, l'abondance ou la rareté des plantes qui en couvrent le sol" (LECOQ et JUILLET, 1831 in GODRON, 1984).

"C'est la masse végétale, l'ensemble des plantes considérées dans leurs rapports avec le milieu, le climat, le sol et les êtres vivants y compris l'homme." (FLAHAULT, 1901).

"La végétation est largement indépendante de la nature systématique des végétaux qui la composent. Par contre, elle est le reflet fidèle du milieu dans lequel elle vit. Deux végétations équivalentes, croissant dans un climat analogue, peuvent n'avoir aucune espèce en commun .... Elles n'en seront pas moins apparentées et susceptibles de se remplacer mutuellement." (FAVARGER, 1962).

"... future methods of vegetation analysis and description will rely increasingly upon criteria which are functional (i.e. concerned with characteristics of life-history and physiology) rather then taxonomic." (GRIME, 1979).

La végétation peut donc se caractériser de façon multiple, puisqu'il s'agit de considérer des ensembles structurés de végétaux. Les proportions respectives des différentes espèces n'en sont qu'un aspect. Le mode d'association, la répartition spatiale, mais aussi la taille, la morphologie des organes et des individus sont d'autres critères qui peuvent être tout aussi important à considérer.

2 - Les agriculteurs pratiquent un diagnostic complexe

Nous avons réalisé, avec trois agriculteurs, des entretiens dans des prairies. Ces interviews nous permettent d'analyser leur mode de perception de la végétation (LEBOEUF et MENAHEM, 1993). Le diagnostic pratiqué par les agriculteurs, qui est finalisé vers l'utilisation de leurs prairies pour l'alimentation des animaux, prend en compte des indicateurs multiples faisant appel à différents niveaux de caractérisation de la végétation.

A) LES ETATS DE VEGETATION OBSERVES

Les agriculteurs repèrent certaines espèces, mais plus souvent des grands groupes, pour faire un diagnostic des conditions écologiques ou de certaines propriétés du fourrage. Le pissenlit (*Taraxacum officinale*) est, par exemple, relié à des conditions de milieu riche et à une récolte difficile car il s'agit d'une plante qui se brise très facilement lors de la fenaison. Une forte proportion d'ombellifères à feuilles découpées ("*ciguës*", "*cocuets*" sont des noms vernaculaires rassemblant *Anthriscus sylvestris, Chaerophyllum aureum et hirsutum*) est caractéristique d'une fertilisation organique excessive. Pour ces ombellifères, ils observent la présence des grosses tiges qui sont refusées par les animaux l'hiver à l'étable. En fait, le jugement d'une espèce n'est que rarement absolu et il est souvent précisé par la prise en compte de deux phénomènes dynamiques. Par exemple, l'évolution de l'état de *Geranium sylvaticum* durant le cycle de végétation est décrite ainsi : "*là ça se mangerait bien encore, parce qu'ils sont bien verts, mais après ça devient tout rouge, la feuille couleur rouille, alors là ça vaut plus rien*". A moyen terme, l'agriculteur considère aussi le risque d'envahissement de la prairie : "*les géraniums s'installent et puis après les autres plantes crèvent*".

Les indicateurs morphologiques utilisés pour juger de l'état actuel d'un fourrage, de son évolution à court terme, du comportement possible des animaux et des décisions à prendre sont très nombreux. Les critères repérés permettent de décrire les différents organes de la végétation (tiges, feuilles) en termes de présence et d'abondance, de taille ("*la grosse bûche*", "*les petits fétus*", "*c'est plus fin*") et d'état. La description des états fait référence à la couleur, à la phénologie, au port mais aussi à des critères qualitatifs : "*c'était joli, vert foncé*", "*on voit qu'il est plus riche en azote, ... il est plus vert*", "*c'est tout couché*", "*les tiges sont plus dures et commencent à blanchir*", "*c'est tout de l'herbe morte, c'est plus du foin*", "*les graminées là c'est plus fin*", ...

Il s'agit d'observations visuelles et globales, dont il peut paraître difficile de préciser le mode d'appréciation, en particulier lorsque les agriculteurs utilisent des adjectifs comme "*dur*", "*fin*". Mais ce diagnostic visuel se réfère à des connaissances sur la structure des organes. Un agriculteur explique ainsi le lien entre stade phénologique, morphologie de la tige et qualité du foin : "*Y a l'épi qui est fait et puis c'est déjà gros ; tu prends le tronc, il est bien plus gros et il est vide dedans, tu vois, il fait déjà le trou*" ce qui lui permet de conclure " *Là ça va plus augmenter la quantité, non ... et la qualité va baisser*".

L' allure générale de la végétation, sa structure c'est à dire la façon dont les différentes individus sont répartis est aussi utilisée pour le diagnostic : "*c'était vraiment vert joli, bien régulier, on aurait dit un tapis*" "*ça fait le gazon*" "*les grosses touffes, là où les vaches se couchent*". Certaines espèces ne sont ainsi considérées séparément que si elles ont une physionomie et une structure spéciale. A propos de *Geranium sylvaticum* : "*Regarde là, il est jeune encore, mais t'as vu le bouquet que ça fait*". Pour beaucoup d'agriculteurs la "*fenasse*" désigne l'ensemble des graminées, dans une prairie à mélange plurispécifique de graminées ("*La fenasse c'est tout ça, c'est toutes les herbes à grandes machines,...c'est tout de la famille des graminées*"). Dans une prairie associant des graminées monospécifiques en touffes à un tapis plurispécifique, la distinction entre le tapis, et les touffes est pratiquée : "*elles tournent autour des touffes de cette graminée*", "*les touffes de dactyle, elles y mangent pas trop, surtout à l'automne, c' est dur*".

B) UN DIAGNOSTIC EN RELATION AVEC LES FONCTIONS DES PRAIRIES DANS L'EXPLOITATION

Les observations pratiquées par les agriculteurs s'établissent avec l'usage. Elles sont variables avec les conditions de milieu, les pratiques agricoles mais aussi avec la logique de fonctionnement et le savoir technique de l'agriculteur. Par exemple, au printemps, les trois agriculteurs interviewés utilisent *Taraxacum officinale* comme indicateur phénologique pour juger de l'opportunité de la fauche. Le même jour, les conclusions qu'ils font sur son état sont différentes : "*Regarde là les dents de lion (Taraxacum officinale), ils défleurissent déjà. Alors là une parcelle comme ça, ... il faudrait qu'elle soit faite quand les dents de lion sont en fleur*". Un autre agriculteur considère que : "*Le pissenlit jaune, c'est trop précoce, la*

végétation est trop humide. Non mais tu vois, une fois 8-10 jours apres qu'il a défleuri, c'est bon". En fait, le premier agriculteur équipé d'un séchage en grange, est organisé de façon à réaliser un foin précoce. Il recherche un foin de qualité pour ses laitières et réduire la distribution de concentrés. Le second agriculteur a un fonctionnement d'exploitation différent. Les fonctions de ses prairies sont autres. Il privilégie la quantité récoltée sans multiplication des opérations sur les parcelles : pas de troisième coupe, pas de fauche précoce pour limiter le risque climatique. Leur représentation de la prairie est également différente. Le premier a suivi une formation avant son installation et connait le mécanisme du tallage et la reproduction végétative des graminées. Ensuite, il a vu ses prairies permanentes très fertilisées fonctionner ainsi d'année en année. Le second agriculteur, pense assurer une meilleur pérennité à ses prairies en ne les fauchant pas trop tôt. Pour cela, il ne se réfère pas à la nécessité de laisser les plantes assurer la dissémination de leurs graines, mais au fait, qu'il a observé une repousse plus faible sur certaines parcelles peu fertilisées l'année ayant suivi une fauche plus précoce.

Les diagnostics pratiqués par les agriculteurs sont donc complexes. Ils associent tous différents indicateurs, variables avec la nature des informations recherchées. Pour juger du niveau des ressources en éléments nutritifs et en eau (milieu riche, pauvre, sec ou pas), les observations de certaines espèces ou groupes d'espèces sont couplées à un regard sur l'allure de la pousse de l'herbe (densité, couleur, hauteur par rapport à la saison et à la dernière utilisation). Ils regardent aussi l'humidité du sol en surface, qui leur permet une évaluation du régime hydrique, par comparaison avec d'autre situations, qu'ils connaissent bien et qu'ils ont vues récemment.

Le diagnostic sur la valeur du fourrage se fonde sur une approche prenant en compte différents critères morphologiques, structuraux et phénologiques. La représentation que les agriculteurs ont developpé de leurs prairies est fondée, au moins en partie, sur les usages qu'ils en font. Ils ne restreignent pas leurs observations à une seule composante de la végétation : composition floristique, composition morphologique en feuilles et tiges, ... C'est en fait la multiplicité des points de vue qui permet le diagnostic alors que les observations sur chacune des composantes sont simples et peu détaillées.

Nous nous situons aussi dans une optique de caractérisation des aptitudes de la végétation à différents usages. Pour cela, nous choisissons de pratiquer un regard large. En faisant cela, nous nous rapprochons des principes mis en oeuvre par les agriculteurs, mais aussi de différentes démarches d'analyse scientifique de la végétation.

B) DEFINITIONS RETENUES

Pour notre problématique, nous proposons quelques définitions qui nous permettent de préciser, au delà du terme général de végétation, les niveaux et modes d'observation que nous avons utilisés.

1 - Plusieurs niveaux hiérarchiques dans la végétation

L'organisation et le fonctionnement des végétations prairiales peuvent être appréhendés à différents niveaux hiérarchiques (ALLEN et STARR, 1982 ; BRISKE, 1989) :

- **l'individu :** dans les prairies la définition de l'individu physiologique n'est pas toujours facile. Celui-ci est généralement constitué d'un assemblage de modules de base ou talles pour les graminées (BRISKE, 1986). Le terme courant de "plante" rend assez bien compte de la notion d'individu, sauf pour les végétaux stolonifères ou rhizomateux pour lesquels les "individus" réels sont peu distinguables (DANAIS, 1984),

- **la population :** c'est "l'ensemble des individus de même espèce vivant sur un territoire donné" (LEMEE, 1985),

- **la communauté :** c'est "l'ensemble des végétaux réunis sur une même surface" (LEMEE,1978). Elle est donc constituée d'individus de différentes espèces vivant en interaction dans un même environnement écologique (VAN der MAAREL, 1988). Les termes de phytocénose, de groupement (LEMEE, 1978 ; DELPECH et al. 1985), que nous n'employons pas, ont des significations voisines.

2 - Plusieurs modes de description de la végétation

La figure 2-2 illustre différents modes de caractérisation de la végétation.

Nous utilisons le terme de **structure pour désigner " la répartition spatiale des individus végétaux de la station"** (GODRON et al., 1968). Les modules des individus, les individus, les populations d'une communauté ne sont pas disposés au hasard dans l'espace. Ils occupent souvent une place précise qui traduit une organisation sociale des plantes. La structure de la communauté est donc une image de son fonctionnement, en particulier des rapports de compétition pour la lumière et les nutriments.

L'agencement spatial des individus des différentes espèces peut-être envisagé d'une part, selon un **plan horizontal (sociabilité),** et d'autre part selon un **plan vertical (stratification)** (DAJOZ, 1975 ; DUVIGNEAUD LAMOTTE, 1985).

Un élément structural est un agrégat de brins d'herbe (individus), appartenant à une ou plusieurs espèces, et constituant une unité physionomiquement homogène dans laquelle les individus d'une espèce ont la même sociabilité : par exemple, touffes de graminées à feuilles larges (*Dactylis glomerata, Festuca pratensis*), taches monospécifiques de dicotylédones rampantes (*Ranunculus repens, Aegopodium podagraria*) ou tapis plurispécifiques de graminées à feuilles moyennes (*Festuca pratensis, Dactylis, Agrostis*

Figure 2-2 : **Plusieurs points de vue sur la végétation**

La végétation peut-être perçue comme une communauté composée d'individus d'espèces différentes. C'est sa composition floristique.



La végétation peut être perçue comme une communauté dans laquelle les individus ne sont pas disposés au hasard. Cet assemblage constitue sa structure.



La végétation peut être perçue comme un ensemble d'organes vivants ou sénescents : feuilles, tiges, ... C'est sa composition morphologique.



Figure 2-3 : **La structure influence aussi la physionomie d'une prairie et peut s'observer, comme la composition floristique**



Structure en touffes



Structure en touffes et taches monospécifiques



Structure en touffes et tapis plurispécifique interstitiel



Structure en tapis plurispécifique (mélange des individus des différentes espèces)

capillaris). Ces motifs structuraux, en petit nombre dans une station, sont donc liés à des variations simultanées de composition floristique du couvert d'une part, de sociabilité et de morphologie des individus d'autre part.

Nous désignons par le terme **morphologie la description des formes des individus et de leurs modules** (talles pour les graminées) **: taille, taux de sénescence, taux de tiges, ...**

Dans les travaux sur la végétation, "physionomie" est un terme vague, qui a donné lieu à de nombreuses définitions. Son utilisation est historiquement liée à celle du concept de formation. Une formation est définie comme "tout groupement présentant une physionomie homogène et constante due à la dominance soit d'une ou de plusieurs espèces sociales, soit d'espèces ayant un caractère biologique commun" (GRISEBACH, 1880 in LEMEE, 1978). La forêt dense, la prairie, sont des formations : formation ligneuse haute et dense ; formation herbacée. Il existe de nombreuses classifications des formations végétales (TROCHAIN, 1954, GODRON et al., 1968 ; DESCOINGS, 1983). Par extension, sans doute du fait que certaines nomenclatures des formations utilisent une dénomination par l'espèce dominante (GOUNOT, 1969), le terme "physionomie" a et est aussi utilisé pour désigner une caractérisation de la végétation par les abondances spécifiques relatives ou par les espèces dominantes (PLANTUREUX, 1983 ; DELPECH, 1989b).

Nous définissons le terme **physionomie** en nous référant au sens courant : "aspect particulier qui permet de distinguer un objet d'un autre". **La physionomie d'une communauté est donc son allure déterminée, par les traits marquants de sa composition floristique, de sa structure, de la morphologie et de la phénologie des individus qui la composent.** La structure de la végétation influence sa physionomie. Comme la composition floristique et les stades phénologiques, elle est observable au travers de l'allure qu'elle donne à une prairie (figure 2-3).

2 - FACTEURS ET DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES

A) DEFINITIONS

En écologie, le terme facteur a un sens variable suivant les auteurs. Il en existe de nombreuses classifications (WALTER, 1960 ; GOUNOT, 1969 ; MOLINIER et VIGNES, 1971 ; DAJOZ, 1975), qui s'adaptent plus ou moins bien à notre objectif. Si l'on privilégie la façon dont la plante est soumise aux conditions de son environnement, nous retenons pour le terme **facteur écologique ou facteur de l'environnement la définition : élément de son environnement susceptible d'agir directement sur un organisme vivant** (DAJOZ, 1975 ; DELPECH et al., 1985). Pour les végétaux, leur action se traduit soit par une modification des ressources disponibles ou une contrainte diverse, soit par une destruction partielle ou totale de la biomasse (GRIME, 1979) (tableau 2-1).

Les pratiques agricoles sont à interpréter soit comme faisant partie des conditions de l'environnement des communautés, lorsqu'elles sont régulières et se répètent d'année en année, soit comme une perturbation lorsqu'elles sont modifiées (RYKIEL, 1985). Dans ce travail, nous avons peu étudié les évènements perturbant le fonctionnement du système prairial. En effet, avant d'aborder les changements de végétation lors de variations de

Tableau 2-1 : Facteurs écologiques et descripteurs de l'environnement des communautés

D'après, WALTER, 1960 ; LEMEE, 1967 ; GOUNOT, 1969 ; GRIME, 1979 ; RYKIEL, 1985 ; BLANDIN, 1986.

<table>
<tr><th>EXEMPLES DE DESCRIPTEURS</th><th>FACTEURS EECOLOGIQUES</th><th>MODE D'ACTION</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Climat :
• températures sous abri
• précipitations
• éclairement
Sol :
• texture,
• structure
• teneurs en éléments nutritifs
• pH
Topographie :
• altitude,
• pente

Pratiques agricoles :
• pâture, fauche, (dates, nombre, chargement, ...)
• fertilisation,
• drainage, irrigation</td><td rowspan="3">Energétiques et thermiques (rayonnement, lumière, température)

Hydriques (eau atmosphérique et eau du sol)

Trophiques et chimiques (éléments nutritifs ou toxiques dans le sol, teneur en CO2 et O2 de l'air)

Mécaniques (défoliation, piétinement, vent, feu, neige, ...)

Biotiques (actions entre organismes) (en excluant les influences indirectes par changement des propriétés physiques et chimiques du milieu)</td><td>Deux modes d'action des facteurs de l'environnement :

• modifications du niveau des ressources et contraintes diverses (par exemple, action de la température sur la vitesse de réalisation des phénomènes)
• destruction partielle ou totale de la biomasse.</td></tr>
<tr><td>Les facteurs de l'environnement sont à considérer comme :

• participant au fonctionnement normal de la communauté si ils ont une fréquence et une intensité régulières,

• une perturbation, si il s'agit d'un événement rare qui se traduit par un changement dans le niveau d'un facteur.</td></tr>
<tr><td>Plusieurs descripteurs peuvent faire varier le niveau d'un même facteur</td></tr>
<tr><td colspan="2">Un descripteur peut affecter plusieurs facteurs</td></tr>
</table>

pratiques, nous avons considéré qu'il était indispensable de bien connaître les différentes situations d'équilibre.

Pour marquer l'écart, qui existe entre une caractérisation réelle des conditions de vie des plantes et les mesures qui sont utilisées pour en rendre compte, nous utilisons le terme de "**descripteur écologique**" (DAGET et GODRON, 1982). Le terme de **descripteur écologique** désigne donc tout "**élément ou condition caractérisant l'environnement mais n'ayant pas d'effet physiologique direct sur les êtres vivants**" (DELPECH et al., 1985). La pente, l'altitude par exemple sont des descripteurs écologiques complexes. Leur action passe par l'intermédiaire de variations de température, et d'ensoleillement. Certains descripteurs écologiques ont un intérêt particulier. Ils peuvent être utilisés comme des indicateurs exprimant, dans un contexte précis, tout ou partie d'un facteur écologique (tableau 2-1).

B) IDENTIFICATION DE DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES PERTINENTS

Dans la pratique, l'accès à des mesures biologiquement et directement significatives de chacun des facteurs est difficile. Il existe peu de méthodes simples d'estimation directe des facteurs écologiques, exception faite de la caractérisation de la nutrition minérale par l'analyse du végétal (SALETTE et LEMAIRE, 1981 ; SALETTE et HUCHE, 1991 ; DURU, 1992a). Néanmoins, cette technique se révèle d'une mise en oeuvre délicate et lourde sur un échantillon de stations atteignant la centaine.

La solution réside dans le recueil de descripteurs des facteurs écologiques les plus proches possible de ceux-ci. Il est prudent de ne pas retenir des descripteurs relevant de trop nombreux facteurs et d'éviter aussi ceux n'apportant qu'une vision trop partielle.
L'action des pratiques est indirecte, elle passe par le biais de la modification du niveau d'un facteur. Par exemple,

Par exemple, une fertilisation modifie la disponibilité en éléments nutritifs, mais elle n'est pas une mesure du régime trophique. C'est un descripteur, qui peut être une bonne image du régime trophique dans un contexte de passé cultural et de propriétés édaphiques des sols homogènes. Dans cet exemple, l'établissement, sur un sous-échantillon, de relations statistiques entre les pratiques de fertilisation et les indices de nutrition obtenus par analyse du végétal (LHOTELLIER, 1990) permet ensuite d'utiliser la fertilisation comme un descripteur écologique fiable du niveau trophique.

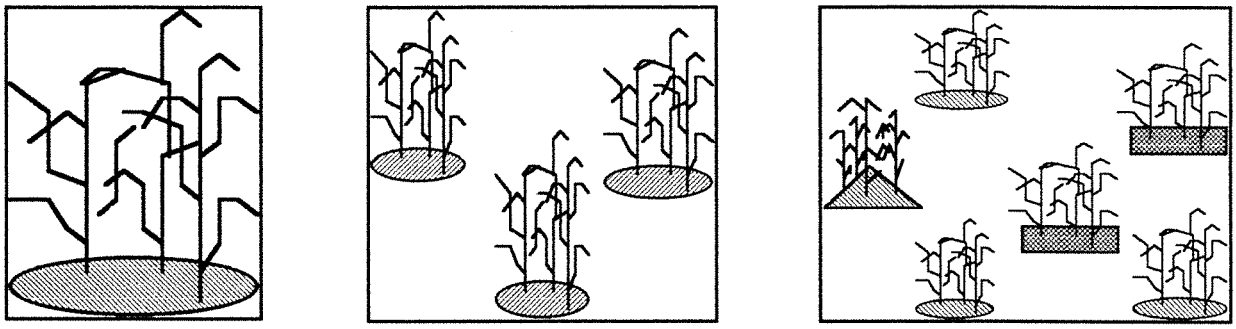
La texture du sol est également une information de terrain qu'il convient de ne pas mettre en relation avec la végétation sans discernement. En effet, la texture intervient sur le facteur hydrique mais d'autres éléments sont à considérer (précipitations, transferts latéraux dans les sols, évapotranspiration). Elle a également des conséquences sur les facteurs trophiques (capacité d'échange du sol) et mécaniques (aptitude du sol à résister à la compaction en cas de piétinement, contraintes au déplacement et au fonctionnement des racines). C'est donc un descripteur écologique complexe. Cependant, dans certaines conditions, la texture peut se révéler un indicateur pertinent du régime hydrique. Il en est ainsi dans un cadre macroclimatique homogène, pour une région au relief peu marqué et sur des parcelles plates peu soumises au piétinement animal et peu affectées par les transferts latéraux d'eau.

L'utilisation de descripteurs complexes rendant compte de plusieurs facteurs de l'environnement peut s'avérer génante. La considération de plusieurs descripteurs pour évaluer

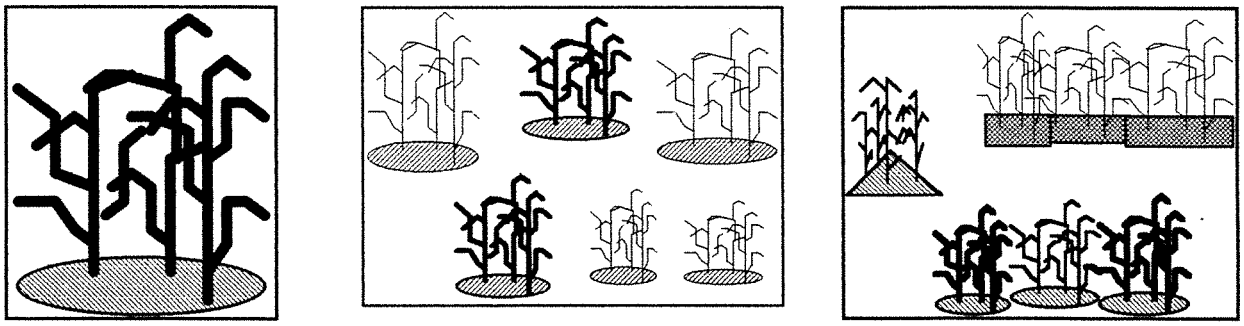
Figure 2-4 : **Niveaux d'action des facteurs écologiques sur la végétation**

Niveaux d'action

Individu | **Population** | **Communauté**



Processus



PLASTICITE PHENOTYPIQUE

SELECTION GENOTYPIQUE

CONTROLE DEMOGRAPHIQUE

SELECTION DES ESPECES

ORGANISATION SOCIALE

Conséquences : variations dans

croissance morphologie activité physiologique	écotypes, écoclines mortalité, natalité, densité	liste espèces abondances espèces structure de la végétation

Court terme → Long terme

l'effet d'un facteur peut être utile, à condition de ne pas trop multiplier le nombre de variables mises en jeu. Ainsi, par exemple, une caractérisation complète du régime hydrique nécessite une diversité d'informations difficile à synthétiser en une seule variable : nombre, répartition et intensité des jours secs, degré d'hydromorphie des sols en sont deux aspects complémentaires.

Les descripteurs écologiques ainsi définis sont une alternative aux mesures lourdes et complexes pour évaluer l'environnement des prairies en termes de facteurs ayant un effet direct. Ces descripteurs écologiques ont souvent une validité régionale qui nécessite de :

- **préciser leur signification et leur liens avec les facteurs écologiques,**
- **éviter d'extrapoler leur utilisation à des zones où ils ne sont plus adaptés.**

3 - MODE D'ACTION DES FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LES APTITUDES DES COUVERTS PRAIRIAUX

Les théories concernant les communautés végétales, considèrent que leur dynamique, en particulier en terme de distribution d'espèces, est sous la dépendance principale de trois éléments (NOY-MEIR et VAN DER MAAREL, 1987 ; VAN DER MAAREL, 1988) :

1. la réponse de chaque espèce aux conditions du milieu,
2. les interactions entre espèces, positive (facilitation), ou négative (compétition),
3. les processus aléatoires soit du milieu (fluctuation et perturbation), soit dans les populations (dispersion, établissement et extinction).

Du point de vue des communautés végétales, nous pouvons distinguer les "processus internes" (facilitation, compétition), de ce qui relève des relations de la communauté avec son environnement (conditions et perturbations de celui-ci d'une part, dispersion de populations, prédation et parasitisme). **Schématiquement, la différenciation des végétations se fait sous l'action de processus internes à la communauté** (compétition en particulier) **pour des niveaux variés des conditions de l'environnement et différentes perturbations extérieures** (TILMAN, 1982). Nous considérons les mécanismes internes aux communautés comme une "boite noire" qu'il n'est pas nécessaire d'ouvrir pour nos objectifs. Nous nous intéressons aux relations entre les conditions de l'environnement et les états de végétation.

A) DIFFERENTS NIVEAUX D'ACTION DES FACTEURS ECOLOGIQUES

Les conditions et perturbations du milieu agissent sur les végétaux selon des modalités diverses et à différents niveaux hiérarchiques (BRISKE, 1989). Elles ont des conséquences perceptibles sur les individus, sur les populations et sur les communautés (figure 2-4).

Au niveau de l'individu, les facteurs de l'environnement modifient l'activité physiologique, la croissance et la morphologie. Ce sont des réponses immédiates (BARBAULT, 1992). De nombreuses espèces de la prairie réagissent rapidement, aux modifications de leur environnement, par des ajustements morphogénétiques rendant compte de fortes capacités de plasticité des phénotypes (GRIME, 1979). Cette plasticité est soumise à sélection et est donc

génétiquement déterminée (SCHLICHTING, 1986). La phase ultime de la réponse plastique d'un individu est sa mort (ROUSVOAL et GALLAIS, 1973).

Au niveau des populations, les facteurs exercent une sélection génotypique et un contrôle démographique. L'influence de l'environnement se traduit à terme par des modifications d'ordre génotypique : sélection de populations adaptées (écotypes ou écoclines) qui s'identifient parfois à l'aide de distinctions morphologiques mais qui, plus souvent ne peuvent être repérés qu'après transplantation et culture en pépinières. Les facteurs écologiques affectent la dynamique des populations en modifiant les taux de mortalité et de natalité. A l'extrême, il y a absence de l'espèce ou d'un écotype quand les conditions leur sont très défavorables. Lorsque leur présence est possible, leur abondance relative est en relation avec les caractéristiques de leur environnement.

Au niveau des communautés, les facteurs écologiques règlent leur composition spécifique et leur structure spatiale. La liste des espèces présentes, les abondances relatives ou les degrés de recouvrement de chacune sont expliqués par le mode de fonctionnement d'une communauté, pour un niveau donné de facteurs écologiques. Les organismes d'une communauté ne sont pas disposés au hasard dans l'espace. Leur mode d'agrégation, leurs relations de voisinage sont également sous la dépendance des conditions écologiques et traduisent une organisation sociale des plantes.

B) STRATEGIES ADAPTATIVES ET CONVERGENCE ECOLOGIQUE

1 - Stratégies adaptatives

Le concept de stratégie constitue un cadre intéressant pour interpréter la réponse morphologique et structurale des individus des différentes espèces (ou populations) aux variations de l'environnement. Une stratégie adaptative est un ensemble de caractères génétiques que l'on retrouve régulièrement entre espèces ou populations et qui a pour conséquences l'extériorisation de similarités écologiques (JACQUARD, 1978 ; GRIME, 1979). Toute stratégie est donc sous la dépendance d'un programme, elle s'exprime par des phénotypes, en particulier par des types de changements morphologiques, en réponse aux variations de l'environnement. L'étendue de ces réponses est à déterminisme génétique, mais il existe un nombre limité de stratégies. GRIME (1979) classe les plantes en trois grands groupes selon leur stratégie :

- les compétitrices ("competitors") qui ont un comportement d'investissement et d'expansion quand la disponibilité en facteurs favorisant la croissance est forte. Ceci se traduit par des fortes réactions morphogénétiques aux variations de l'environnement,
- les tolérantes au stress ("stress-tolérators"), qui profitent des périodes favorables pour constituer des réserves et investissent peu dans la croissance. Elles ont des réactions morphogénétiques faibles aux variations de l'environnement,
- les rudérales ("ruderals") qui ont un mode de vie et des dispositifs qui leur permettent de vivre dans des conditions où la destruction partielle ou totale de la biomasse est fréquente.

Il existe des stratégies intermédiaires entre ces types extrêmes, ainsi que des stratégies pour la phase de reproduction : végétative, saisonnière dans les trous de végétation, petites graines dispersées par le vent, banque de semences persistantes. La définition de différentes stratégies

n'est pas figée, elle s'adapte aux processus étudiés : identification précise de stratégies par la prise en compte quantifiée de la répartition des assimilats, de l'effort de reproduction (OGDEN, 1973 ; MORAND et al., 1989), classification des stratégies adaptatives anti-herbivores (LEBRETON, 1982 ; FILY et BALENT, 1991), ...

L'étude des stratégies adaptatives a été développée dans une logique de compréhension de l'histoire naturelle des plantes. Elle se situe dans une perspective évolutive. La plasticité d'un caractère est interprétée comme une réponse adaptative qui confére un avantage sélectif dans la mesure où elle permet de moduler une réponse en fonction de l'état de l'environnement (BLONDEL, 1986).

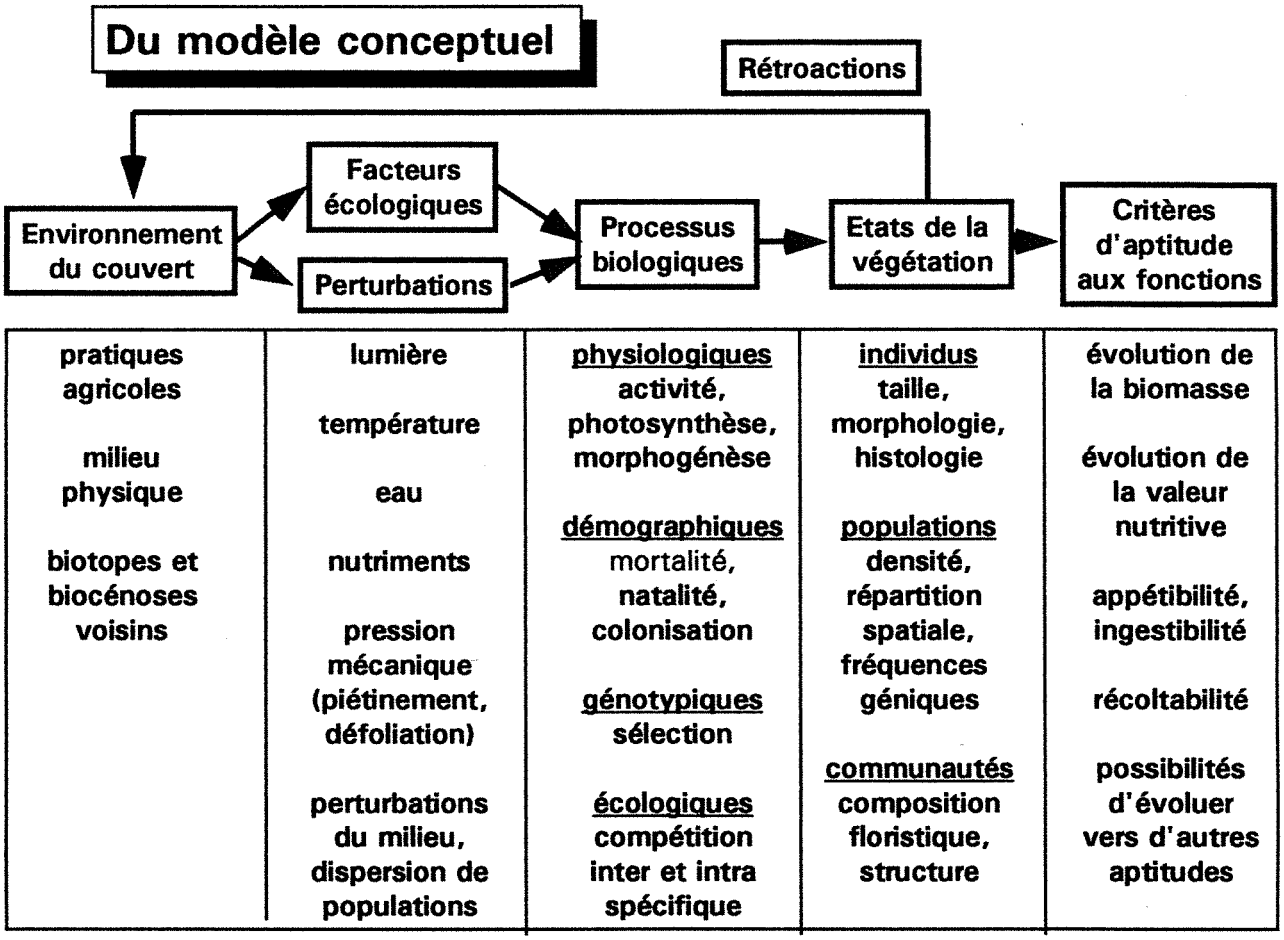
Le concept de stratégie nous permet de comprendre les types de modifications des végétaux aux conditions de l'environnement. Les compétitrices, par exemple, tirent leur avantage de leur vitesse de croissance potentielle élevée et de leur fort investissement dans la croissance. Elles réagissent rapidement en cas d'augmentation de la disponibilité en nutriments : expansion latérale par tallage ou autre dispositif de multiplication végétative, augmentation de la taille des organes, ... En cas de stress trophique ou climatique, ces espèces réduisent leur taille, mais elles ont tendance à maintenir un fort taux de prélèvement d'eau et de nutriments, épuisent leurs réserves et s'affaiblissent.

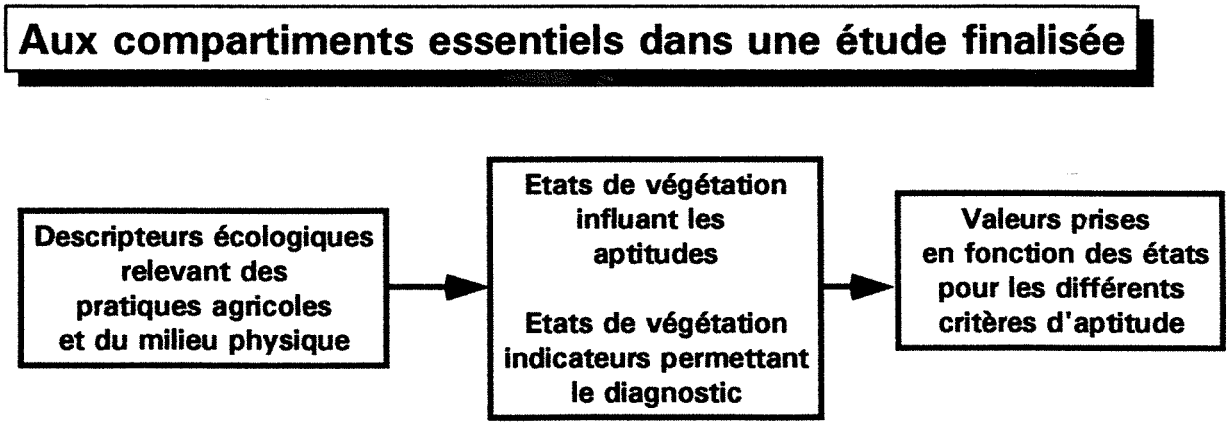
L'origine de la variabilité morphologique peut relever soit de modifications plastiques du phénotype, soit être à des degrés variables, le résultat d'adaptations génotypiques (BARBAULT, 1980). La variabilité génétique des populations d'une espèce peut d'ailleurs être interprétée en terme de stratégie adaptative (HIGGINS et MACK, 1987 ; FILY, 1990). Dans certains cas, les différenciations génétiques de populations d'une même espèce peuvent se traduire par des changements de stratégies et élargir fortement son spectre écologique. Il en est ainsi de *Poa annua*. Ses populations des milieux très perturbés ont une stratégie de rudérales, alors que les populations des pâtures productives contiennent une forte proportion d'individus bisannuels et ont une stratégie de compétitrices-rudérales. L'état actuel des connaissances ne permet pas de prendre en compte systématiquement de telles différenciations. Pour interpréter les variations de morphologie et de structure des individus que nous observons dans les prairies des Alpes du Nord, nous utilisons donc le concept de stratégie à l'échelle de l'espèce. Dans les prairies, la variabilité génétique des populations est forte. Nous ne statuons pas si les variations morphologiques observées sont exclusivement phénotypiques où si elles rendent compte aussi d'une pression de sélection de l'environnement favorisant certains génotypes (GRAY, 1985 ; FILY, 1990).

1 - Convergence écologique

Le concept de convergence (CODY et MOONEY, 1978 ; LEMEE, 1978) est complémentaire de celui de stratégie adaptative. Il permet d'expliquer les ressemblances entre individus d'espèces différentes mais vivant dans un même environnement. En écologie, on considère qu'il y a convergence "dès lors que soumis à des régimes de contraintes écologiques similaires, des systèmes biologiques d'origine éventuellement très différente - espèces ou ensemble d'espèces de lignées phylétiques indépendantes ou éloignées - peuvent présenter des structures similaires" (BARBAULT, 1992). Il s'agit de ressemblances adaptatives fixées génétiquement, concernant des caractères morphologiques ou biologiques, comme la forme du corps chez les vertébrés adaptés à la nage.

Figure 2-5 : Mode d'action des facteurs écologiques sur les aptitudes des couverts végétaux





Il existe aussi chez les végétaux des cas classiques de sélection éco-morphologique :

- les formes ou types biologiques du danois RAUNKIAER (LEMEE, 1978) qui classe les végétaux des régions à hiver froid en fonction du degré de protection des bourgeons (tableau 2-2),
- les plantes grasses adaptées à un climat désertique et qui proviennent de familles très distinctes (Cactées, Euphorbiacées, Asclépiadacées, Composacées) (BOCQUET, 1985).

La réduction de la surface foliaire, permettant la diminution de la transpiration est une adaptation morphologique fréquente chez les végétaux de milieu sec. Cette convergence est telle qu'elle crée des "sosies végétaux" (MOLINIER et VIGNES, 1971) poussant en un même lieu, mais appartenant à un genre différent : *Thymus vulgaris* et *Fumana thymifolia* (à feuilles de thym) par exemple.

Ces convergences ne s'expliquent uniquement par une simple pression sélective du milieu, mais par le fait que, les solutions efficaces réalisables par l'évolution pour exploiter un milieu sont en nombre limité par rapport aux types d'organismes (BOCQUET, 1985 ; BLONDEL, 1986).

Une similitude de stratégie d'adaptation peut donc se traduire par une convergence morphologique entre individus d'espèces différentes (et inversement). Nous employons le terme de convergence pour désigner des ressemblances de morphologie ou de structure d'individus d'espèces différentes mais vivant dans des conditions similaires. Nous n'attribuons pas au terme convergence un sens adaptatif, la ressemblance peut être liée à des réactions phénotypiques.

C) RELATIONS ENTRE FACTEURS ECOLOGIQUES, VEGETATION ET VALEUR D'USAGE AGRICOLE

Les processus qui se déroulent à l'échelle des individus, des populations et de la communauté permettent de comprendre comment s'établissent les liens entre pratiques agricoles, milieu physique et aptitudes agricoles de la végétation (figure 2-5).

La fertilisation, par exemple, modifie le régime trophique en augmentant les ressources disponibles en nutriments. Pour l'individu, cette modification a des conséquences sur son activité et sa morphogénèse. Elle se traduit par une augmentation de son taux de croissance. Ces réactions immédiates chez les individus vont, au niveau de la population, induire des variations démographiques, liées à la natalité ou à la mortalité d'individus. Ce différentiel dans le solde démographique peut aussi avoir des conséquences sélectives. Certains génotypes, capables de produire des feuilles plus longues par exemple, peuvent être favorisés. A l'échelle de la communauté, l'apport de fertilisation modifie les conditions de la compétition pour les nutriments, mais également pour la lumière. Une disponibilité en nutriments accrue permet aux espèces à croissance potentielle forte de coloniser l'espace. Ces changements, plus lents que ceux affectant les individus, se traduisent par des modifications de la composition floristique, mais aussi de la structure de la communauté .

Il existe des rétroactions, les variations d'état de la communauté ayant une influence sur les populations et les individus en modifiant leur environnement immédiat et les rapports de compétition.

L'ensemble de cette chaîne de processus et tous les états de végétation qu'elle détermine ont des conséquences sur les différents critères de la valeur d'usage agricole : production, valeur nutritive, appétibilité, ingestibilité et récoltabilité de la végétation.

Les processus en jeu dans cette représentation du mode d'action des facteurs écologiques sur les aptitudes agricoles ne sont connus que très partiellement ou pour une gamme restreinte de conditions par rapport à la diversité réelle dans les exploitations agricoles (GRIME, 1979 ; GILLET et al., 1984 ; LEMAIRE, 1991 ; DURU, 1992c). La formalisation d'un cadre conceptuel incluant environnement du couvert, niveau des facteurs écologiques, processus biologiques et états de végétation (figure 2-5) permet de préciser la nature des relations que nous étudions :

- le choix de descripteurs écologiques, rendant compte des facteurs écologiques ne repose pas sur des critères de signification statistique mais sur la prise en compte de leur mode d'action dans les processus. Cependant, les relations entre pratiques agricoles, milieu physique, états de végétation et critères d'aptitude ont une valeur locale dont il convient de préciser la zone de validité,
- nous cherchons des états de végétation caractéristiques de variations de la valeur d'usage. Pour cela, nous ne privilégions aucun mode de description et nous effectuons des observations aux différents niveaux de son organisation, individu, population et communauté,
- enfin, nous n'étudions pas de processus biologiques, les états de végétation que nous observons en sont pourtant des résultantes. C'est pourquoi, les connaissances actuelles, mêmes incomplètes sur ces processus, sont une base riche à laquelle nous confrontons nos résultats.

II - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES ETATS DE VEGETATION UTILISES POUR LES DIAGNOSTICS ECOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES

L'influence de la végétation sur les caractéristiques agronomiques des fourrages, et sa réponse aux facteurs écologiques, ont été étudiées selon des modalités très nombreuses. Les choix réalisés sont dépendants des objectifs de travail et du matériel végétal (ARCHER et TIESZEN, 1986).

Les mesures précises sur les modules (longueur, masse linéique des feuilles, vitesse d'apparition et de sénescence des organes, ...), sur les individus (mode d'assemblage des talles, densité en modules, surface basale ...) et sur les populations d'individus d'une même

espèce (densité d'individus, type de répartition) sont souvent réservées à des végétations monospécifiques (CAHN et HARPER, 1976 ; DANAIS, 1984 et 1985 ; JEANGROS, 1985 ; GRANT et al., 1987 ; GRANT et MARRIOT, 1989 ; MISLEVY et al., 1989 ; WILMAN, 1989) ou peu diversifiées (DAVIES, 1989 ; VERTES, 1989). Ce champ d'études est vaste, il peut se situer dans une perspective évolutionniste de compréhension de phénomènes adaptatifs (BRADSHAW, 1965 ; SCHLICHTING, 1986 ; MEERTS et VEKEMANS, 1991). Il peut aussi relever d'objectifs agronomiques et écologiques, et s'intéresser à la démographie des populations et aux conditions de morphogénèse des organes d'une ou de quelques espèces (PELLOT et GALLAIS, 1967 ; MINDERHOUD, 1978 ; JACQUARD, 1984 ; LEMAIRE, 1988 et 1991). Il s'agit d'approches en termes de fonctionnement permettant l'étude de processus démographiques ou écophysiologiques. Les mesures nécessaires sont lourdes et peuvent exiger la transplantation du matériel végétal en conditions contrôlées.

Notre propos n'est pas de faire une analyse des processus démographiques et morphogénétiques. Cependant, dans les prairies permanentes, la composition floristique n'est pas la seule caractéristique des végétations à être affectée par les conditions de milieu et les pratiques agricoles (DORIOZ et al., 1989). C'est pourquoi, nous allons exposer **les critères morphologiques** (rapport feuilles/tiges, taux de sénescence, largeur des feuilles, ...) **et structuraux** (sociabilité, stratification, agencement spatial, ...) **simples qui ont été utilisés dans la bibliographie pour :**

- **faire un diagnostic des conditions de milieu et des pratiques agricoles,**
- **appréhender la dynamique des végétations,**
- **comprendre les variations de leurs caractéristiques agronomiques.**

Auparavant, nous rapellons les utilisations les plus courantes du diagnostic botanique et la signification agronomique de la notion d'espèce.

1 - DIAGNOSTIC BOTANIQUE DANS LES PRAIRIES

A) COMPOSITION FLORISTIQUE ET FACTEURS DU MILIEU ET DES PRATIQUES

La composition floristique est considérée comme la résultante d'un réseau complexe d'interactions entre les facteurs liés au milieu physique et aux pratiques (HEDIN et al., 1972 ; SNAYDON, 1981 ; DELPECH, 1982). L'ensemble des espèces, mais aussi la présence de certaines d'entre elles, de forte valeur indicatrice, permettent de faire un diagnostic sur ces facteurs (BLANDIN, 1986). De nombreux codages et techniques d'estimation de la composition floristique sont utilisés et adaptés à différents objectifs : présence/absence des espèces, recouvrement relatif, contribution pondérale, ... (DELPECH et BERTOLETTI, 1967 ; POISSONNET P. et J., 1969 ; PLANTUREUX et al., 1987 ; FILY, 1990)

La majorité des études de phytosociologie et d'écologie prairiale à finalité agronomique se sont intéressées à la mise en évidence de relations entre facteurs écologiques et composition floristique (VIVIER, 1971 ; DELPECH, 1975 ; MONTARD (de) et GACHON, 1978 ; ZANGIACOMI, 1979 ; PLANTUREUX, 1983 ; VERTES, 1983 ; MERCIER, 1984 ; BALENT 1987 ; PEETERS, 1989 ; VOLAIRE, 1989 ; GRANGER, 1992). Dans ce travail,

Tableau 2-2 : Les regroupements d'espèces herbacées sur la base de critères morphologiques dans la bibliographie.
Travaux à finalité écologique

CATEGORIES MORPHOLOGIQUES	OBJECTIFS, ZONE D'ETUDE	AUTEURS
Hémicryptophytes : (bourgeons de rénovation au ras du sol) • cespiteux • à rosette partielle • à rosette basale • couchés ou rampants • radicants • non radicants • lianes • bisannuelles **Cryptophytes** : (bourgeons de rénovation dans le sol) • bulbes, tubercules • rhizomes • bourgeons épiradiculaires • lianes **Thérophytes** : (plantes annuelles) • dressés • rampants ou couchés • lianes	**Types biologiques** caractérisant des convergences écologiques, en particulier l'adaptation aux conditions hivernales pour les grands groupes (hémicrypthophytes, cryptophytes, thérophytes) Phanérophytes et Chaméphytes n'ont pas été indiquées compte tenu de leur rareté dans les prairies	RAUNKIAER, 1905 adapté par GODRON et al., 1968
Espèces : • érigées • en touffes • ramifiées • traçantes • lianes • rosettes partielles • pseudo-rosettes • vraies rosettes	**Spectre des formes de croissance** et relation avec la phytomasse (prairies permanentes)	NUMATA et ASANO'S, 1969 in MUTOH et al., 1985.
Espèces : • graminées en petites touffes • petites rosettes à enracinement profond • petites espèces à stolons • diverses à rhizomes courts • légumineuses • petits joncs et carex	Classification en groupes morphologiques et taxinomiques d'espèces ayant une stratégie intermédiaire entre celle des compétitices, des rudérales et des tolérantes au stress (prairies pâturées peu productives et marais pâturés)	GRIME, 1979

nous utilisons également cette méthode de diagnostic. Elle a valeur de référence pour tester l'intérêt de la prise en compte de données non exclusivement taxinomiques.

B) COMPOSITION FLORISTIQUE ET DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE

Dans une optique agronomique, l'utilisation de données floristiques se traduit le plus souvent par le calcul d'un indice synthétique de valeur pastorale (DAGET et POISSONNET, 1971 ; DUBOST et COZIC, 1985 ; LOISEAU, 1988), ou par un classement des espèces en grands groupes aux propriétés distinctes (VIVIER, 1971 ; LOISEAU, 1983 ; FLEURY et al., 1985) : bonnes espèces, espèces médiocres, refus spécifiques, par exemple.

De nombreux auteurs ont proposé des indices de valeur agronomique et pastorale des espèces. Pour la plupart, le calcul d'une note représentative de la prairie, repose sur la multiplication de l'indice de valeur de chaque espèce par son volume ou son recouvrement relatif (ELLENBERG, 1952 et 1953 ; de VRIES et de BOER, 1959 ; DELPECH, 1960 ; DAGET et POISSONNET, 1971). Ces méthodes ont soulevé de nombreuses discussions et objections, en particulier du fait du caractère théorique de la notion d'indice spécifique. Les remarques principales concernent le caractère relatif de la valeur d'une espèce. Beaucoup d'auteurs (DELPECH, 1960 ; VIVIER, 1971 ; LOISEAU, 1989) considèrent que la valeur d'une espèce est variable, en particulier en fonction de :

- son état phénologique,
- ses conditions de croissance,
- des autres espèces qui l'accompagnent et qui peuvent affecter son taux de croissance et sa consommation par les animaux,
- l'utilisation que l'on souhaite en faire.

D'autres chercheurs, en réponse à ces critiques, proposent des méthodes de calcul de la valeur des prairies faisant intervenir des données plus nombreuses : pondération de l'indice de valeur de l'espèce en fonction de son volume dans la prairie, une espèce étant jugée d'autant moins appétible qu'elle est plus abondante (REYTENS et ANDRIES, 1953) ; "méthode complexe" associant qualité des espèces, influence de facteurs extérieurs (fertilité des sols, altitude, mode d'exploitation, ...) et rendement (SOSTARIC-PISACIC et KOVACEVIC, 1974).

En France aujourd'hui, c'est l'indice de valeur pastorale qui est le plus utilisé (DAGET et POISSONNET, 1971). L'attribution des indices de qualité spécifique, sauf pour les quelques espèces cultivées et améliorées, est empirique, sans base expérimentale, du fait de la difficulté et du nombre de mesures et d'analyses qui seraient nécessaires (DAGET et POISSONNET, 1990). La pertinence de ce type de calcul est montrée, dans certains cas, avec l'appui de relations statistiques entre indice de valeur pastorale de la prairie et charge animale (DAGET et POISSONNET, 1972 ; MONTARD (de) et FLEURY, 1983 ; COZIC, 1987 ; LOISEAU, 1989 ; GARDE, 1990). Il s'agit donc de vérifications à postériori, qui sont établies de façon moyenne à l'échelle de la communauté et ne démontrent pas la pertinence des notes attribuées à chaque espèce.

A la différence des connaissances sur les variétés cultivées en prairies temporaires, il existe peu de données pour les prairies permanentes qui permettent une caractérisation agronomique complète à l'échelle des espèces : production, valeur nutritive, appétibilité et récoltabilité. Les références bibliographiques existantes privilégient souvent les références de production

Tableau 2-3 : Les regroupements d'espèces herbacées sur la base de critères morphologiques et structuraux dans la bibliographie.
Travaux à finalité agronomique et écologique

CATEGORIES MORPHOLOGIQUES	OBJECTIFS, ZONE D'ETUDE	AUTEURS

• Espèces de taille :
  • élevée
  • faible
• Espèces rampantes
• Espèces à port dressé :
  • à tige unique
  • en touffe lâche
  • en touffe dense
• Plantes à rosettes
• Plantes stolonifères
• Plantes à port grimpant
	Diagnostic sur les facteurs écologiques et la qualité agronomique des prairies permanentes	DELPECH, 1982

• Grandes graminées à multiplication par graines • Petites graminées à multiplication par graines • Graminées à multiplication végétative • Légumineuses • Grandes espèces diverses • Petites espèces diverses	Diagnostic sur la qualité agronomique de la végétation et dynamique de celle-ci en fonction du nombre de coupes et de l'âge du dernier labour (prairies temporaires de longue durée)	SCHECHTNER, 1978
• Graminées à port élevé, feuilles larges • Graminées plus basses, feuilles fines • Graminées refusées • Grandes légumineuses • Petites légumineuses • Espèces à port proche des graminées • Grandes ombellifères • Composées en rosettes rases • Renonculacées • Autres espèces	Relation avec les facteurs écologiques et les indices de valeur pastorale des espèces (prairies pâturées d'altitude)	DORIOZ et PARTY, 1987

quantitative et qualitative (DENUDT et LAMBERT, 1970 ; LAMBERT et al., 1973 ; ARNAUD et NIQUEUX, 1977 ; FRAME et TILEY, 1988 ; LAMBERT et PEETERS, 1989a ; JEANNIN, 1991) ou ne concernent qu'un nombre réduit d'espèces (DACCORD, 1988 ; SCEHOVIC, 1988 ; PEETERS et LAMBERT, 1989 ; TROXLER, 1989).

2 - DIAGNOSTICS SUR LA BASE DE LA MORPHOLOGIE ET DE LA STRUCTURE DES VEGETATIONS

La morphologie des individus et des espèces (taille, forme, taux de tiges, ...) se modifie grâce aux capacités plastiques des génotypes et à des mécanismes adaptatifs de différenciation génétique. C'est un niveau d'étude susceptible de mettre en évidence, pour des modalités des facteurs écologiques très proches, des effets perceptibles sur la végétation. Ces modifications morphologiques peuvent aussi révéler des processus à déroulement rapide comme une réaction immédiate à une fertilisation (GRIME, 1979 ; BARBAULT, 1992).

La structure de la communauté se caractérise par des descriptions du mode d'agrégation, de la stratification et de la répartition dans l'espace des individus ou des espèces.

Dans la bibliographie, en particulier lors d'interprétations d'états de végétation, pour faire un diagnostic sur les conditions de milieu et les pratiques, critères morphologiques et structuraux sont très souvent utilisés de façon conjointe. Pour cette raison, nous les examinons également de façon groupée. En revanche, pour l'étude des caractéristiques agronomiques, si l'utilisation de données de structure est rare, les observations morphologiques sont précises et il est toujours fait mention de l'échelle à laquelle elles se rapportent : individu, espèce ou ensemble de la communauté.

A) MORPHOLOGIE, STRUCTURE DE LA VEGETATION ET CONDITIONS ECOLOGIQUES

Le recours à des regroupements d'espèces sur la base de leur morphologie est une pratique assez courante (tableaux 2-2 et 2-3). Ainsi, DELPECH (1982), pour réaliser un diagnostic écologique conseille, en particulier, de faire une sommation des abondances spécifiques par catégories morphologiques. Il utilise ensuite l'abondance de ces groupes pour estimer le régime d'utilisation, l'intensité du pâturage, les pratiques d'entretien, et le régime hydrique. Ce diagnostic morphologique est couplé avec une interprétation sur la base des connaissances bibliographiques de l'écologie de certaines espèces.

De façon plus générale HEDIN (1945) et d'autres auteurs (VAN DIJK, 1955 ; DYER et al., 1982 ; SNAYDON, 1984 ; DETLING et al., 1986 ; OLSON, 1988), remarquent la parenté de forme des plantes des prairies de fauche (taille élevée et croissance relativement rapide vers le haut) qui s'oppose à celle des plantes de pâture (taille faible et forte propagation latérale).

On peut aussi retrouver des cohérences morphologiques, dans les groupes agronomiques ou "catégories fourragères", qui réunissent les espèces sur la base de considérations agronomiques (DE VRIES, 1949 ; HEDIN et LEFEBVRE, 1951 ; DELPECH, 1962 ; KLAPP, 1965). En effet, ces classifications sont, au delà d'un aspect taxinomique, souvent réalisées sur la base conjointe de l'observation du comportement agronomique des espèces et de la prise en compte

Tableau 2-4 : Variabilité de morphologie et de structure chez *Dactylis glomerata*

VARIATIONS DE MORPHOLOGIE ET FACTEURS RESPONSABLES	LIEU D'OBSERVATION	AUTEURS
Port des touffes : • étalé (origine milieu lumineux ou sec, végétation lâche) • dressé (origine milieu ombré,non sec, végétation dense)	Pépinière	REBISCHUNG, 1953
Port des touffes : • étalé (origine pâtures normandes) • dressé (origine prairies de fauche de Crau) **Rapport feuilles/récolte à la floraison:** • faible (< 30%) (origine prairies de fauche Crau et Hautes Alpes) • élevé (> 35%) (origine pâtures normandes)	Pépinière	CHOPINET et DUJARDIN, 1953
Port des touffes : • lâches, talles couchées (stations pâturées) • denses, talles dressées (stations fauchées)	Transplants en pépinières	KEMP, 1937
Port des touffes : • plutôt prostré dans des pâtures exclusives • plutôt dressé dans des prairies mixtes (différences peu nettes)	Transplants en pépinières	VAN DIJK, 1955
Port érigé ou prostré avec des tiges courtes (60 cm) ou longues (110 cm) suivant la station (écotypes)	In situ, Grisons	LUMARET et HANOTTE, 1987
Hauteur et rigidité de la tige (de 15 à 60cm), caractères des panicules et des épillets, • la longueur de la tige diminue avec l'altitude d'origine de la population, il s'agit de 2 sous-espèces de *Dactylis* (Subsp. *hispanica*et Subsp. rigida) et de formes de transition	Populations de Crête observées en pépinières	MARTIN BORRILL, 1958
Taux de talles reproductrices/nombre total de talles : • 74%: bon niveau de nutrition de la prairie • 52% : niveau de nutrition moyen • 7%: niveau de nutrition faible	In situ, prairies permanentes Pyrénées	DURU, 1989
Sociabilité des talles : • grosses touffes (prairies de fauche très fertilisées) • petites touffes (prairies de fauche moyennement fertilisées) • talles peu groupées (prairies de fauche non fertilisées) **Rapport talles reproductrices/ biomasse à l'épiaison :** • 80% (prairies de fauche très fertilisées) • 40% (prairies de fauche non fertilisées)	In situ, prairies permanentes Alpes du Nord	FLEURY et al., 1989
Type biologique : • géophyte climat du littoral marocain • hémicryptophyte à Montpellier	In situ	GODRON et al., 1968

d'aspects morphologiques (port, taille, ...). Ces ressemblances sont d'ailleurs mentionnées explicitement par DORIOZ et PARTY (1987). La recherche des déterminants écologiques des variations d'abondance de ces différentes catégories est souvent pratiquée dans le cadre d'essais expérimentaux de dynamique de la végétation (MELET et al., 1979 ; LOISEAU, 1983), alors que son utilisation en enquête de terrain, rarement statistique, est essentiellement graphique (FLEURY et al., 1985 ; PLANTUREUX et al., 1989). DORIOZ (1987) montre pourtant que, dans les alpages des Alpes du Nord, il existe une relation statistiquement significative entre abondance des graminées productives, état trophique du sol (exprimé par sa réaction à l'acide chlorhydrique) et intensité de fréquentation par les animaux (exprimée par l'éloignement de la station par rapport à l'étable et sa pente).

Très simplement, MONTARD (de) (1988) propose un diagnostic de terrain du niveau de nutrition azotée et de fertilité phospho-potassique des prairies fondé sur deux critères morphologiques : la largeur des feuilles de graminées sans détermination du nom d'espèce d'une part et la vigueur des feuilles du trèfle blanc d'autre part. Pour cela, il utilise la réponse plastique très forte des feuilles de trèfle à la fertilisation (CHESNUTT et LOWE, 1970 ; EVANS et TURKINGTON, 1988).

La recherche de relations entre facteurs écologiques et groupes agronomiques est devenue rare. Aujourd'hui, les agronomes écologues analysent des tableaux de relevés contenant l'ensemble des espèces (BALENT, 1987 ; VOLAIRE, 1989 ; GRANGER, 1992). Ils suivent, en ce sens, une des voies de l'écologie qui consiste à étudier les relations entre distribution des espèces et conditions de l'environnement. Mais, la mise en évidence de parentés morphologiques entre espèces et la recherche de lois de distribution de ces groupes, et non plus des espèces, peut-être source de compréhension de certains mécanismes de fonctionnement des communautés. Ainsi, certains écologues regroupent les plantes suivant leur morphologie pour mieux comprendre leurs stratégies d'adaptation aux conditions de l'environnement (GRIME, 1979) (tableau 2-2).

En définitive, le regroupement d'espèces se traduit-il par une perte d'information ou permet-il de la recomposer sous un autre angle, mettant en évidence d'autres phénomènes et évitant le "bruit de fond" lié à des remplacements aléatoires entre espèces différentes, mais appartenant au même groupe morphologique ou ayant une même stratégie adaptative ? Dans la suite de ce texte, nous montrons qu'il est possible de regrouper des espèces par groupes morphologiques et que ces groupes ont, non seulement une signification écologique, mais qu'ils traduisent aussi des changements dans la valeur d'usage agricole.

B) VARIABILITE MORPHOLOGIQUE INTRASPECIFIQUE

Le tableau 2-4 illustre quelques unes des principales variations rencontrées pour *Dactylis glomerata*. Cette espèce, polymorphe pour les caractères très visibles que sont le port des touffes et le taux de tiges, l'est également pour de nombreux autres critères morphologiques : hauteur de la tige à l'épiaison, longueur des entrenoeuds, longueur et largeur des feuilles, taille et ramifications des inflorescences (CHOPINET et DUJARDIN, 1953 ; LUMARET et HANOTTE, 1987 ; MOUSSET, 1989 ; BLANCHEMAIN et QUADRIO, 1992 ; MOUSSET et al., 1992). Cette diversité morphologique est à mettre en parallèle avec la grande amplitude écologique et géographique de *Dactylis*. La présence et même une forte abondance de cette espèce a de ce fait une faible valeur indicatrice des conditions écologiques. D'autre part, les

conséquences agronomiques de cette diversité de formes sont importantes (BERTHOLLEAU et al., 1975).

Les références sur la diversité morphologique des végétaux sont abondantes (BRADSHAW, 1965 ; ROY, 1982 ; ACHEROY et LEFEBVRE, 1983 ; SCHLICHTING, 1986 et 1989 ; MEERTS et VEKEMANS, 1991). Ce sont souvent des généticiens qui se sont interéssés, dans une perspective de compréhension de l'histoire naturelle des plantes, à la plasticité phénotypique et au polymorphisme génétique des espèces et des populations. L'existence d'espèces de morphologie variable est également souvent mentionnée lors de la mise en évidence des relations entre conditions écologiques et composition floristique (VIVIER, 1971 ; DELPECH, 1975 ; BALENT, 1987 ; FILY, 1990). Ces variations morphologiques sont souvent interprétées comme des différenciations écotypiques et sont présentées, par ces auteurs, comme un élément limitant la précision de leur démarche. Ils ne proposent pas de méthode permettant d'intégrer cette diversité intraspécifique, si ce n'est d'enrichir l'approche spécifique par la prise en compte d'unités inférieures à l'espèce. Pour cela il faudrait d'une part, établir l'existence des ces populations génétiques, ce qui nécessite souvent des cultures en environnement homogène, et d'autre part trouver des critères fiables de détermination de ces écotypes sur le terrain. Certains phytosociologues arrivent également aux mêmes conclusions (LANDOLT, 1977).

Cette voie analytique et lourde ne nous semble pas un préalable indispensable pour envisager l'utilisation, dans le diagnostic prairial, d'indicateurs morphologiques sensibles à des variations intraspécifiques. De plus, ce choix d'indicateurs ne se traduit pas nécessairement par la multiplication des unités prises en compte, mais peut aussi donner lieu à des regroupements, non plus simplement d'espèces de même forme, mais d'individus de même forme. Les individus d'une même espèce peuvent alors se trouver éclatés entre plusieurs catégories morphologiques (DORIOZ et al., 1989).

C) COMPOSITION MORPHOLOGIQUE DES PLANTES ET CONSEQUENCES SUR LA VALEUR NUTRITIVE

Les conséquences des variations de composition morphologique sur la valeur nutritive des plantes sont connues depuis longtemps, en particulier la différence de digestibilité de la matière organique (DMO) des tiges et des feuilles, à l'avantage des feuilles (PRITCHARD et al., 1963 ; DEMARQUILLY et JARRIGE, 1971). Cette différence, qui s'accroit avec l'âge de la plante, s'explique par les différences de composition chimique et de structure histologique de ces deux types d'organes. La DMO dépend essentiellement de la proportion des contenus cellulaires (sucres, fructosanes, ...) dont la digestibilité est presque complète alors que les parois cellulaires ont une digestibilité variable (cellulose , hémicellulose, polysaccharides) ou presque nulle (lignine). Lorsque la teneur en parois augmente, ainsi que leur lignification, phénomène qui affecte les tiges plus que les feuilles, la digestibilité diminue (JARRIGE et MINSON, 1964 ; DEMARQUILLY et JARRIGE, 1971). Des recherches récentes, permettent de mieux comprendre l'effet de l'âge sur la digestibilité en montrant l'importance de la dynamique d'apparition et de mortalité des organes (limbe, tige, gaine) (DEINUM, 1992 ; DURU, 1993).

La proportion de feuilles d'une espèce est un indicateur de sa digestibilité et même de sa teneur en azote (HOLMES et al., 1980). Ainsi, LEMAIRE et al. (1989) montrent que les différences de digestibilité et de teneurs en azote de la luzerne sont expliquées de façon très satisfaisante

par les variations de la part des feuilles dans la matière sèche. Le taux de feuilles est, pour la luzerne, lié à la biomasse produite. Un stress hydrique se traduit par une réduction de la production et donc, à âge de croissance égal, par un taux de feuilles plus élevé (BROWN et TANNER, 1983), une DMO et des teneurs en azote plus fortes (LEMAIRE et al., 1989). Néanmoins, l'impact des facteurs climatiques sur la valeur nutritive des fourrages n'est pas entièrement expliqué par les effets indirects de la composition morphologique des plantes. Les températures élevées, en particulier, ont un effet négatif sur la digestibilité des feuilles. Ce phénomène est seulement en parite lié à leur teneur en lignine et il est assez mal compris (DEINUM, 1984).

Les conséquences d'une fertilisation azotée sur la valeur nutritive d'une plante, au delà des effets directs bien connus, positifs sur la teneur en azote (PLANCQUAERT, 1975) et négatifs sur la teneur en matière sèche (WILMAN, 1975), passent aussi par des modifications possibles de sa composition morphologique. En effet, si l'azote a peu d'effet direct sur la digestibilité d'un fourrage (DEMARQUILLY, 1977), il peut avoir un effet indirect par l'augmentation de la teneur en tiges (DURU, 1989) et par la sénescence plus rapide et plus marquée des feuilles de la base du couvert privées de lumière (DAVIES., 1969 ; WARNDORFF et al., 1987 in DURU, 1992c). Comme le niveau de fertilisation, les variations du taux de défoliation, suivant le mode de conduite du pâturage ou de la fauche, ont des conséquences sur le rapport feuilles tiges et la sénescence des feuilles (FLEURY et al., 1989 ; FILY., 1990 ; DURU, 1992c).

D) MORPHOLOGIE ET STRUCTURE DE LA VEGETATION : DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE A L'ECHELLE DE LA COMMUNAUTE

Les variations de valeur nutritive d'une espèce peuvent s'expliquer par des changements de composition morphologique (en particulier dans le rapport feuilles/tiges), et par l'âge de ses différents organes. Ces résultats ont permis la mise au point d'indicateurs morphologiques et phénologiques utilisables pour prévoir la valeur nutritive et plus largement les propriétés agronomiques des fourrages. Ces travaux se sont développés, au niveau de l'espèce dans les prairies temporaires, mais également dans les prairies permanentes, à l'échelle de la communauté prairiale, indépendamment de sa composition floristique.

Dans les tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages (ANDRIEU et al., 1981), l'âge, exprimé en jours depuis le début de l'épiaison des graminées, ou depuis le début de la floraison pour les légumineuses, permet la prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique pour les différentes espèces de la prairie temporaire et pour certaines prairies permanentes. L'âge est un double indicateur qui rend compte d'une part, de l'évolution de la composition morphologique des plantes durant le premier cycle de végétation (réduction de la proportion de feuilles) et d'autre part du vieillissement et de la lignification des parois cellulaires, en particulier dans les tiges.

D'autres travaux permettent, sur la base de critères morphologiques simples une description des variations de qualité de l'herbe de prairies composites :

- durant la période de pâturage dans les Pyrénées, il existe des relations hautement significatives entre la DMO, la teneur en cellulose brute (CB) et la teneur en azote d'une

part, la biomasse disponible et l'importance de la fraction verte dans la végétation d'autre part (BALENT, 1987),

- pour PEETERS (1989), la hauteur d'herbe constitue un paramètre essentiel dans l'évaluation de la qualité des fourrages. Il met en évidence des relations significatives entre ce critère et les variations de DMO, de cellulose brute et de teneur en azote dans un échantillon de prairies de fauche et de pâtures de Belgique.

Dans les prairies pâturées, l'hétérogénéité visuelle du couvert est un handicap pour prévoir son état et donc pour prendre une décision d'utilisation. Le repérage des différents "éléments physionomiques" de la végétation permet de tenir compte de cette hétérogénéité dans l'évaluation de la qualité et de la quantité d'herbe offerte au pâturage (MATHIEU et VAUBERNIER (de), 1988). Les critères utilisés pour définir les éléments physionomiques relèvent de la morphologie (hauteur, port, taux de tiges, taux de sénescence) et de la couleur des végétaux (jaune, brun, vert). Le recouvrement relatif de ces éléments dans une pâture est un moyen de décrire sa végétation pour interpréter des performances animales : production laitière, états corporels des animaux (HAVET et al., 1992). Le principe du diagnostic agronomique repose sur le fait que chaque élément physionomique peut-être caractérisé par, les comportements au pâturage qu'il induit, sa valeur nutritive et ses potentialités de repousse (MATHIEU et HAVET, 1992).

Dans les Alpes du Nord, nous avons également mis en évidence des relations entre états de la végétation à l'échelle de la communauté et valeur nutritive. Pour montrer les bases fonctionnelles, et non pas seulement statistiques, sur lesquelles peut reposer un tel diagnostic nous avons auparavant étudié les conséquences de la variabilité intraspécifique sur la valeur nutritive.

III - DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET CONVERGENCES ENTRE ESPECES DANS LES ALPES DU NORD

L'objectif de ce chapitre est de montrer les conséquences des variations morphologiques et structurales de la végétation sur ses aptitudes agricoles. Pour cela, nous avons réalisé trois expérimentations :

1. une pour mesurer la diversité intraspécifique et ses conséquences sur la valeur nutritive de plusieurs espèces des prairies de fauche,
2. une pour étudier l'effet de la variabilité intraspécifique de structure de certaines espèces (mode d'agrégation des brins) sur leur appétibilité pour les animaux,
3. une pour évaluer les possibilités de réaliser un diagnostic agronomique direct à l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues.

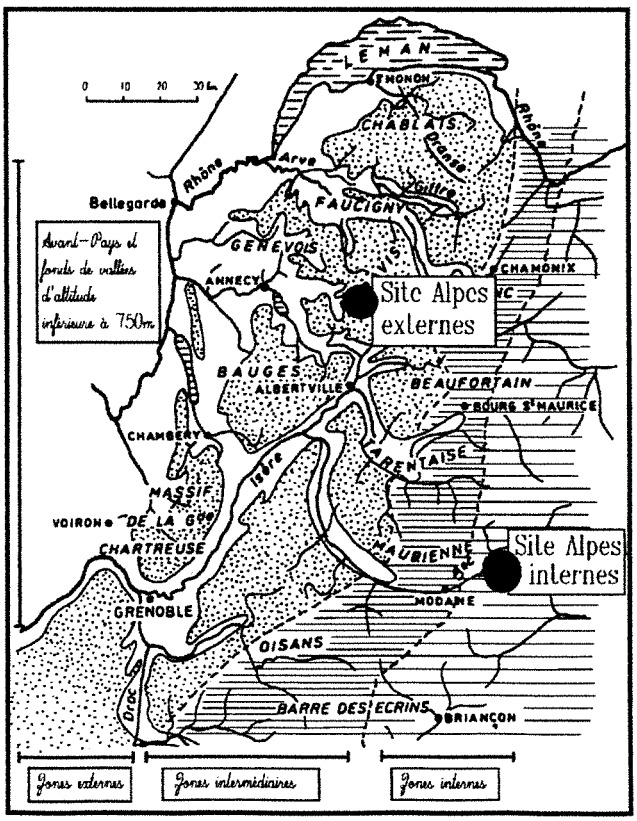
Les interprétations des deux premières expérimentations montrent des convergences de morphologie et de structure entre espèces vivant dans les mêmes conditions écologiques. Elles

Tableau 2-5 : Diversité intraspécifique et valeur nutritive dans les prairies de fauche. Espèces suivies et variations physionomiques en fonction des conditions écologiques

	ALPES EXTERNES			ALPES INTERNES		
	fert=0	fert=20	fert=40	fert= 0	fert=20	fert=40
Dactylis glomerata	chétif, talles isolées, n=26	petites touffes,n=11	touffes, n=31	chétif, talles isolées, n=8	petites touffes, n=9	touffes, n=8
Festuca pratensis	non observé	non observé	touffes n=7	non rencontré	petites touffes n=8	touffes, n=8
Bromus erectus	petites touffes, n=3	touffes n=3	non rencontré	non observé	non observé	non rencontré
Geranium sylvaticum	chétif, brins isolés, n=9	non observé	touffes n=11	chétif, brins isolés, n=8	non observé	touffes n=8
Anthriscus sylvestris	non rencontré	non observé	non observé	non observé	chétif brins isolés, n=4	touffes n=5
Polygonum bistorta	non observé	non observé	non observé	non observé	tache pluri-spécifique n=9	tache mono-spécifique n=8

Légende : chétif, brins isolés : physionomie générale de l'espèce,
n=nombre de prélèvements éffectués,
non observé : forme existante mais non suivie, non rencontré : forme non rencontrée dans le secteur.

Figure 2-6 : Diversité intraspécifique et conséquences sur la valeur nutritive. Situation géographique des sites de mesures



permettent de mieux comprendre les processus qui autorisent une évaluation globale à l'échelle de la communauté.

1 - MATERIEL ET METHODES

A) DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET VALEUR NUTRITIVE DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE

Il s'agit d'évaluer les conséquences des variations de morphologie et de structure des espèces sur la valeur nutritive : digestibilité de la matière organique (DMO %) et teneur en matières azotées totales (MAT g kg MS $^{-1}$). Les espèces suivies sont : *Dactylis glomerata, Festuca pratensis, Geranium sylvaticum, Bromus erectus, Polygonum bistorta* et *Anthriscus sylvestris* (tableau 2-5). Parmi ces espèces, nous attachons une importance particulière à *Dactylis* du fait de sa très grande variabilité morphologique.

Ces espèces ont été observées et prélevées dans plusieurs stations de conditions écologiques différentes (milieu physique et pratiques agricoles). Ces variations écologiques se traduisent, pour une espèce donnée, par des changements dans sa morphologie et le mode d'agrégation des modules. Les facteurs échantillonnés sont le cadre macro-climatique et le niveau de nutrition.

Les observations ont été faites dans les **Alpes externes**, zone à forte pluviométrie (1500 à 1700mm de précipitations annuelles), à 900m d'altitude et dans les **Alpes internes**, secteur plus sec (800 à 1000 mm de précipitations annuelles) et subissant de fréquentes gelées durant la période de végétation, à 1500m d'altitude (figure 2-6). Dans ces deux secteurs, nous avons choisi des prairies voisines et différant seulement par le niveau de fertilisation organique appliqué depuis plusieurs années (au moins 10 ans) : aucune fertilisation (fert=0), 20 t ha^{-1} an^{-1} (fert=20) et 40 t ha^{-1}an $^{-1}$ (fert=40). Toutes les stations d'observation appartiennent à un milieu frais, sauf pour *Bromus erectus* qui ne se rencontre qu'en situation plus sèche. Le rythme d'utilisation de ces stations est peu intensif : fauche tardive après la floraison de *Dactylis*, regain et/ou pâture.

1 - Observations de terrain

Pour chacune des physionomies des espèces étudiées, le protocole est le suivant :

- prélèvement hebdomadaire, durant le premier cycle de végétation, par tri dans l'ensemble de la biomasse potentiellement récoltable (coupe à 2 cm),
- comptage sur l'ensemble des brins prélevés du taux de talles épiées (ou de tiges pour les dicotylédones),
- estimation visuelle de l'importance de la sénescence en pourcentage relatif pour l'ensemble du prélèvement d'une part, et d'autre part de façon distincte, pour les tiges et les organes qu'elles portent et pour les talles herbacées des graminées et les feuilles radicales des dicotylédones,
- notation de la phénologie, de la hauteur des tiges, des talles herbacées pour les graminées et des feuilles radicales pour les dicotylédones.

Tableau 2-6: Variables utilisées dans l'étude des variations de valeur nutritive en fonction de la diversité intraspécifique

variables qualitatives permettant de structurer l'échantillon en populations :
• cadre macroclimatique : vallées externes et internes, • physionomie : chétif, petites touffes, touffes,
variables indicatrices de l'avancée du cycle de végétation : (TEMPS)
• **AGE** : nombre de jours depuis le début épiaison de *Dactylis* plus 50 (âge=50 à ce stade) • **LTIG** : longueur des tiges (cm). • **LVEG** : longueur des talles herbacées : (cm)
variables représentatives de la composition morphologique :
• **TIG%** :taux de talles reproductrices : (en %de l'effectif total des talles) (cette variable est différente du rapport feuilles/tiges habituel qui nécessite la séparation des limbes des tiges et qui est calculé sur des poids secs) • **SEN%** : taux de sénescence : (%).

Tableau 2-7 : Ecologie et végétation des stations utilisées pour les mesures de morphologie à l'échelle de la communauté

Station	Fertilisation organique (t ha^{-1} an^{-1})	Contexte pédo-climatique	indice de nutrition (1)	Dicoty-lédones (% du volume)	Alliance phyto-sociologique	Structure de la végétation
1	40	frais	0,93	26	*Triseto-polygonion-bistortae*	touffes de graminées et de dicotylédones (*Dactylis, Geranium sylvaticum.*)
2	40	mésophile	0,78	19	*Arrhenatherion elatioris*	graminées en touffes (*Dactylis*) et en tapis (*Dactylis, Festuca pratensis*)
3	20	mésophile	0,68	25	*Arrhenatherion elatioris*	graminées en petites touffes (*Dactylis, Festuca pratensis*) ou dans un tapis composite (*Dactylis,. Lolium perenne*)
4	0	frais	0,60	53	*Triseto-polygonion-bistortae*	graminées à feuilles fines (*Festuca rubra, Agrostis capillaris*) dicotylédones chétives (*Geranium sylvaticum, Chaerrophyllum villarsii)*
5	0	très sec	0,45	13	*Mésobromion*	petites touffes de *Bromus erectus*

(1) indice de nutrition azotée (I_N) (DURU 1992a) calculé selon la formule :
$I_N = 100*(4,8-4,8*MS_{obs}^{-0,32}+N_{obs})/4,8$

Avec MS= production MS en t ha^{-1} et N= teneur en azote du fourrage (% MS) au stade pleine épiaison ou épi à 10 cm de *Dactylis.*

Dans la classification phytosociologique des communautés végétales, l'alliance est un niveau supérieur à celui de l'association. Dans les Alpes, l'alliance rend assez bien compte du contexte bioclimatique (OZENDA , 1985).

Sur les plantes entières et, pour un nombre plus réduit de situations, sur les fractions talles herbacées (ou feuilles radicales) et tiges portant ses feuilles et ses organes reproducteurs, les critères suivant sont dosés après séchage en étuve :

- digestibilité à la pepsine-cellulase (AUFRERE, 1982) pour estimation de la DMO (%),
- azote Kjeldhal pour le calcul de la teneur en MAT (g kg MS $^{-1}$),
- cellulose brute de Weende (CB g kg MS $^{-1}$),
- teneur en cendres (MM g kg MS $^{-1}$).

2 - Techniques statistiques

Des régressions simples et multiples ont été réalisées pour expliquer les variations intraspécifiques de DMO et de MAT. Ces équations ont été effectuées avec différentes variables explicatives (phénologie, hauteur des tiges, taux de talles reproductrices, ...) et en considérant différentes structurations en populations des échantillons de chaque espèce (ensemble de l'échantillon tous prélèvements confondus, trois populations, une par physionomie, deux populations, une par secteur macroclimatique, ...).

Pour étudier les variations de valeur nutritive de la plante entière de *Dactylis* nous avons procédé de la façon suivante.

Réalisation de tests de F de FISHER-SNEDECOR (TRANCHEFORT, 1974), pour vérifier si les variations de DMO et de MAT en fonction de l'avancée du cycle sont significativement différentes suivant la physionomie et le cadre climatique. Pour cela nous avons étudié différentes structurations de l'échantillon en populations (tableau 2-6) :

- 1 population toutes physionomies confondues,
- 2 populations, 1 par vallée,
- 3 populations, 1 par physionomie (chétif, petite touffe, touffe),
- 6 populations, 1 par vallée et par physionomie.

Sur chacune de ces populations nous avons effectue des regressions linéaires reliant DMO et MAT à deux expressions de l'avancée du cycle (TEMPS) :

- AGE : nombre de jours depuis le stade début épiaison de *Dactylis* plus 50 (âge=50 au stade début-épiaison)
- LTIG : longueur des tiges (cm).

Les modèles utilisés sont soit linéaires ($y=aTEMPS+b$; avec y=DMO ou MAT) soit paraboliques ($y=aTEMPS+bTEMPS^2+c$) si l'introduction de ce carré est significative au seuil 5% du test de F. Dans le cas d'une forme parabolique les valeurs de TEMPS font que nous ne considérons que la première branche de la parabole. Cette forme parabolique permet ensuite d'introduire des variables explicatives supplémentaires plus facilement que les modèles construits avec des courbes de puissance ou des courbes exponentielles .

Aprés cet ajustement des variations de DMO et de MAT, par population en fonction du TEMPS, nous avons également introduit dans les modèles le taux de talles reproductrices (TIG %, en % de l'effectif total de talles). Le taux de talles reproductrices est exprimé en interaction avec le temps pour prendre en compte l'évolution de son effet durant le cycle.

Pour confirmer les résultats que nous obtenons par comparaison de régressions, nous avons effectué des analyses de covariance. Cette technique allie les caractéristiques de l'analyse de variance et de la régression. Les covariables sont des variables continues dont on élimine les effets pour analyser celui de facteurs. Nous avons considéré le TEMPS comme covariable et la physionomie (ou le cadre macroclimatique) comme populations (facteur).

Pour les travaux par types de talles de *Dactylis* et pour les autres espèces nous avons retenu une procédure analogue. Le tableau 2-6 présente les différentes variables que nous avons utilisées. L'annexe 3 contient les différentes équations de régressions utilisées pour la présentation des résultats sous forme de figures.

B) DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET APPETIBILITE DANS LES PRAIRIES PATUREES

Il s'agit d'une part d'évaluer les conséquences de la variabilité intraspécifique de structure sur l'appétibilité pour les animaux. Les espèces que nous étudions plus particulièrement sont : *Festuca arundinacea* et *Bromus erectus.* D'autre part, nous analysons, pour quatre prairies de physionomie très contrastée, l'influence de ces variations d'états de végétation sur la consommation au pâturage.

Les méthodes employées sont différentes de celles utilisées dans les prairies de fauche. Il s'agit de mettre en évidence les effets conjoints de la morphologie, de la sociabilité des individus, mais aussi de l'agencement des espèces sur la consommation au pâturage.

Les mesures consistent en des relevés de hauteur d'herbe tous les dix centimètres sur des transects permanents de dix mètres. La hauteur est mesurée sur la végétation en place sans étirer les feuilles. A chaque point de mesure nous notons également, par strate de 10cm, le ou les types d'organes (feuilles, tiges, ...) rencontrés et l'élément structural auquel il appartient (touffe, tapis pluri-spécifique, ...). A ces mesures de hauteur sont associées des observations sur les stades phénologiques, la morphologie de l'herbe et plus généralement son état avant et après pâture. Les conditions et mode de conduite des pâtures ont été enregistrés. Les observations sont effectuées, sur toute la saison de pâture, juste avant et juste après le passage des animaux. Un comptage intermédiaire, pendant la présence des animaux a lieu si la durée de séjour est supérieure à 10 jours.

Ces observations permettent de réaliser des histogrammes de hauteur d'herbe, avant et après la pâture, sur lesquels on peut également faire figurer des caractéristiques de la végétation (élément structural et importance des tiges, ...). Cela permet de visualiser la sélection alimentaire effectuée par les animaux à l'intérieur d'une station et d'évaluer l'appétibilité des différentes composantes de la végétation.

C) DIAGNOSTIC DIRECT A L'ECHELLE DE LA COMMUNAUTE, TOUTES ESPECES CONFONDUES

L'objectif est de voir s'il existe, à l'échelle de la communauté, des variations de composition morphologique (taux de tiges et de sénescence) et de structure suivant, en particulier, le niveau de nutrition des stations. Nous vérifions ensuite que ces variations ont des conséquences en terme de valeur nutritive et de production quantitative.

1 - Variations de composition morphologique des communautés

Pour mesurer la composition morphologique des communautés nous avons effectué des tris d'organes, toutes espèces confondues, sur un échantillon de stations. Ce travail a été réalisé sur cinq stations représentatives d'un gradient de niveau de nutrition et de fraîcheur du contexte pédoclimatique. Cette diversité des conditions a, bien sûr, des conséquences en matière de végétation, du point de vue de la composition floristique et de la structure (tableau 2-7).

Sur ces cinq stations, les tris ont été réalisés à quatre stades du premier cycle : épi à 10 cm, pleine épiaison, début floraison et début fructification de *Dactylis*. Nous avons prélevé, par une coupe à 2 cm de haut, 1m² de végétation (4 répétitions de 0,25 m²) qui a ensuite été trié selon les modalités suivantes :

- talles herbacées et limbes des tiges des graminées,
- tiges et inflorescences des graminées,
- feuilles radicales et caulinaires des dicotylédones non légumineuses,
- tiges et inflorescences des dicotylédones non légumineuses,
- feuilles radicales et caulinaires des légumineuses,
- tiges et inflorescences des légumineuses,
- parties sénescentes.

Après séchage et pesée, nous disposons des poids relatifs de ces différents compartiments de la végétation.

2 - Morphologie et valeur d'usage des communautés

Nous avons complété ce protocole de tri, par une évaluation directe des relations entre facteurs écologiques, morphologie de la végétation et critères de la valeur d'usage. Pour cela nous avons travaillé sur un échantillon initial de 16 parcelles. Ces parcelles sont représentatives des conditions et de la diversité des végétations des prairies de fauche des Alpes du Nord (tableau A-1, annexe 4). Sur ces parcelles des prélèvements de fourrages pour analyse et des observations de la morphologie et de la phénologie ont été réalisées pendant 3 ans. Une description précise du protocole et des enregistrements de terrain est faite dans l'annexe 4.

Avant l'interprétation de ces données, les prairies de même végétation et de même conditions écologiques ont été regroupées afin de ne pas donner trop de poids à certaines situations surreprésentées. Pour mettre en évidence des tendances fortes, nous avons travaillé sur les valeurs moyennes des 3 années d'observation. Nous avons effectué une matrice des corrélations et une analyse factorielle des correspondances multiple (AFCM) sur le fichier final qui comprend 12 individus. Les variables analysées sont des indicateurs très généraux des conditions écologiques, de la morphologie de la végétation et de la valeur d'usage du fourrage vert.

2 - RESULTATS ET DISCUSSION

A) DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET VALEUR NUTRITIVE DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE

1 - Variabilité intraspécifique de morphologie et de structure

A) DIVERSITE DE PHYSIONOMIE ET DE STRUCTURE

Les variations des conditions dans lesquelles les espèces poussent ont des conséquences importantes sur leur physionomie.

La physionomie de *Dactylis glomerata* est très différente suivant les conditions de nutrition (figure 2-7) :

- le type "chétif" dont les pieds, au plus une dizaine de talles, sont dispersés au sein du couvert végétal. Cette forme se rencontre dans les prairies maigres peu ou pas fertilisées,
- le type "en touffe" lié aux fortes fertilisations et aux milieux frais, montre un port robuste, des talles regroupées en ensembles denses et monospécifiques de plus de 50. Le diamètre de ces touffes peut atteindre plus de 30cm à 5cm au dessus du sol.
- le type "en petites touffes" dont les agrégats de 5 à 10 cm de diamètre comportent 20 à 50 talles. Cette forme se rencontre dans les situations moyennement fertilisées.

Festuca pratensis a des variations physionomiques semblables à celles de *Dactylis.*

Bromus erectus a une sociabilité en petites touffes dans les prairies maigres, la hauteur et le diamètre de ses touffes augmentent dans les situations fertilisées.

Geranium sylvaticum présente des variations analogues à celles de *Dactylis* et de *Festuca pratensis* (figure 2-7). Dans les prairies maigres, les collets portent de petites feuilles et sont dispersés dans le couvert, alors que dans les situations riches et fraîches, il forme de grosses touffes monospécifiques de 20 à 40cm de diamètre.

Anthriscus sylvestris est soit, en touffes regroupant plusieurs tiges et de nombreuses feuilles radicales dans les stations très fertilisées soit, dans les prairies moins fertilisées, sous une forme chétive constituée d'une tige isolée associée à deux ou trois feuilles radicales.

Tableau 2-8 : Caractéristiques morphologiques des graminées suivant leur physionomie

(valeurs moyennes à la floraison de *Dactylis glomerata*, à ce stade *Festuca pratensis* et *Bromus erectus* sont également en fleurs)

	talles à tige/ talles totales (% MS)	talles à tige/ talles totales (%effectif)	taux sénes-cence (%)	Lon-gueur tiges (cm)	Longueur talles herbacées (cm)	poids de 100 tiges (g de MS)
***Dactylis* Alpes externes**						
• chétif (fert=0)	67	26	2	63	37	58
• petites touffes (fert=20)	83	45	5	83	35	69
• touffes (fert=40)	90	58	8	104	54	89
***Dactylis* Alpes internes**						
• chétif (fert=0)	21	5	7	68	39	60
• petites touffes (fert=20)	25	5	7	73	44	82
• touffes (fert=40)	68	25	9	93	54	89
***Festuca pratensis* Alpes externes**						
• touffes (fert=40)	/	76	4	120	50	/
***Festuca pratensis* Alpes internes**						
• petites touffes (fert=20)	41	16	6	76	40	35
• touffes (fert=40)	73	34	8	88	60	53
***Bromus erectus* Alpes externes**						
• petites touffes (fert=0)	/	54	4	83	25	/
• touffes (fert=20)	/	85	3	93	36	/

Tableau 2-9 : Caractéristiques morphologiques des dicotylédones suivant leur physionomie

(valeurs moyennes à la floraison de *Dactylis*, à ce stade *Geranium sylvaticum* et *Anthriscus sylvestris* en fructification, *Polygonum bistorta* en fleurs).

	brins à tige/ brins totaux (%de la MS)	brins à tige/ brins totaux (%effectif)	taux sénes-cence (%)	Lon-gueur tiges (cm)	Longueur feuilles radicales (cm)	poids de 100 tiges (g de MS)
***Geranium sylvaticum* Alpes externes**						
• chétif (fert=0)	/	7	2	56	29	/
• touffes (fert=40)	77	29	9	69	40	291
***Geranium sylvaticum* Alpes internes**						
• chétif (fert=0)	24	7	6	40	22	92
• touffes (fert=40)	52	15	6	61	30	204
***Anthriscus sylvestris* Alpes internes**						
• chétif (fert=20)	54	9	10	75	33	286
• touffes (fert=40)	54	16	6	80	32	346
***Polygonum bistorta* Alpes internes**						
• taches plurispécifiques (fert=20)	35	21	3	69	44	113
• taches monospécifiques (fert=40)	14	8	3	66	40	106

Figure 2-7 : **Physionomie et structure de *Dactylis glomerata* et de *Geranium sylvaticum***

Dactylis glomerata

en touffes



en petites touffes dans un tapis plurispécifique



chétif, en individus isolés dans un tapis à feuilles fines



Geranium sylvaticum

en touffes



chétif, en individus isolés



Polygonum bistorta forme des taches monospécifiques de forme irrégulière pouvant atteindre 1m² dans les situations très fertilisées. Lorsque la fertilisation est plus faible, *Polygonum bistorta* est associée à d'autres espèces dans des taches plus diversifiées où elle reste l'espèce dominante.

B) CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES ESPECES SUIVANT LEUR PHYSIONOMIE

Les facteurs écologiques échantillonnés ont un impact sur le mode d'agrégation des modules et sur les caractéristiques morphologiques des espèces. Dans le tableau 2-8 pour les graminées, dans le tableau 2-9 pour les dicotylédones, nous présentons les principaux traits morphologiques des espèces, suivant leur physionomie, au stade floraison de *Dactylis.*

Les tableaux 2-8 et 2-9, montrent des tendances générales qui se vérifient, dans les deux situations climatiques, vallées externes et vallées internes, aussi bien pour les graminées que pour les dicotylédones.

Pour la majorité des espèces pouvant prendre un port en touffes (*Dactylis, Festuca pratensis, Bromus erectus, Geranium sylvaticum*) une augmentation du niveau trophique se traduit par :

- une augmentation de la taille (longueur et poids des tiges, des talles herbacées et des feuilles radicales),
- une augmentation du taux de tiges par rapport à l'ensemble de la plante (exprimée, soit en nombre de tiges par rapport à l'effectif total des talles ou des brins, soit en pourcentage pondéral),
- une augmentation de la sénescence qui touche en particulier les talles herbacées et les feuilles radicales inférieures.

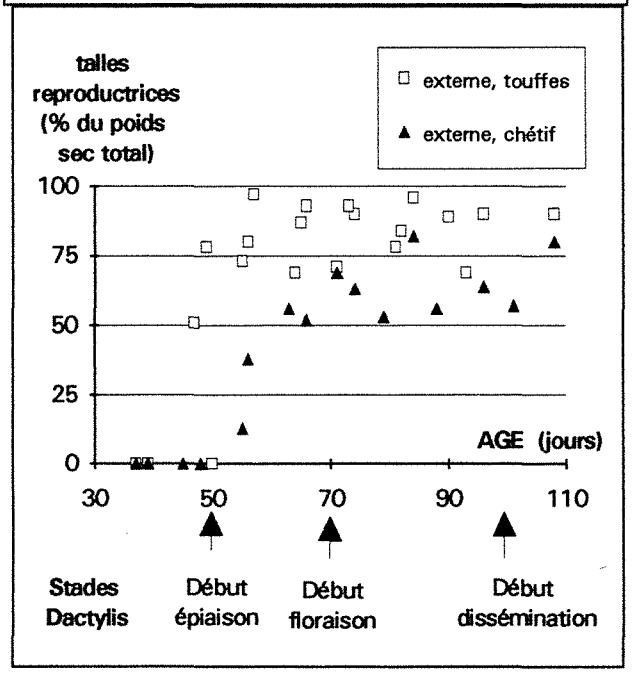
Ces données, évoluent tout au long du cycle de végétation, comme l'illustrent les figures 2-8, 2-9 et 2-10 pour *Dactylis.* Après l'épiaison, les différences de taux de talles reproductrices se maintiennent entre les différentes formes de *Dactylis* (figure 2-8) alors que les écarts de taux de sénescence s'accroissent entre touffes et individus chétifs (figure 2-9). Les différences de longueur de tiges s'estompent en fin de cycle, la croissance des tiges des touffes est plus rapide, mais s'arrête plus tôt que celles des tiges du *Dactylis* chétif (figure 2-10).

Anthriscus sylvestris et *Polygonum bistorta* ont des comportements morphologiques différents de ceux des espèces précédentes. *Anthriscus sylvestris*, plante nitrophile, que l'on rencontre cependant dans certaines prairies moyennement fertilisées, a une réponse plastique en matière de taux d'organes reproducteurs faible. *Polygonum bistorta* a également une réponse faible, mais inverse à celle des espèces formant des touffes en situation très fertilisée : *Polygonum bistorta* est plus pauvre en tiges dans les stations de niveau trophique élevé que dans les stations moyennement fertilisées.

Même si les relations entre morphologie des espèces et sociabilité sont conservées entre vallées internes et externes, le cadre macro-climatique influence de façon importante les caractéristiques morphologiques des espèces. Dans les vallées internes, les conditions climatiques sont moins favorables à la pousse de l'herbe, du fait des conditions plus froides et plus sèches. Les espèces se trouvent dans des conditions de stress, plus marquées que dans les

Figure 2-8 : Variations du pourcentage pondéral de talles reproductrices de *Dactylis* suivant sa physionomie

(vallées externes)



(vallées externes et internes)

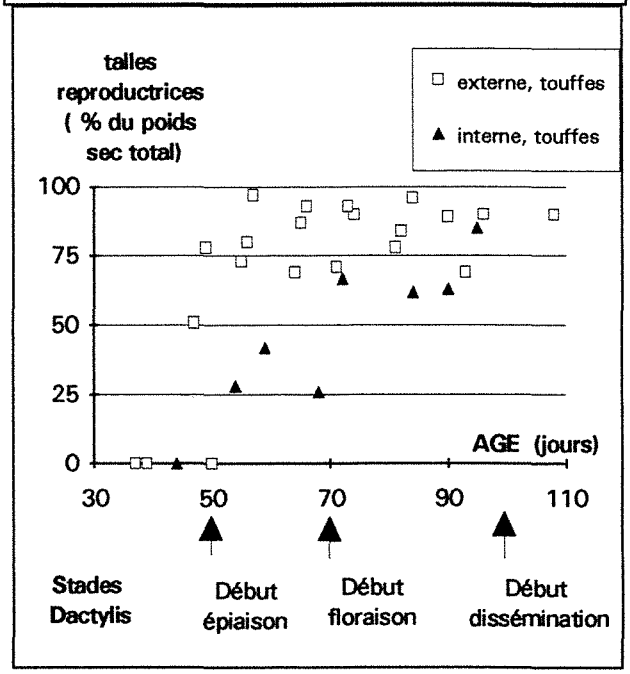


Figure 2-9 : Variations du taux de sénescence de *Dactylis* suivant sa physionomie (vallées externes)

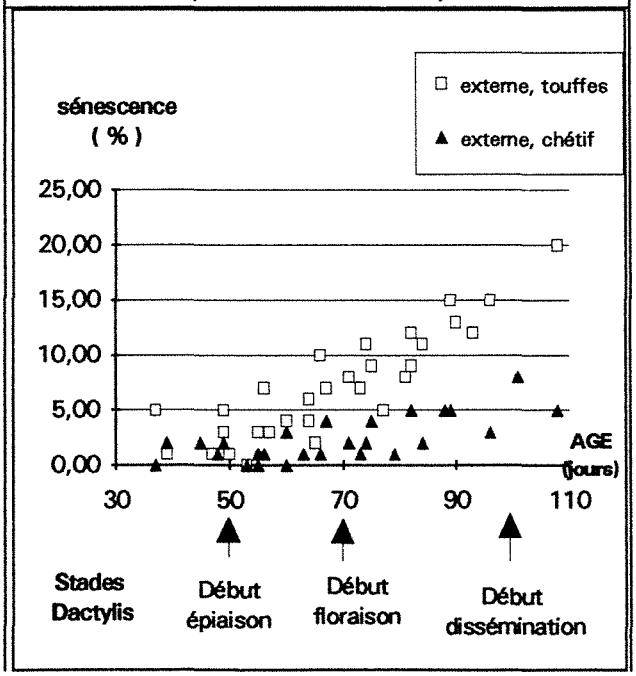
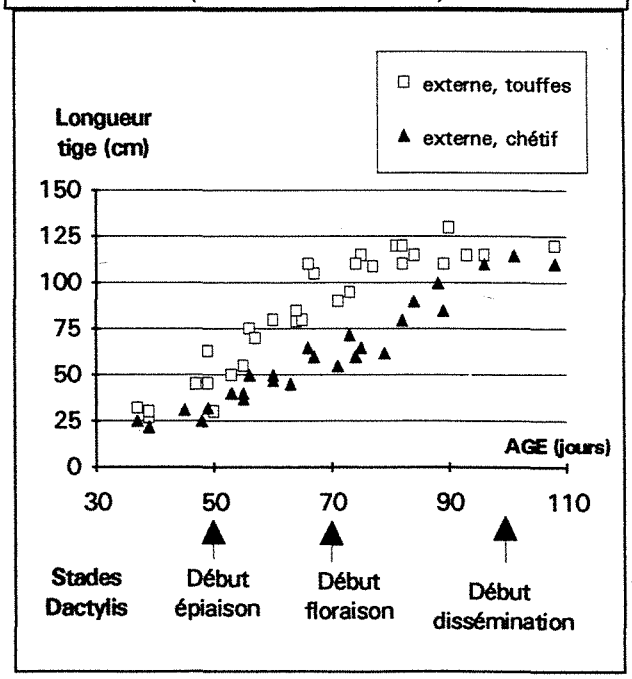


Figure 2-10 : Variations de la longueur des tiges de *Dactylis* suivant sa physionomie (vallées externes)



vallées externes et réagissent par une réduction, à fertilisation égale, de leur taille et de leur taux de tiges.

Nous constatons que les effets des conditions climatiques et trophiques sont similaires sur la morphologie des modules mais différents sur leur sociabilité. Les conditions de croissance, qu'elles relèvent de la disponibilité en nutriments, en eau, ou de la température, semblent toutes jouer sur le taux de tiges. La sociabilité, par contre, n'est pas sensible aux différences climatiques entre vallées externes et internes. Pour *Dactylis*, par exemple, le taux de talles reproductrices à la floraison varie en continu de 90% de la MS dans les conditions de plus forte croissance (fert=40 en vallée externe) à 21%de la MS (fert=0 en vallée interne) dans les conditions de plus faible croissance (tableau 2-6). La sociabilité des talles de *Dactylis* n'est liée qu'au régime trophique : quel que soit le cadre macroclimatique, à de forts niveaux de fertilisation correspondent des *Dactylis* en touffes.

C) ELEMENTS D'INTERPRETATION DE LA VARIABILITE INTRASPECIFIQUE

Les stratégies adaptatives permettent d'expliquer la réponse morphologique et structurale des espèces aux changements de leur environnement.

Pour GRIME (1981), *Dactylis*, *Festuca pratensis*, *Bromus erectus*, ont une stratégie de "compétiteurs" capables de s'adapter à un niveau de stress modéré ("stress-tolerant-competitors"). Cette stratégie se traduit par un taux potentiel de croissance assez élevé et des capacités de réponse rapide à une variation du niveau des ressources, par des ajustements morphogénétiques. En conditions de croissance favorable, ces espèces ont une réaction forte, exigeante en mobilisation des réserves et en affectation des assimilats de la photosynthèse : expansion latérale par tallage, augmentation de la taille des talles et du taux de tiges permettant ainsi une meilleure interception de la lumière (SUGIYAMA et al., 1985). Le carbone est investi surtout dans la croissance aérienne, au besoin au détriment des organes de réserve (GILLET et al., 1984). En cas de stress trophique ou climatique, ces espèces réduisent leur taille, leur tallage et leur taux de tiges. *Geranium sylvaticum* a un comportement qui s'apparente à cette stratégie.

Selon GRIME (1981) *Anthriscus sylvestris* est une bisannuelle ayant une stratégie de compétiteur, capable de supporter une certaine pression de destruction de sa biomasse ("competitive-ruderals") grâce à la production de graines en 2ème année de vie. Cette production de graines a lieu lorsque les espèces les plus compétitives n'ont pas une croissance suffisante pour occuper tout l'espace. En effet, nous constatons qu'*Anthriscus sylvestris* produit de façon assez précoce une grande tige, la formation et la dissémination de ses graines est ensuite rapide. Une non réduction du taux de tiges en cas de stress nutritif léger est donc logique avec cette stratégie, orientée vers la reproduction sexuée.

Polygonum bistorta est également une "competitive-ruderal" mais elle est pérenne et dispose de stolons souterrains (CAPUTA, 1984). Comme beaucoup de ces espèces, elle a une stratégie de régénération par expansion végétative latérale. Cela la rend particulièrement efficace dans la colonisation d'ouvertures temporaires de la végétation lorsque la disponibilité en facteurs de croissance est bonne (GRIME, 1979). Cette stratégie explique la réduction du taux de tiges dans les conditions de nutrition les plus favorables.

Tableau 2-10 : Part de variation de la DMO et de la MAT de *Dactylis* expliquée pour différentes structurations de l'échantillon en populations :
influence de la physionomie et du mode d'expression de l'avancée du cycle

Mode d'expression de l'avancée du cycle	Part de la variation de DMO expliquée (%)		Part de la variation de MAT expliquée (%)	
	TEMPS=AGE (N jours depuis DE *Dactylis*)	TEMPS=LTIG (longueur des tiges)	TEMPS=AGE (N jours depuis DE *Dactylis*)	TEMPS=LTIG (longueur des tiges)
1 population :				
Y=f(TEMPS)	65	77	83	76
Y=f(TEMPS,TIG%)	88 (HS)	82 (HS)	87 (HS)	80 (HS)
2 populations : vallées internes et externes :				
Y=f(TEMPS)	82 (HS)	84 (HS)	87 (HS)	77 (NS)
Y=f(TEMPS,TIG%)	92 (HS)	/	88 (HS)	/
3 populations : chétif, petites touffes, touffes :				
Y=f(TEMPS)	76 (HS)	79 (NS)	85 (NS)	81 (HS)
Y=f(TEMPS,TIG%)	91 (HS)	/	88 (HS)	/
6 populations : par vallée et par physionomie :				
Y=f(TEMPS)	91 (HS)	87 (HS)	89 (HS)	84 (HS)
Y=f(TEMPS,TIG%)	93 (HS)	/	89 (HS)	/

signification du gain de variation expliquée par rapport à l'hypothése d'une seule population fonction du temps : HS : significatif au seuil 1% du test de F, S : significatif au seuil 5 %, NS : non significatif au seuil 5 %.

Les équations sont de la forme :
Y= DMO ou MAT suivant la colonne
Y= f(TEMPS) :
$Y = aTEMPS + b$ ou $Y = aTEMPS + cTEMPS^2 + b$
avec TEMPS= AGE OU LTIG suivant la colonne,

Y= f(TEMPS,TIG) :
$Y = aTEMPS + b\,(TIG\% * TEMPS) + c$ ou
$Y = aTEMPS + b(TIG\% * TEMPS) + dTEMPS + e(TIG\% * TEMPS)^2 + c$
avec TEMPS= AGE OU LTIG suivant la colonne,
(seuil d'introduction des variables : 5% au test de F)

Ces équations sont présentées dans l'annexe 3.

Mécanismes physiologiques chez les graminées

Pour les graminées, les mécanismes physiologiques qui expliquent les différences très importantes de taux de talles reproductrices relèvent du bilan entre apparition et mortalité de talles durant le premier cycle :

- il y a sans doute arrêt plus précoce du tallage dans les conditions de croissance les plus favorables. En effet, le tallage des graminées devient presque nul au delà d'un indice foliaire supérieur à trois (SIMON et LEMAIRE, 1987),
- selon GILLET (1980), la mortalité des talles herbacées durant la montaison est d'autant plus forte que le nombre de tiges est grand et que leur croissance est rapide. L'extinction de la lumière dans les strates inférieures explique également la sénescence plus forte dans les prairies de niveau trophique élevé,
- il est possible aussi que dans les milieux riches un nombre important de jeunes talles soient présentes à l'automne (LEMAIRE, 1985), ce qui leur permet d'être vernalisées. Dans les stations maigres, une proportion plus importante de talles n'apparaitrait qu'au printemps et ne serait pas initiée. Les besoins en induction primaire peuvent aussi être supérieurs avec une nutrition déficiente (IKEGAYA et al., 1980). Enfin, l'azote provoque une accélération de la réalisation du stade doubles-rides et donc le passage à l'état reproducteur d'un plus grand nombre de talles (PELLOT et GALLAIS, 1967).

D'autres auteurs ont mesuré, pour *Dactylis*, des taux de talles reproductrices plus importants dans les situations de nutrition élevée (PELLOT ET GALLAIS, 1967 ; DURU, 1989).

Dans un contexte écologique suffisamment homogène, comme ici la zone macroclimatique et le régime de coupe, le mode d'agrégation des talles a une valeur indicatrice de l'évolution saisonnière de la morphologie : taille des organes, taux de sénescence et taux de tiges. La sociabilité des talles est un critère assez stable dans la saison, facile à observer du fait de ses fortes conséquences sur la physionomie des espèces, mais aussi sur celle de l'ensemble de la végétation. La morphologie, par contre, est très variable durant le premier cycle et elle est difficile à mesurer. Elle constitue donc un indicateur de terrain d'emploi moins aisé. Nous allons maintenant étudier les conséquences des variations de sociabilité et de morphologie de *Dactylis* sur sa valeur nutritive.

2 - Conséquences des variations physionomiques de *Dactylis* sur sa valeur nutritive

Au delà de la mise en évidence des conséquences des variations morphologiques sur la valeur nutritive de *Dactylis,* nous voulons tester les hypothèses suivantes :

- les différences de valeur nutritive entre physionomies s'expliquent-elles uniquement par des variations dans la proportion relative des talles reproductrices et herbacées, ou y-a t'il un effet direct sur la valeur nutritive des talles ?
- le stade phénologique est-il un meilleur indicateur de la valeur nutritive que la hauteur de la tige ?

Stade phénologique et hauteur de tige n'ont pas la même signification biologique. Le stade est en relation avec le déroulement du cycle reproducteur et un vieillissement général de la plante, alors que la hauteur renseigne sur un niveau de croissance et un taux de lignification de la tige.

Figure 2-11 : Variations de la digestibilité de *Dactylis* suivant sa physionomie (valeurs ajustées en fonctions de l'âge)

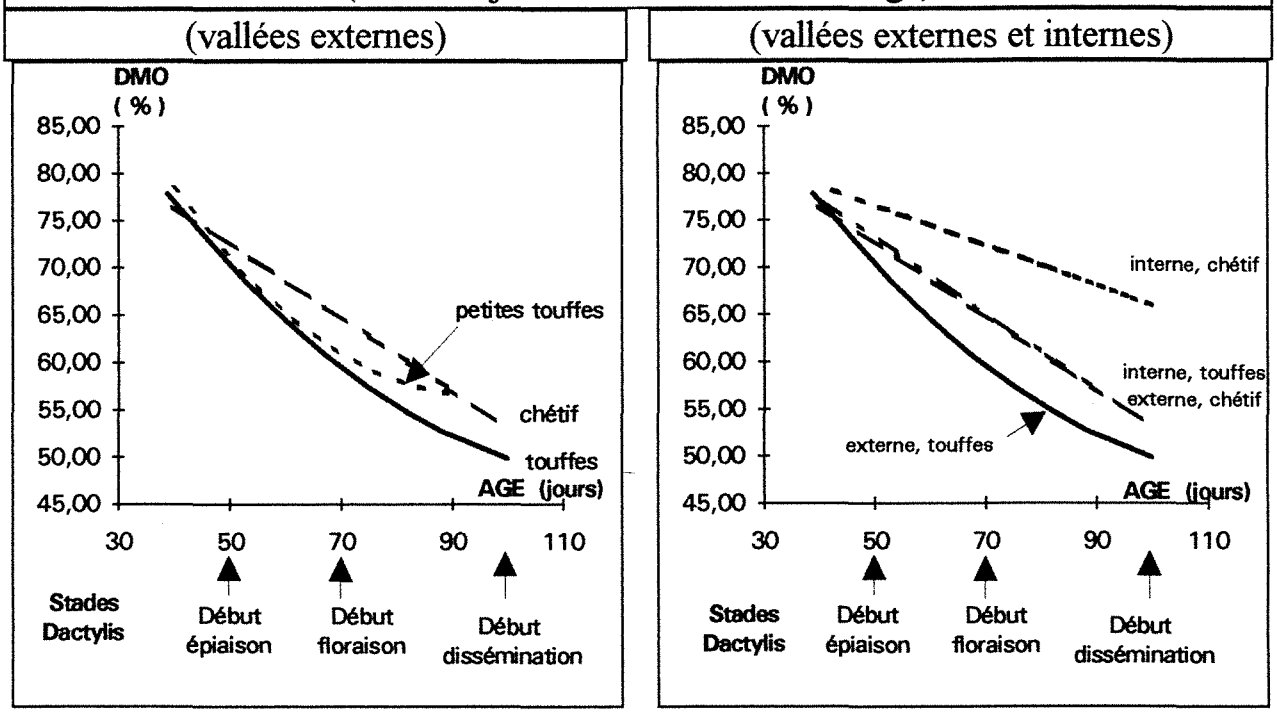
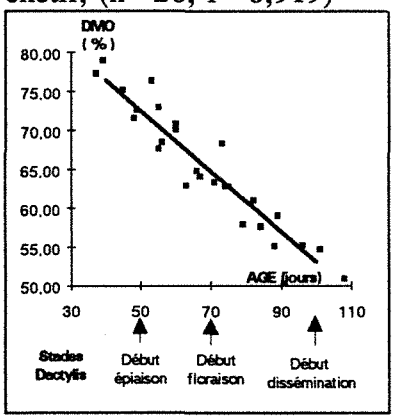
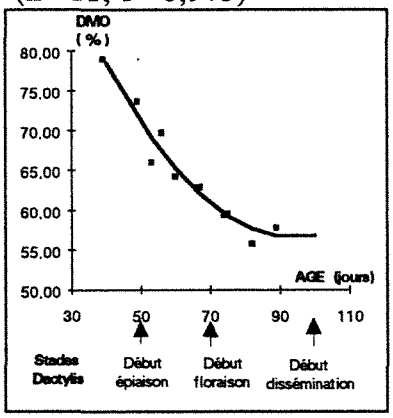


Figure 2-12 : Variations de la digestibilité de *Dactylis* suivant sa physionomie (nuages de points et coefficients de corrélation)

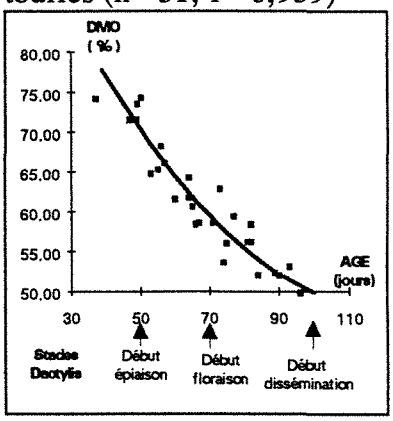
vallées externes, *Dactylis* chétif, (n=26, r=0,919)



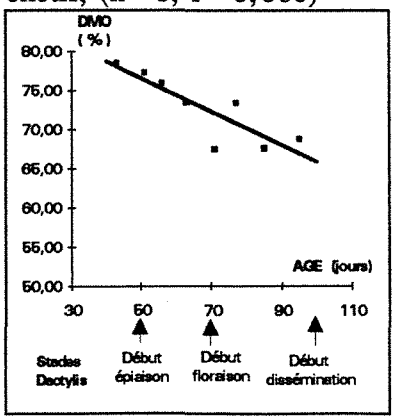
vallées externes, *Dactylis* petites touffes , (n=11, r=0,975)



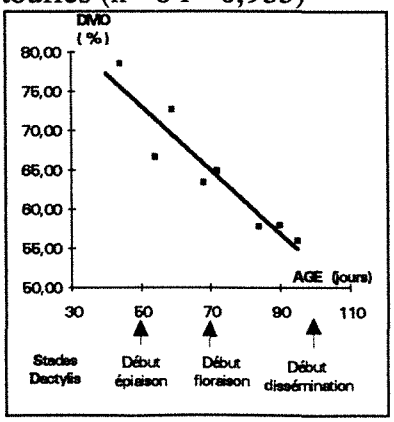
vallées externes, *Dactylis* touffes (n=31, r=0,959)



vallées internes, *Dactylis* chétif, (n=8, r=0,860)



vallées internes, *Dactylis* touffes (n=8 r=0,935)



Une tige de grande taille serait donc moins digestible qu'une petite tige, plus ou moins indépendamment de son stade de développement, comme cela a été démontré pour la luzerne (LEMAIRE et al., 1993).

A) CONSEQUENCES DES VARIATIONS MORPHOLOGIQUES DE LA PLANTE ENTIERE DE *DACTYLIS* SUR SA VALEUR NUTRITIVE

Pour *Dactylis*, la diversité morphologique intraspécifique a des conséquences en matière de valeur nutritive (tableau 2-10). En effet, quel que soit le mode d'expression de l'avancée du cycle (AGE ou LTIG), la structuration de notre échantillon en six populations (une par vallée et par physionomie), prenant ainsi en compte les variations de morphologie permet d'expliquer une part significativement plus importante des variations de DMO et de MAT.

Les variations de valeur nutritive entre formes physionomiques de *Dactylis* sont importantes comme le montrent les tableaux 2-11 et 2-12 qui présentent les résultats des analyses de covariance. Dans les vallées externes, nous avons une différence moyenne, tout au long du premier cycle de végétation, de 3,7% de DMO entre formes chétives et formes en touffes. Il existe également un effet important du cadre climatique : -7% de DMO dans les vallées externes. Ce sont des niveaux très hautement significatifs au test de t. Pour la MAT, les résultats ne sont pas significatifs pour les variations de physionomie alors qu'ils le sont pour le cadre macroclimatique.

Pour la DMO, les différences observées entre formes physionomiques sont importantes. Ainsi, si on se réfère aux tables de la valeur nutritive des aliments (ANDRIEU et al., 1988), le *Dactylis* chétif des vallées externes évolue comme un *Lolium perenne*, alors que sa forme en touffes, toujours dans les vallées externes, ressemble à une *Festuca arundinacea*. **Si l'on considère les variations extrêmes entre *Dactylis* en touffes des vallées externes et les formes chétives des vallées internes, la variation est plus forte que celle observée pour l'ensemble des graminées des tables de la valeur nutritive !**

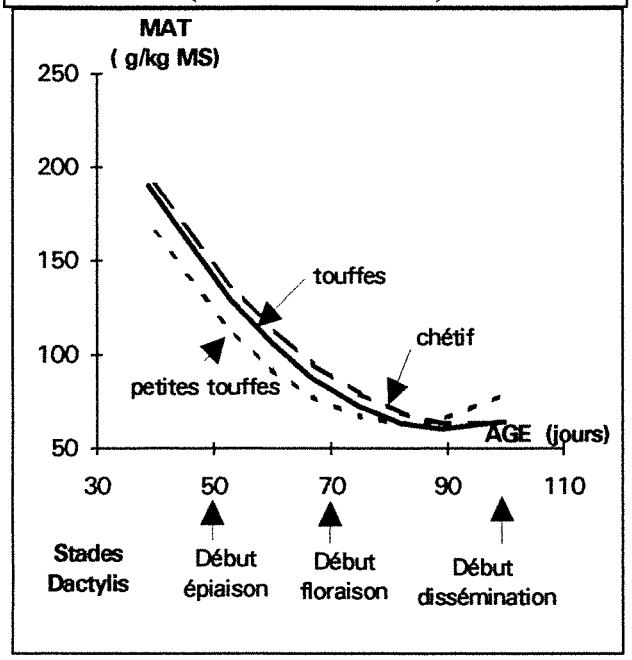
La différence moyenne sur le cycle, obtenue par l'analyse de covariance, valide statistiquement, mais assez schématiquement, les écarts observés. Les courbes d'évolution de la DMO et de la MAT de *Dactylis* par type physionomique et par région macroclimatique (figures 2-11 et 2-13) montrent une évolution durant le premier cycle :

- pour la DMO, les différences sont très faibles en début de cycle et s'accentuent par la suite (figures 2-11),
- pour la MAT, l'interprétation est plus complexe, compte-tenu des phénomènes de dilution (LEMAIRE et al., 1989a). En fin de cycle, du fait d'une biomasse restreinte, donc d'une faible dilution de l'azote dans la matière sèche, mais aussi à cause d'une mortalité réduite des talles herbacées, les teneurs en azote sont plus élevées dans les conditions de croissance lente (figure 2-13, courbe chétif vallées internes).

Les nuages de points des courbes des figures 2-11 et 2-13 sont présentés dans les figures 2-12 et 2-14 ; les équations de régression sont dans l'annexe 3.

Figure 2-13 : Variations de la teneur en matières azotées totales de *Dactylis* suivant sa physionomie (valeurs ajustées en fonctions de l'âge)

(vallées externes)



(vallées externes et internes)

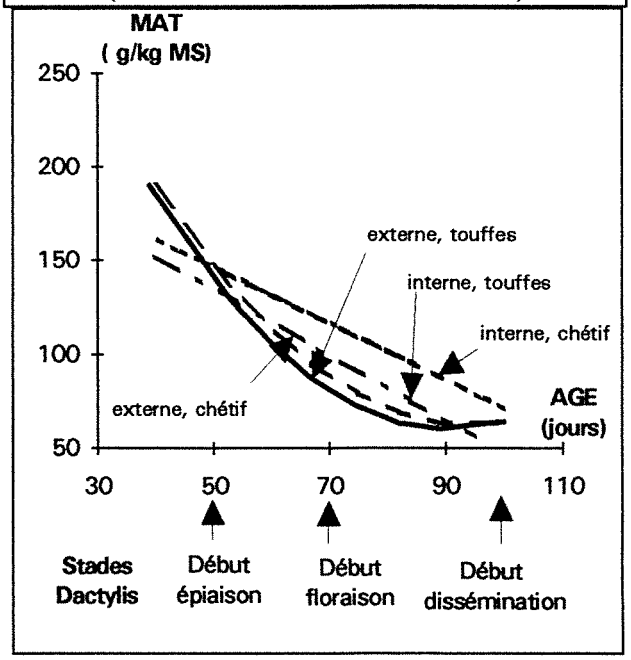
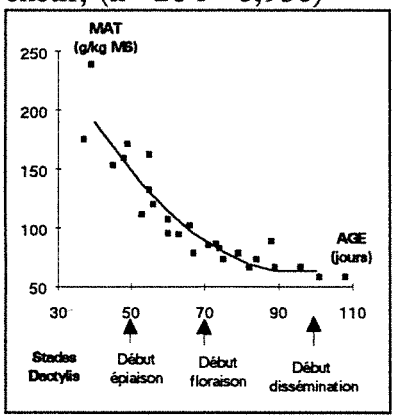
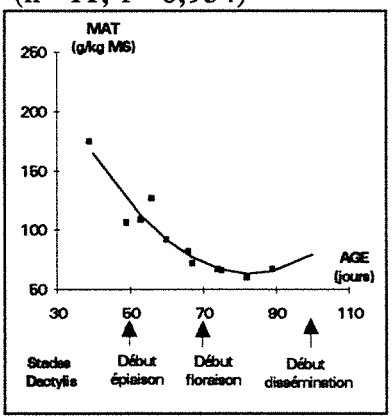


Figure 2-14 : Variations de la teneur en matières azotées totales de *Dactylis* suivant sa physionomie (nuages de points et coefficients de corrélation)

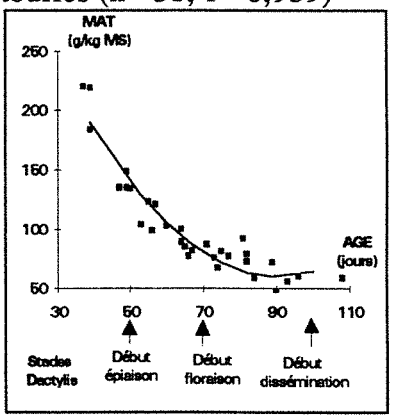
vallées externes, *Dactylis* chétif, (n=26 r=0,930)



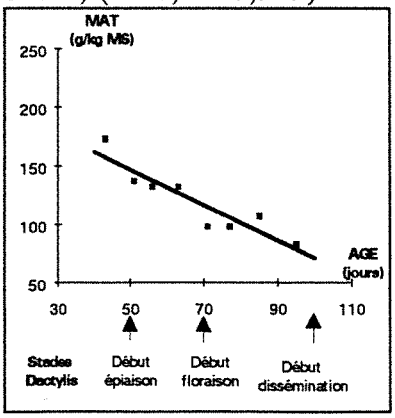
vallées externes, *Dactylis* petites touffes , (n=11, r=0,954)



vallées externes, *Dactylis* touffes (n=31, r=0,959)



vallées internes, *Dactylis* chétif, (n=8, r=0,919)



vallées internes, *Dactylis* touffes (n=8 r=0,977)

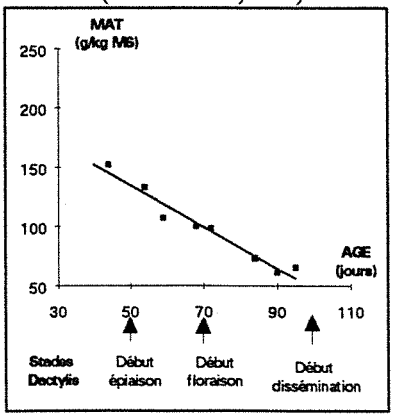


Tableau 2-11 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT de *Dactylis* en fonction de l'âge comme covariable et avec la physionomie comme populations (facteurs) : analyse dans les vallées externes

(coefficients multiplicateurs des niveaux des facteurs et probabilités d'observer des valeurs égales à 0 au test de t)

	DMO		MAT	
	coef. multi-plicateur	proba. coef=0 (%)	coef. multi-plicateur	proba. coef=0 (%)
physionomie :				
• chétif	+3,7	0,01	+6,8	24,7
• petites touffes	+1,3	19,2	-14,5	6,5
• touffes	0	.	0	.

Les modèles sont de la forme :
DMO= aAGE+b+cPOPULATION
MAT= aAGE+b+cPOPULATION

Tableau 2-12 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT de *Dactylis* en fonction de l'âge comme covariable et avec le cadre macroclimatique et la physionomie comme populations (facteurs) : analyse dans les 2 secteurs bioclimatiques

(coefficients multiplicateurs des niveaux des facteurs et probabilités d'observer des valeurs égales à 0 au test de t)

	DMO		MAT	
	coefficient multiplicateur	probabilité coef=0 (%)	coefficient multiplicateur	probabilité coef=0 (%)
physionomie :				
• chétif	+4,3	0,01	+8,4	9,0
• petites touffes	+3,7	0,01	-3,5	55,6
• touffes	0	.	0	.
cadre bioclimatique :				
• vallées externes	-7,0	0,01	-14,8	0,43
• vallées internes	0	.	0	.

Les modèles sont de la forme :
DMO= aAGE+b+cPOPULATION
MAT= aAGE+b+cPOPULATION

Figure 2-15 : Variations de la digestibilité des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur longueur

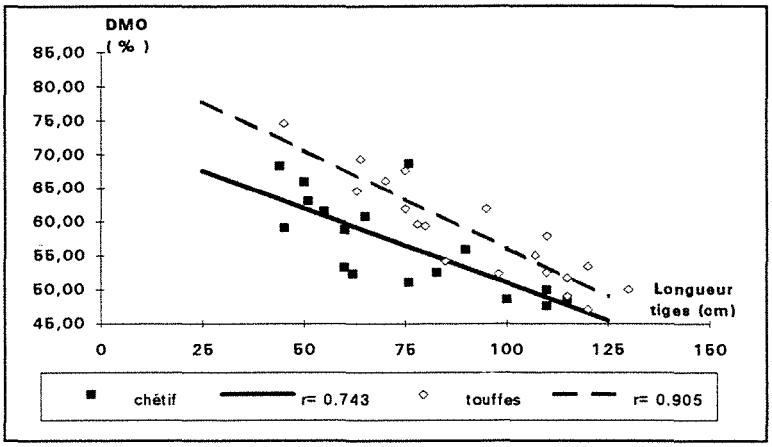


Figure 2-16 : Variations de la digestibilité des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur âge

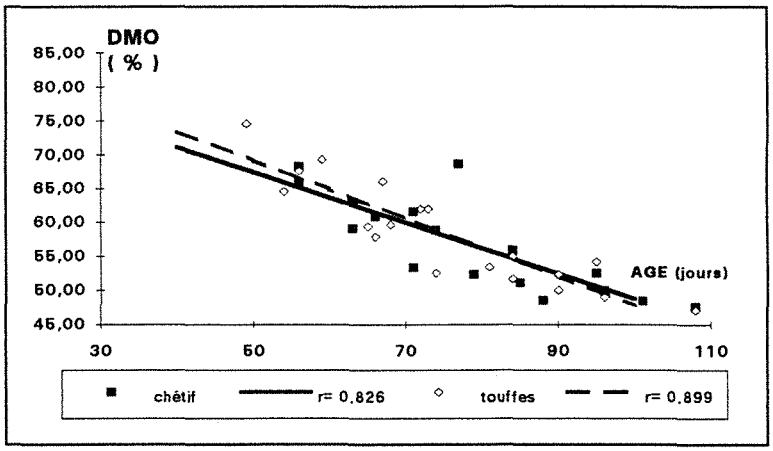


Figure 2-17 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur longueur

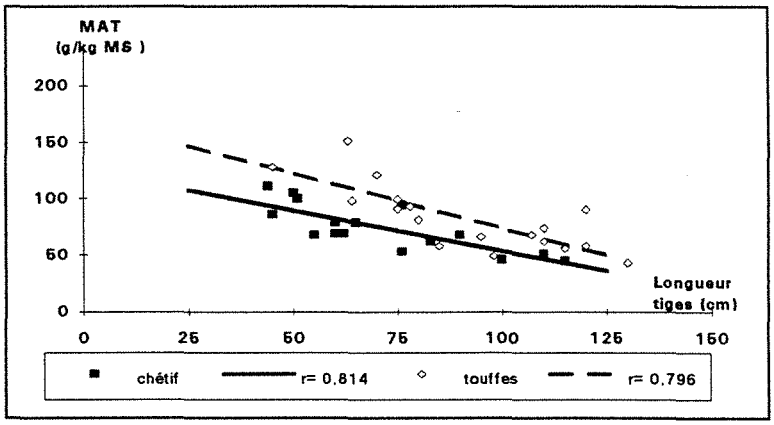
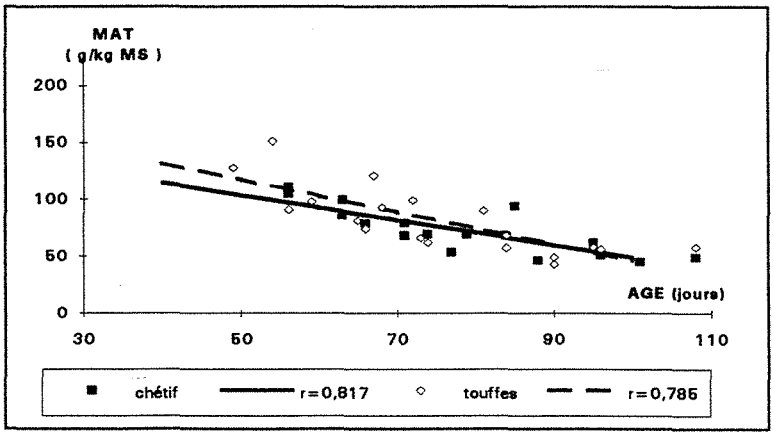


Figure 2-18 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices de *Dactylis* en fonction de leur âge



B) L'AGE DE LA PLANTE : STADE PHENOLOGIQUE OU HAUTEUR DE TIGES ?

Les modèles habituels de prévision de la valeur nutritive (ANDRIEU et al., 1981) sont fondés sur la description de la diminution de la DMO et de la MAT en fonction du stade phénologique. Nous avons comparé les résultats de cette méthode avec ceux obtenus avec un autre indicateur, qui révèle non seulement l'avancée du cycle mais également un niveau de croissance : la longueur des tiges (LTIG). La prise en compte de la longueur des tiges, par rapport à l'âge phénologique de *Dactylis* (AGE) tient compte de façon indirecte des variations de morphologie et de sociabilité : les formes en touffes ont des tiges plus grandes que les formes chétives. Pour cette raison, la longueur de tiges est une variable explicative qui utilisée seule, a une bonne valeur explicative, en particulier pour la DMO. Dans le tableau 2-10, lorsque l'on considère l'ensemble des échantillons de *Dactylis* comme une population unique, la longueur de tiges explique 77% des variations de DMO, alors que l'âge n'en explique que 65%. Par contre, l'avantage du critère LTIG, par rapport à une expression de l'âge en écart à l'épiaison de *Dactylis* s'estompe dès lors que l'on prend en compte certaines variations auxquelles elle est liée : physionomie et cadre macroclimatique. Pour la DMO de *Dactylis*, lorsque l'on considère que chaque physionomie, dans chaque cadre climatique (6 populations) a un comportement différent, l'âge explique 91% de la variation, contre 87% pour la longuer des tiges.

L'analyse des variations de DMO et de MAT des talles reproductrices de *Dactylis*, soit en fonction de leur longueur de tiges (figures 2-15 et 2-17), soit en fonction de leur âge (figures 2-16 et 2-18) confirme ce fait :

- **à âge égal, la valeur nutritive des talles reproductrices est indépendante de la physionomie de *Dactylis*,**
- **à hauteur de tige égale, il y a un effet physionomie, les talles reproductrices des touffes sont plus digestibles que celles des formes chétives.**

Il s'agit de mesures sur des talles reproductrices, les tiges portent donc gaines et limbes, ce qui peut modifier la DMO intrinsèque des tiges. Les talles reproductrices de *Dactylis* chétif sont moins digestibles, à hauteur de tiges égales que les talles des touffes. Deux explications sont possibles et peuvent se combiner : à hauteur égale, soit les talles chétives ont des tiges plus lignifiées, car plus âgées, soit elles ont moins de limbes que les talles des touffes. Nous ne pouvons donc pas conclure en matière de facteur de variation de la DMO des tiges. Par contre, nous concluons du point de vue de la valeur indicatrice comparée de l'âge et de la longueur des tiges sur les variations de valeur nutritive des talles et de la plante entière :

- **la valeur nutritive des talles reproductrices n'est pas dépendante de la hauteur à un stade donné, mais du stade lui même,**
- **l'âge phénologique est donc un bon indicateur du vieillissement des talles reproductrices et plus généralement de la plante durant le premier cycle.** Il traduit des variations complexes dans la dynamique de croissance et de sénescence des organes (feuilles, tiges) et non pas seulement une augmentation des teneurs en parois (DEINUM, 1992).

Nous retenons donc l'âge exprimé en nombre de jours depuis le stade début épiaison de *Dactylis* comme expression de l'avancée du premier cycle de végétation. Nous justifions ce choix, non seulement par une meilleure explication statistique et biologique, mais aussi par le

Figure 2-19 : Variations de la digestibilité des talles reproductrices et herbacées de Dactylis

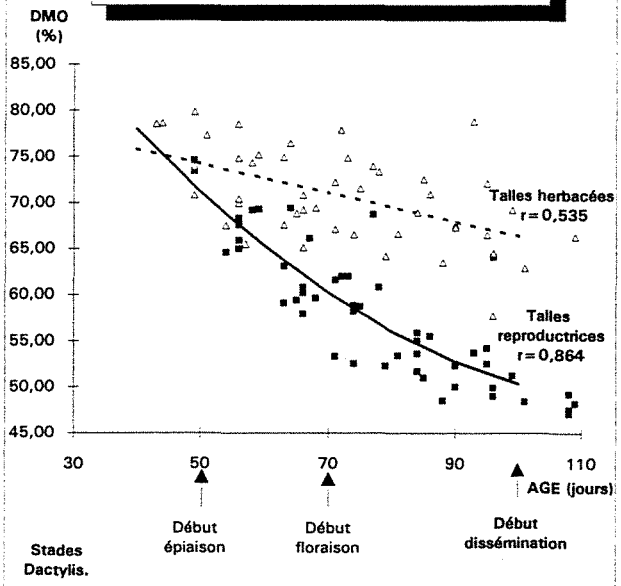


Figure 2-20 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices et herbacées de Dactylis

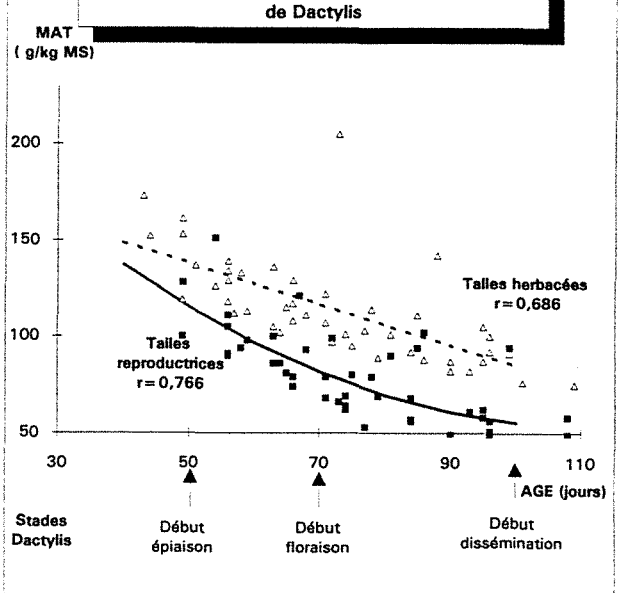


Figure 2-21 : Variations de la digestibilité des talles herbacées de Dactylis vallées externes et internes

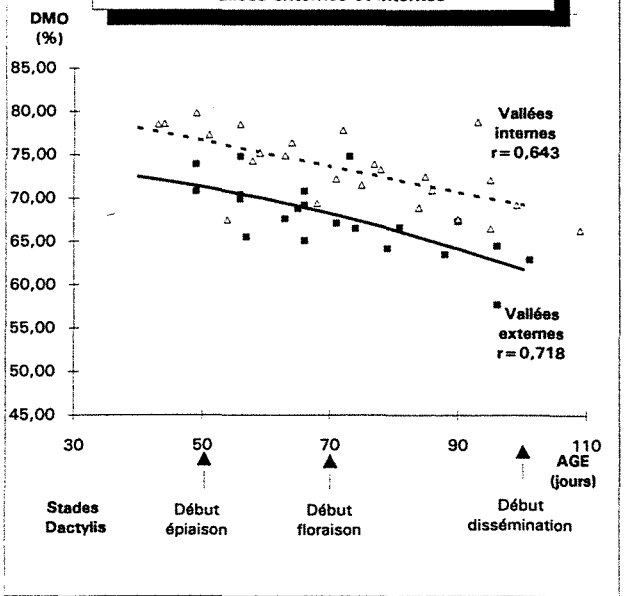
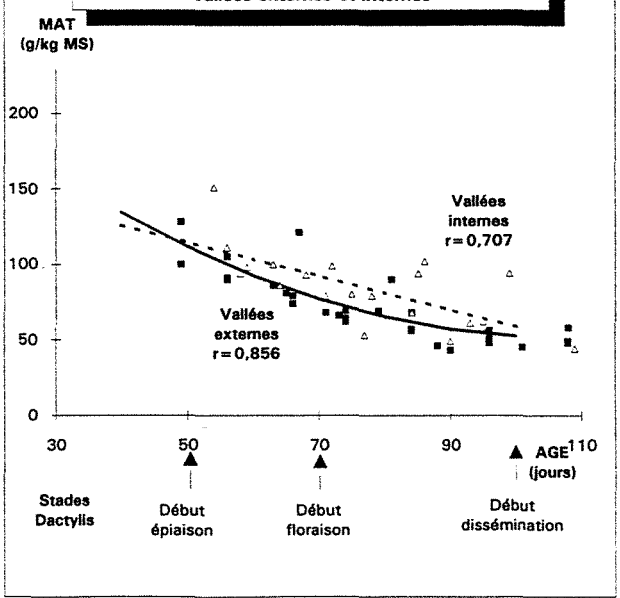


Figure 2-22 : Variations de la teneur en matières azotées totales des talles reproductrices de Dactylis vallées externes et internes



fait qu'il permet d'exprimer le temps par une expression non redondante avec le type physionomique.

C) Y-A T'IL UN EFFET DIRECT DU TYPE PHYSIONOMIQUE SUR LA VALEUR NUTRITIVE DES TALLES HERBACEES ET REPRODUCTRICES ?

Sans structuration de l'échantillon en populations, la prise en compte du taux de tiges, (TIG%) en plus de la variable AGE, comme variables explicatives de la DMO et de la MAT, apporte un taux d'explication équivalent à celui obtenu avec une division en six populations par physionomie et par vallée : 88 et 91% de variation expliquée pour la DMO, 87 et 89% pour la MAT (tableau 2-10). C'est un résultat logique dans la mesure où, séparer notre échantillon en populations par vallée et par physionomie (chétif, petites touffes et touffes), traduit des variations dans le taux de tiges. Mais cela laisse supposer que la valeur nutritive des talles reproductrices et herbacées varie peu d'un type physionomique à l'autre et que la composition morphologique relative est seule à jouer sur la valeur de la plante entière. Pour répondre à cette question nous avons analysé séparement la valeur nutritive des talles herbacées et reproductrices.

Talles herbacées et reproductrices ont, toutes physionomies de *Dactylis* confondues, un comportement différent en matière d'évolution de la valeur nutritive (figures 2-19 et 2-20) :

- en début de saison, talles reproductrices et herbacées sont peu différenciées et leur valeur nutritive est voisine,
- la chute de la valeur nutritive des talles herbacées est beaucoup plus lente que celle des talles reproductrices. A partir du stade début-épiaison, la différence entre ces types d'organes s'accroit tout au long du cycle .

Des analyses de covariance pratiquées sur les talles herbacées et sur les talles reproductrices de *Dactylis* mettent en évidence des différences très faibles, souvent non significatives, entre valeur nutritive de type de talles identique mais provenant de physionomies différentes de *Dactylis* (tableau 2-13).

Pour les talles reproductrices, la DMO ne présente pas de variation significative suivant la physionomie et le cadre macroclimatique. Les variations de teneurs en MAT sont faibles (figure 2-22), bien que significativement plus basse dans les vallées externes. Pour la MAT, comme pour la DMO, il n'y a pas d'effet significatif du type physionomique.

Pour les talles herbacées, il n'y a pas de variation de DMO très nette en fonction de la physionomie, mais une différence marquée entre vallées externes et internes (figure 2-21) : en moyenne, 5,3% de DMO à l'avantage des vallées internes (tableau 2-13). Les effets sur la MAT sont inverses. Le cadre macroclimatique n'a pas d'impact, alors que les talles herbacées des *Dactylis* chétifs sont significativement plus riches en MAT.

Les différences de valeur nutritive entre types physionomiques de *Dactylis* s'expliquent donc bien essentiellement par des variations dans le rapport taux de talles reproductrices sur taux de talles totales.

Les différences de conditions de croissance, dont la physionomie et le cadre macroclimatique rendent compte, affectent très peu la valeur nutritive des talles reproductrices. La variable âge

Tableau 2-13 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT des talles reproductrices et herbacées de *Dactylis* en fonction de l'âge comme covariable et avec le cadre macroclimatique et la physionomie comme populations (facteurs)

(coefficients multiplicateurs des niveaux des facteurs et probabilités d'observer des valeurs égales à 0 au test de t)

	DMO		MAT	
	coef. multi-plicateur	proba. coef=0 (%)	coef. multi-plicateur	proba. coef=0 (%)
TALLES REPRODUCTRICES				
physionomie :				
• chétif	-0,3	80,1	-5,2	31,8
• petites touffes	+2,7	6,7	-4,0	46,0
• touffes	0	.	0	.
cadre bioclimatique :				
• vallées externes	-1,3	25,8	-12,4	0,7
• vallées internes	0	.	0	.
TALLES HERBACEES				
physionomie :				
• chétif	+1,3	19,9	+16,8	0,9
• petites touffes	+3,0	1,3	+12,2	4,7
• touffes	0	.	0	.
cadre bioclimatique :				
• vallées externes	-5,3	0,01	+1,8	76,5
• vallées internes	0	.	0	.

Tableau 2-14 : Part de variation de la DMO et de la MAT expliquée pour différentes structurations des espèces en populations en fonction de leur physionomie

	Variation du rapport nombre tiges/ nombre brins totaux en fonction de la physionomie	Variation expliquée (%)	
		DMO	MAT
Festuca pratensis	élevée		
1 population :		70	58
3 populations : touffes externes, petites touffes et touffes internes:		86 (S)	47 (NS)
Bromus erectus	faible		
1 population :		0	0
2 populations : petites touffes, touffes :		0	27 (NS)
Geranium sylvaticum	élevée		
1 population :		53	74
4 populations : par vallée et par physionomie :		87 (HS)	90 (HS)
Anthriscus sylvestris	nulle		
1 population :		97	81
2 populations : chétif, touffes		99 (S)	62 (NS)
Polygonum bistorta	faible		
1 population :		25	90
2 populations : taches mono et pluri-spécifiques :		5 (NS)	90 (NS)

signification du gain de variation expliquée par rapport à l'hypothése d'une seule population :
HS : significatif au seuil 1% du test de F, S : significatif au seuil 5 %, NS : non significatif au seuil 5 %.

Les modèles sont de la forme :
DMO= aAGE+b ou Y= aAGE+cAGE²+b
MAT= aAGE+b ou MAT= aAGE+cAGE²+b
(seuil d'introduction des variables : 5% au test de F)
avec AGE = nombre de jours depuis le stade début épiaison de *Dactylis*

Figure 2-23 : Variations de la digestibilité de Festuca pratensis suivant sa physionomie : (vallées externes et internes) (valeurs ajustées en fonction de l'âge)

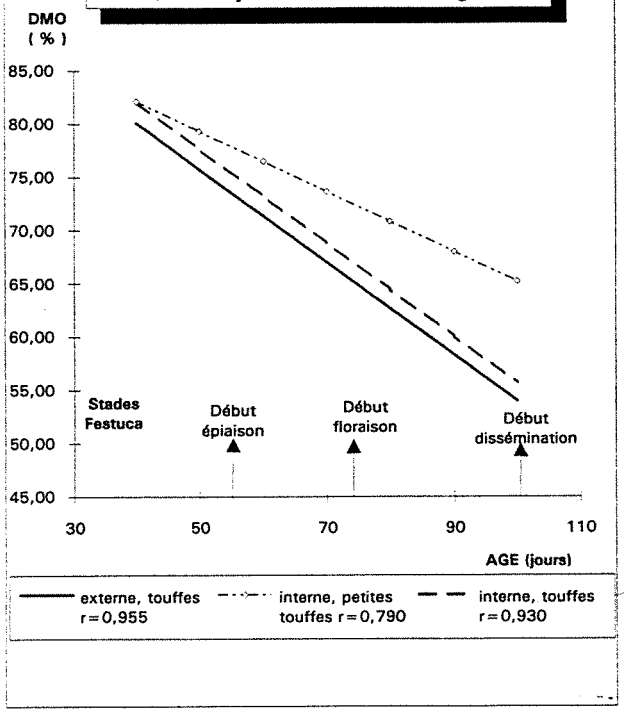


Figure 2-24 : Variations de la digestibilité de Geranium sylvaticum suivant sa physionomie : (vallées externes et internes) (valeurs ajustées en fonction de l'âge)

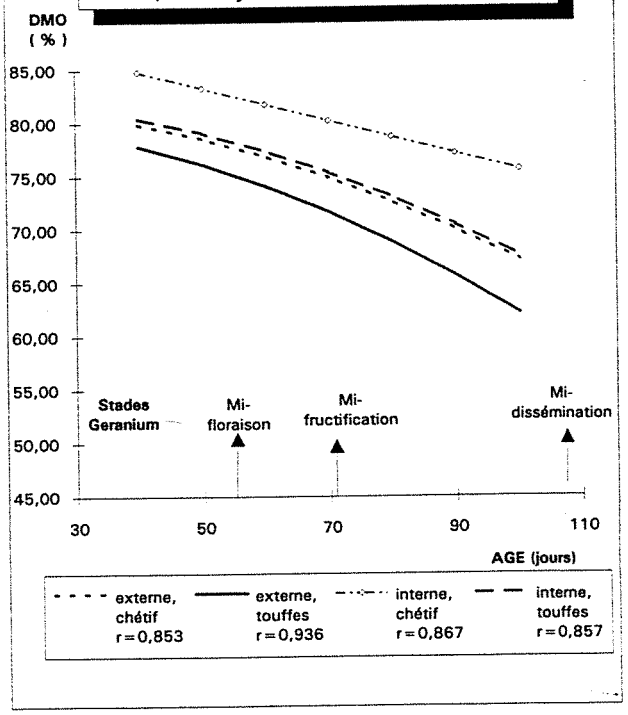


Figure 2-25 : Variations de la teneur en matières azotées totales de Festuca pratensis suivant sa physionomie : (vallées externes et internes) (valeurs ajustées en fonction de l'âge)

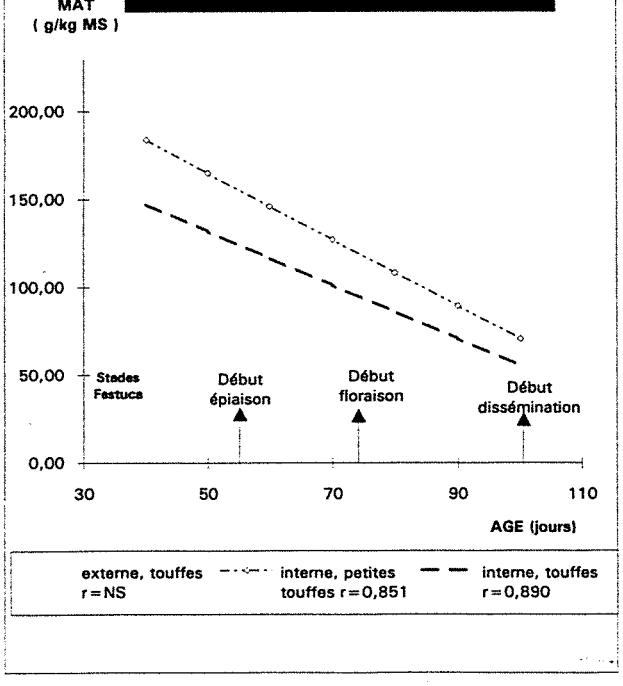
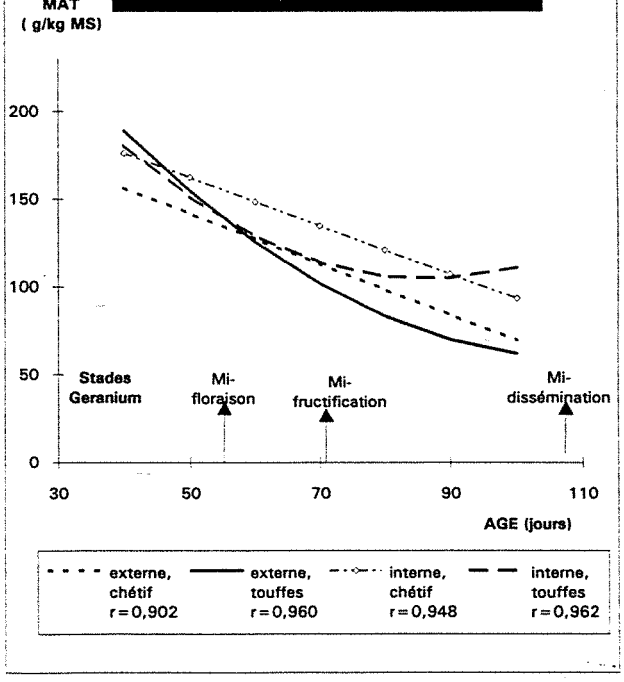


Figure 2-26 : Variations de la teneur en matières azotées totales de Geranium sylvaticum suivant sa physionomie : (vallées externes et internes) (valeurs ajustées en fonction de l'âge)



explique les variations de DMO de ces talles. C'est une variable composée qui intègre l'évolution de la dynamique de croissance et de sénescence des organes (modifications du rapport feuilles/tiges, mortalité des limbes inférieurs) et les modifications histologiques qui peuvent les affecter. Les phénomènes de dilution de l'azote et la mortalité plus ou moins intense des feuilles inférieures des tiges expliquent les variations de teneur en MAT.

Pour les talles herbacées, l'impact des conditions de croissance est plus marqué : ils sont en strate inférieure, donc soumis à des différences d'éclairement plus fortes suivant le type physionomique. Une sénescence et un étiolement plus faible, une moindre dilution de l'azote dans la matière sèche, expliqueraient ainsi les teneurs en MAT plus fortes dans les formes chétives. L'effet positif sur la DMO des températures faibles et du climat plus sec (DEINUM, 1984 ; DURU, 1993) des vallées internes est net pour les talles herbacées.

3 - Conséquences des variations physionomiques des autres espèces sur leur valeur nutritive

Pour les autres espèces que nous avons étudiées dans les Alpes du Nord (*Festuca pratensis, Bromus erectus, Geranium sylvaticum, Anthriscus sylvestris, Polygonum bistorta*), **les variations intraspécifiques de valeur nutritive s'interprètent, à âge égal, comme pour *Dactylis*, par des changements de structure et de composition morphologique** (tableau 2-14).

Les espèces adoptant un port en touffes et ayant un taux de tiges plus élevé dans les situations de nutrition élevée ont un comportement très proche de *Dactylis* : *Festuca pratensis* et *Geranium sylvaticum*. Les physionomies en touffes ont, durant le premier cycle, une DMO en moyenne plus faible et chutant plus rapidement que les formes chétives (figures 2-23 et 2-24). La différence entre vallées externes et internes est également toujours présente. Pour *Geranium sylvaticum* comme pour *Dactylis*, les tiges reproductrices n'ont pas une DMO significativement différente suivant le type physionomique (tableau 2-15). Les feuilles radicales des individus chétifs de *Geranium sylvaticum* sont plus digestibles que celles des touffes. Le diamètre et la taille des pétioles, plus grands dans les formes en touffes (tableau 2-9) explique sans doute cette constatation.

Pour les teneurs en MAT (figure 2-25 et 2-26), les phénomènes sont plus complexes compte tenu de la dilution de l'azote. La prise en compte de la variabilité intraspécifique par la physionomie et le cadre climatique n'est pas significative pour *Festuca pratensis* alors qu'elle l'est pour *Geranium sylvaticum*.

Pour *Anthriscus sylvestris*, les variations de DMO en fonction de la physionomie sont significatives, mais faibles (de l'ordre de 1% de DMO), ce qui est logique compte tenu des modifications minimes de taux de tiges observées d'une forme à l'autre (tableau 2-9).

Pour *Bromus erectus* et *Polygonum bistorta*, les variations des taux de tiges en fonction de la physionomie sont faibles mais les effectifs étudiés sont peu nombreux. Les variations de DMO sont de faible amplitude et non significatives.

Tableau 2-15 : Analyse de covariance de la DMO et de la MAT des tiges reproductrices et des feuilles radicales de *Geranium sylvaticum* en fonction de l'âge comme covariable et avec la physionomie comme populations (facteurs) (vallées internes)

(coefficients multiplicateurs des niveaux des facteurs et probabilités d'observer des valeurs égales à 0 au test de t)

	DMO		MAT	
	coef. multi-plicateur	proba. coef=0 (%)	coef. multi-plicateur	proba. coef=0 (%)
TIGES REPRODUCTRICES				
physionomie :				
• chétif	+3,0	5,8	+4,9	43,8
• touffes	0	.	0	.
FEUILLES RADICALES				
physionomie :				
• chétif	+5,3	0,03	+3,6	54,1
• touffes	0	.	0	.

Tableau 2-16 : Part de variation de la DMO et de la MAT expliquée pour différentes structurations de l'échantillon des vallées internes de *Dactylis* et *Festuca pratensis* en populations

	DMO : variation expliquée (%)	MAT : variation expliquée (%)
1 population : *Dactylis* et *Festuca pratensis* réunis	58	74
2 populations : *Dactylis* et *Festuca pratensis* séparés	59 (NS)	74 (NS)
3 populations : chétif, petites touffes, touffes (*Dactylis* et *Festuca pratensis* réunis)	80 (HS)	78 (NS)

signification du gain de variation expliquée par rapport à l'hypothèse d'une seule population :
HS : significatif au seuil 1% du test de F, S : significatif au seuil 5 %, NS : non significatif au seuil 5 %.

Les modèles sont de la forme :

Y= DMO ou MAT suivant la colonne

Y= aAGE+b ou Y= aAGE+cAGE²+b

(seuil d'introduction des variables : 5% au test de F)

avec AGE = nombre de jours depuis le stade début épiaison de *Dactylis* ou de *Festuca pratensis.*

Figure 2-27 : Variations de la digestibilité de Dactylis et Festuca pratensis en fonction de leur physionomie (vallées internes, année 1990).

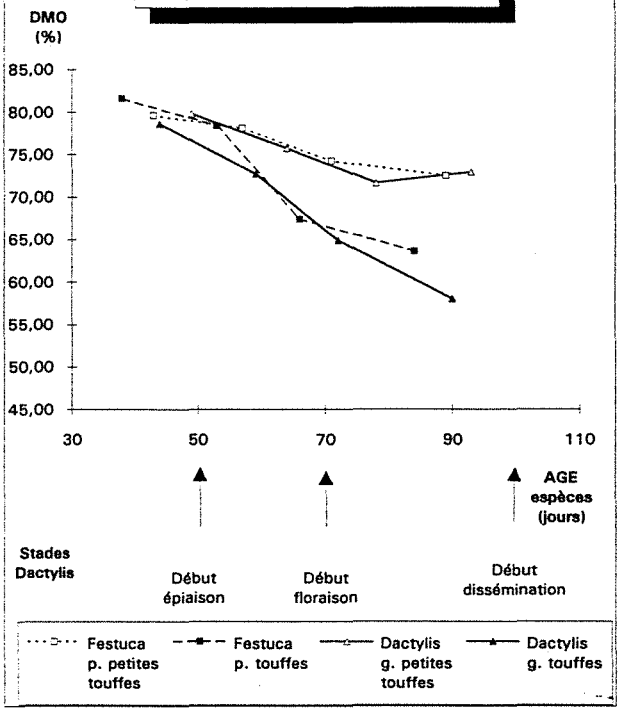
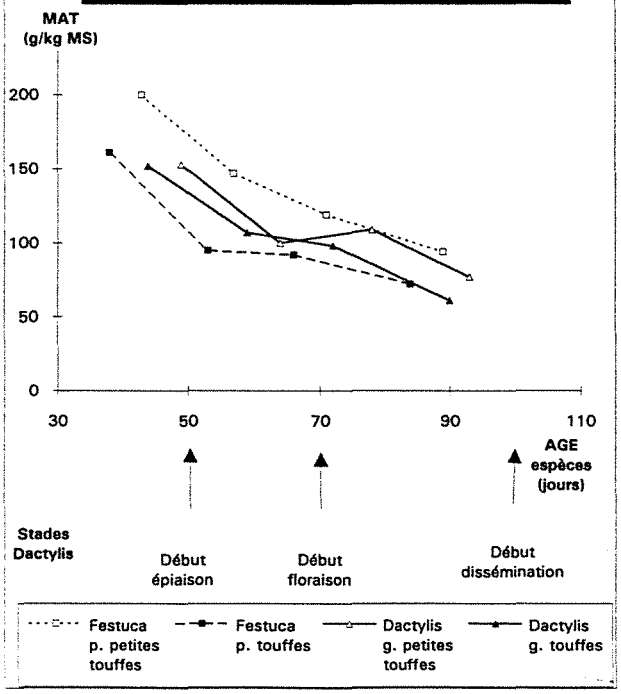


Figure 2-28 Variations de la teneur en matières azotées totales de Dactylis et Festuca pratensis en fonction de leur physionomie (vallées internes, année 1990).



4 - Synthèse : convergences entre espèces

Les résultats précédents montrent des tendances convergentes entre certaines espèces, ce qui traduit une stratégie adaptative aux conditions de l'environnement commune. Les graminées et dicotylédones pérennes, capables de former des touffes (*Dactylis*, *Festuca pratensis*, *Geranium sylvaticum*, *Bromus erectus*) ont une morphologie en rapport avec leur stratégie d'expansion verticale en cas de situation de forte compétition pour la lumière et de milieu riche : forte expression de la structure en touffes, organes plus grands et surtout taux de talles reproductrices plus élevé. Cela entraîne une sénescence plus forte des feuilles inférieures. Les conséquences sont importantes sur la valeur nutritive durant le premier cycle. Par rapport aux formes chétives qui poussent dans les situations peu fertilisées, nous observons :

- une chute systématiquement plus rapide de la DMO,
- assez souvent, une baisse plus rapide ou des niveaux plus faibles de teneurs en MAT.

Ces variations intraspécifiques sont importantes, au point qu'elles peuvent entraîner des comportements similaires pour des espèces différentes, mais poussant dans des conditions semblables. Ainsi, pour les deux graminées à feuilles larges capables de former des touffes (*Dactylis* et *Festuca pratensis*), les variations de DMO et de MAT sont plus liées à la physionomie et à ses conséquences morphologiques qu'à l'espèce (tableau 2-16). Pour la DMO, sur l'échantillon de *Dactylis* et de *Festuca pratensis* des vallées internes, si nous faisons trois populations, c'est à dire une par physionomie indépendamment de l'espèce, la variation expliquée est de 80%. Si nous essayons d'expliquer les variations de DMO par la prise en compte de l'espèce, c'est à dire si nous faisons une population de *Dactylis* et une population de *Festuca pratensis*, la variation de DMO expliquée est de 59%. Cette valeur est très proche et non significativement différente du chiffre de 58% obtenu en considérant une seule population : physionomies et espèces mélangées. Les résultats obtenus pour la MAT sont similaires, mais bien que la physionomie ait une valeur explicative des variations plus satisfaisante que l'espèce, le gain n'est pas significatif.

Les figures 2-27 pour la DMO et 2-28 pour la MAT illustrent ces convergences de comportement entre *Dactylis* et *Festuca pratensis*. Les évolutions, durant le premier cycle, de la DMO de *Dactylis* et *Festuca pratensis* en touffes sont très similaires et nettement différentes de celles de *Dactylis* et *Festuca pratensis* en petites touffes.

Nous avons vérifié ce phénomène de convergence entre espèces poussant dans des conditions homogènes et ayant alors la même structure. Pour cela, nous avons suivi l'évolution de la valeur nutritive de différents éléments d'une même végétation. Il s'agit d'une repousse après pâture de printemps contenant quelques épis. Dans cette station, il y a quatre espèces en touffes : *Dactylis*, *Festuca arundinacea*, *Phleum pratense*et *Lolium perenne*. Cette dernière espèce forme des touffes plus petites que les précédentes. Dans les espaces entre les touffes, pousse un tapis de graminées à feuilles moyennes, de *Trifolium repens* et de *Taraxacum officinale*. *Poa trivialis* est la graminée la plus abondante du tapis, mais *Dactylis* et *Lolium perenne* s'y rencontrent aussi par petits groupes de talles.

La figure 2-29 pour la DMO et 2-30 pour la MAT présentent l'évolution de la valeur nutritive de ces différents éléments structuraux. Nous retrouvons la similarité de comportement des touffes, quelle que soit l'espèce, par opposition à l'ensemble du tapis. Les touffes ont une DMO, assez voisine d'une espèce à l'autre, systématiquement plus faible que le tapis.

figure 2-29 : **Variations de la DMO des éléments structuraux dans une végétation à touffes de graminées à feuilles larges et tapis de graminées à feuilles moyennes**

(repousse avec quelques épis après pâture de printemps)

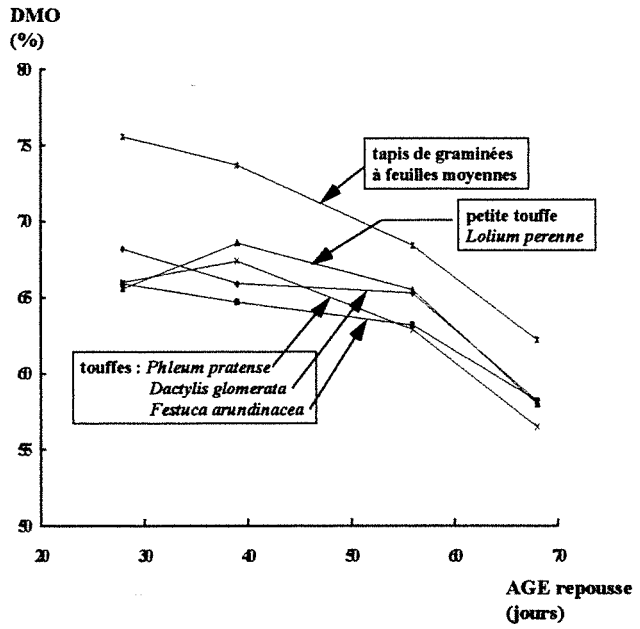
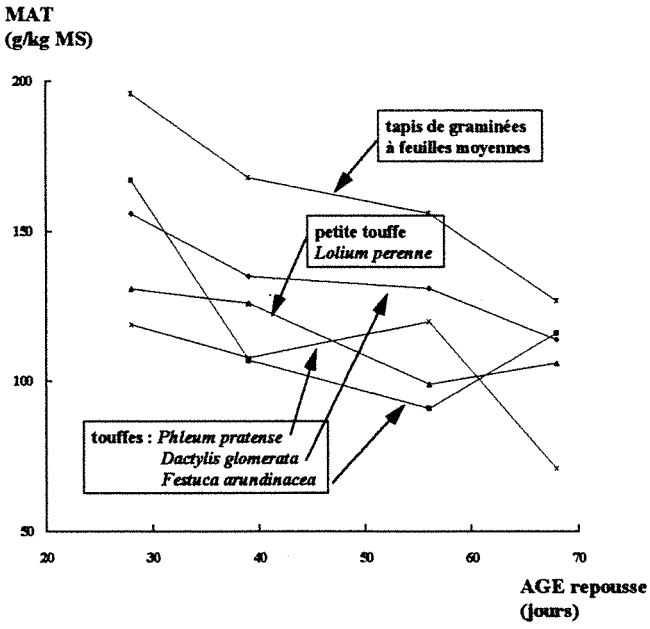


figure 2-30 : **Variations de la MAT des éléments structuraux dans une végétation à touffes de graminées à feuilles larges et tapis de graminées à feuilles moyennes**

(repousse avec quelques épis après pâture de printemps)



De nombreuses espèces, que nous n'avons pas étudiées, présentent des modifications de structure et de morphologie sous l'influence des conditions écologiques. En voici quelques exemples dans les prairies de fauche :

- *Poa trivialis*, en individus isolés dans les situations de nutrition moyenne, forme des taches monospécifiques, souvent interstitielles entre des touffes d'autres espèces, dans les stations riches,
- *Agropyron repens, Agrostis capillaris* en individus isolés ou en taches monospécifiques,
- *Phleum pratense, Rumex acetosa, Gallium mollugo, Heracleum sphondylium* en individus isolés, en petites touffes ou en grosses touffes suivant le niveau de nutrition et le stade de fauche,
- *Trisetum flavescens* en individus isolés ou en petites touffes,
- *Arrhenatherum elatius, Rumex obtusifolius* en petites ou en grosses touffes,
- *Ranunculus acris, Astrantia major,* en individus isolés ou en taches monospécifiques,
- *Taraxacum officinale, Plantago lanceolata, Leontodon sp* en rosettes à feuilles plus ou moins plaquées au sol et, soit en individus isolés soit en taches monospécifiques ou peu diversifiées.

Dans la suite de cette partie nous prenons en compte ces phénomènes de convergence, non pas comme précédemment, en faisant une analyse des variations intraspécifiques, mais en travaillant directement à l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues. **En effet, si les variations intraspécifiques suggèrent de subdiviser certaines espèces pour traduire les propriétés agronomiques, les convergences observées ouvrent une voie différente : un diagnostic sur la base de similitudes physionomiques d'individus pouvant appartenir à des espèces différentes.** Nous avons montré, pour quelques espèces, que ces parentés de forme ont un sens biologique et écologique. Elles traduisent un même type de réaction aux conditions de l'environnement et elles ont des conséquences agronomiques.

Avant d'aborder une évaluation directe à l'échelle de la communauté, nous nous intéressons aux conséquences des variations intraspécifiques sur l'appétibilité au pâturage.

B) DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET APPETIBILITE DANS LES PRAIRIES PATUREES

Au sein d'une même espèce, les différences d'agrégation des brins d'herbe peuvent avoir des conséquences importantes en matière d'appétibilité pour les animaux. Pour illustrer cette variabilité intraspécifique nous présentons deux exemples : celui de *Festuca arundinacea* et celui de *Bromus erectus.*

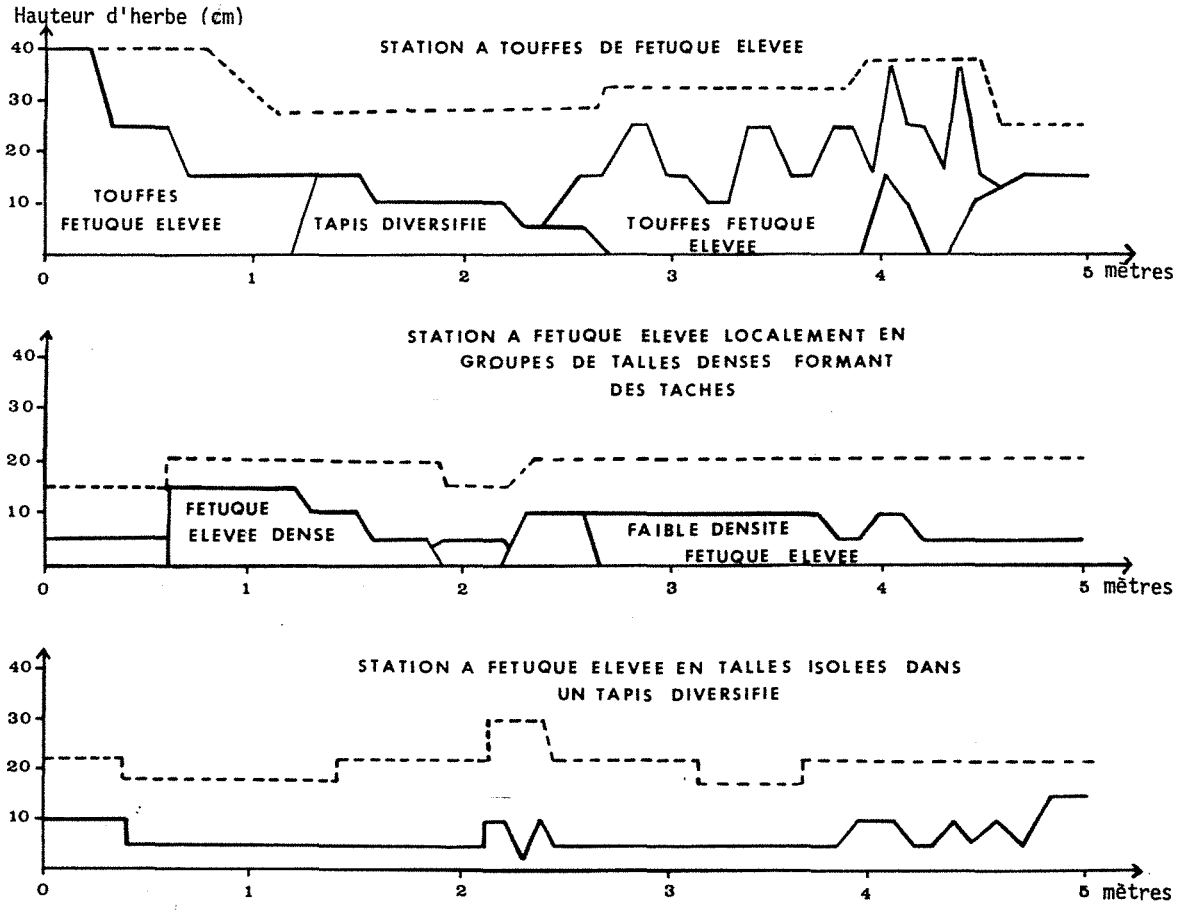
1 - Variations d'appétibilité des espèces suivant leur physionomie

A) LE CAS DE FESTUCA ARUNDINACEA

Les trois stations étudiées comprennent un fort taux de *Festuca arundinacea* (20 à 30% de la contribution spécifique). Sur des repousses feuillues âgées de six semaines, les différences de

Figure 2-31 : Appétibilité au pâturage et sociabilité des talles de *Festuca arundinacea*

Pâture par des vaches laitières sur des repousses feuillues âgées de six semaines.
En pointillé, la hauteur d'herbe avant pâture ; en trait continu, la hauteur après pâture.



hauteur d'herbe, avant et après pâture par des vaches laitières, sont variables suivant la sociabilité et la place dans le couvert de *Festuca arundinacea* (figure 2-31) :

- en grosses touffes, elle est refusée mais ne gêne pas la consommation du tapis voisin, celui-ci n'étant pas recouvert par les feuilles de *Festuca arundinacea*,
- dispersée dans un tapis régulier et diversifié, *Festuca arundinacea* est consommée comme ses voisines,
- en petites touffes regroupées sur des petites surfaces de 1 à 2 m², les feuilles de *Festuca arundinacea* recouvrent les autres espèces du tapis auquel elle appartient et limitent la consommation de l'ensemble du tapis.

L'agencement des talles de *Festuca arundinacea* dépend des modalités de pâture : la forme en touffes est favorisée par des coupes (par la fauche ou la défoliation par l'animal) moins fréquentes et plus tardives et par les déjections ou la fertilisation. On l'observe souvent à proximité des reposoirs, en compagnie d'autres espèces présentant la même réaction physionomique. La forme en petites touffes groupées se rencontre dans les stations de niveau trophique élevé et subissant une défoliation fréquente. La forme dispersée dans un tapis pluri-spécifique est aussi liée à un taux de défoliation important mais dans des conditions de nutrition moins favorables.

B) Le cas de *Bromus erectus*

Pour *Bromus erectus* (figure 2-32), nous avons observé trois formes physionomiques différentes dans une même station :

- en talles isolées dans un tapis plurispécifique ras à petites rosettes,
- en petites touffes de 5 à 10 cm de diamètre,
- en grosses touffes de 20 à 30 cm de diamètre.

Touffes et petites touffes parsèment le tapis. Les observations ont eu lieu en mai dans un pâturage libre, les génisses ont séjourné 4 semaines sur la parcelle. A ce stade, *Bromus erectus* est en épiaison. Les épis (non représentés sur la figure 2-32) sont plus abondants pour les touffes et à un moindre degré pour les petites touffes, que pour les individus isolés de *Bromus erectus.* Autour des touffes de *Bromus erectus*, il subsiste des organes morts abondants dont l'origine remonte à l'année précédente. Les petites touffes de *Bromus erectus* et le tapis plurispécifique n'ont pas cette sénescence.

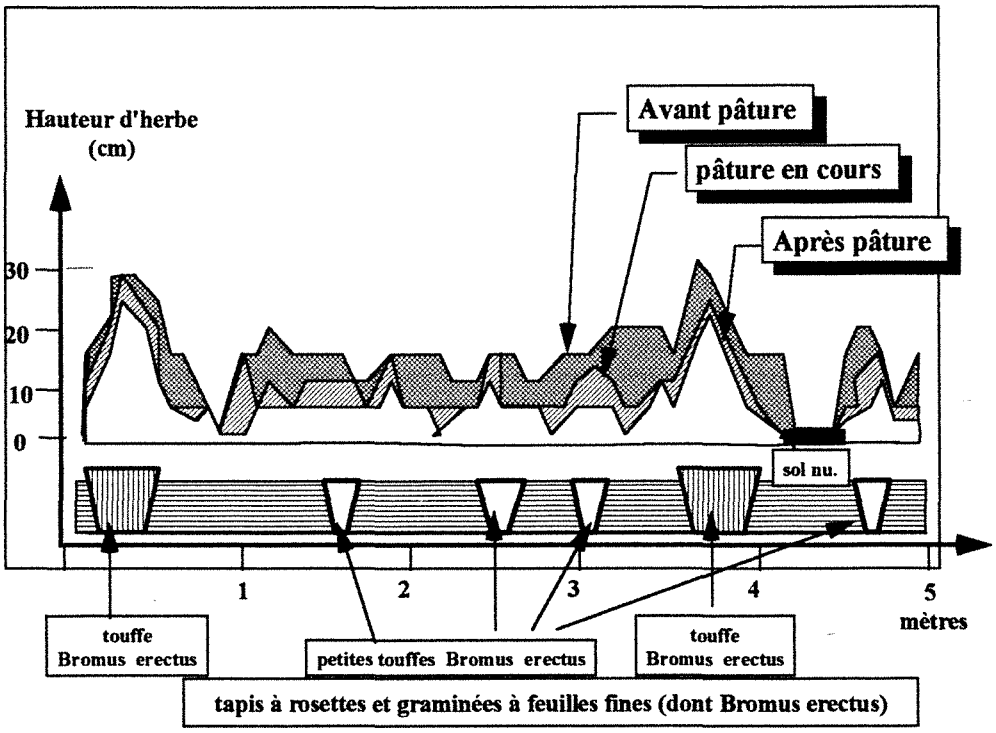
Nous avons fait trois comptages : un juste avant la pâture, un après 10 jours de pâturage et un après la sortie des animaux. Ces trois observations montrent le comportement sélectif des animaux.

En début de pâture, ils consomment le tapis plurispécifique, toutes espèces et tous organes confondus. Les intrications entre brins d'herbe ne permettent pas de tri et les différences morphologiques sont faibles : seules quelques petites tiges isolées de *Bromus erectus* et de quelques autres graminées se distinguent d'une strate herbacée verte et homogène. Les petites touffes de *Bromus erectus* sont peu choisies et les grosses toufffes sont délaissées.

En fin de pâture, les animaux ont terminé la consommation du tapis, qui est moins haut que lors de l'observation intermédiaire. Ils ont de plus consommé une proportion importante des

Figure 2-32 : Appétibilité au pâturage et mode d'agrégation des brins d'herbe dans la végétation

**Végétation à tapis à rosettes et graminées à feuilles fines :
talles de Bromus erectus selon trois sociabilités :
en touffes, en petites touffes et isolées dans le tapis à rosettes.
(histogrammes des hauteurs d'herbe avant, pendant et après pâture)**



petites touffes de *Bromus erectus*, alors que les grosses touffes sont refusées, sauf quelques extrémités de feuilles et inflorescences. A ce sujet, nous avons remarqué que tous les animaux du troupeau consomment le tapis, mais que seuls un ou deux individus s'intéressent aux inflorescences des touffes de *Bromus erectus*.

Ainsi, sur une même station, les taux de consommation d'une espèce sont différents. Cette sélection intraspécifique maintient et renforce une différenciation structurale dont l'origine peut-être liée à un événement aléatoire. *Bromus erectus* est une espèce qui forme des grosses touffes dans des situations de nutrition favorable et de taux de défoliation modéré. Ces conditions sont remplies en prairies pâturées dans les cas suivants :

- dans une zone de refus autour de bouses,
- sur une fourmilière,
- sur les bordures inférieures des chemins dans les stations en pente forte (plus de 30% de pente).

Ces perturbations peuvent être à l'origine de la formation de touffes, mais celles-ci se maintiennent ensuite par l'environnement spécifique qu'elles créent autour d'elles : de faible appétibilité, elle sont peu défoliées et les éléments nutritifs sont peu exportés de la zone d'influence des racines. Ainsi, dans notre station d'observation, ce n'est pas l'origine des touffes de *Bromus erectus* (bouse, fourmilière ou autre perturbation) qui explique leur non consommation, mais bien la structure et la morphologie de la touffe elle-même. En effet, il n' y avait pas au moment des mesures de traces de bouse ou de fourmilière dans les touffes . La pérennisation d'une structure de végétation à la suite d'une micro-perturbation telle que nous l'avons décrite dans cette station s'explique aussi par la faiblesse des chargements animaux qui y sont pratiqués : 4 à 6 génisses de 1 à 2 ans pendant 4 semaines au printemps et 3 semaines à l'automne pour une surface de 3 hectares.

C) VARIABILITE D'APPETIBILITE DE QUELQUES ESPECES SELON LEUR PHYSIONOMIE

D'autres espèces, que nous n'avons pas représentées, ont une physionomie variable selon les conditions. Nous avons observé les conséquences de ces variations sur l'appétibilité dans des pâtures de vaches laitières conduites en pâturage rationné avec avancée quotidienne du fil.

Poa trivialis et *Agrostis capillaris* ont été observés soit en mélange dans un tapis plurispécifique, soit en taches monospécifiques. Dans ce dernier cas, la sénescence est plus forte, il y a un développement important, surtout pour *Agrostis capillaris*, des organes de multiplication végétative qui forment un réseau dense, d'aspect rude, jaune, généralement peu consommé par les animaux. Ces formes se rencontrent dans des situations favorables à l'expansion latérale de ces deux espèces : ouverture de la végétation, par piétinement par exemple, en conditions de nutrition minérale et hydrique satisfaisantes.

Agropyron repens a un comportement similaire, dans des régimes trophiques plus riches encore. En taches monospécifiques il est très souvent refusé, pour différents niveaux de chargement, alors que dispersé dans un tapis plurispécifique sa consommation n'est pas négligeable, même si elle est très variable.

Figure 2-33 : **Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert.**

Végétation à tapis de graminées à feuilles moyennes, Trifolium repens et petites touffes de Dactylis , herbe feuillue et jeune , sans sénescence , pas de différence morphologique entre éléments

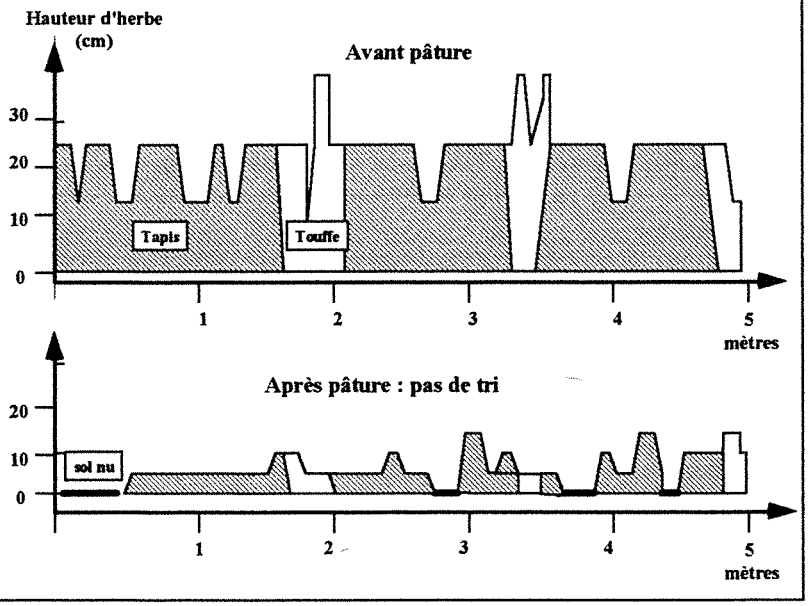
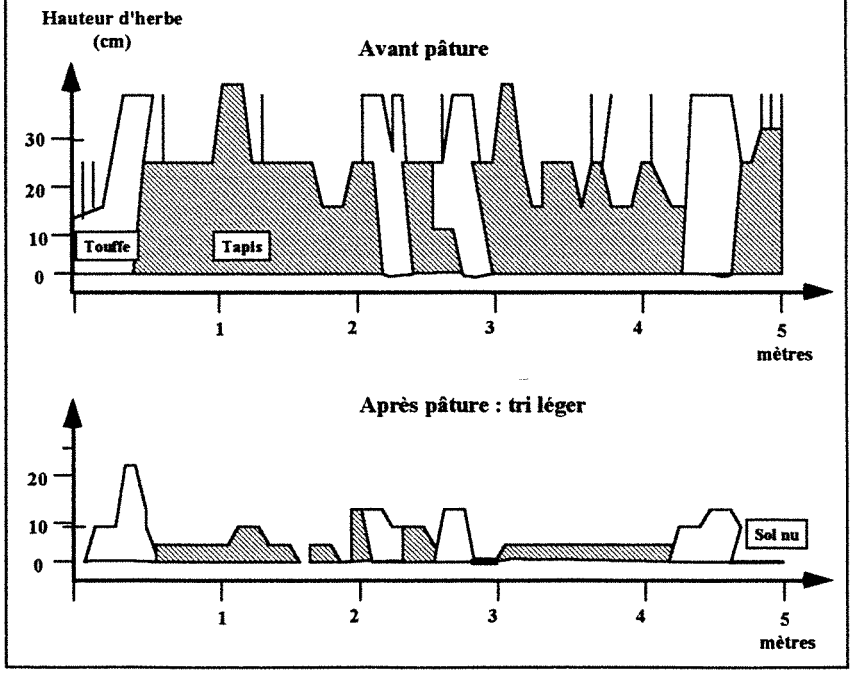


Figure 2-34 : **Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert.**

Végétation à tapis de graminées à feuilles moyennes et larges, Taraxacum officinale et touffes de Dactylis, quelques tiges, herbe un peu âgée et faible sénescence , les touffes sont plus sénescentes et denses que le tapis



Pour les dicotylédones, ayant la même stratégie qu'*Agropyron repens* ("ruderals-competitors" (GRIME, 1979)) et également pourvues de dispositifs efficaces de multiplication végétative (*Ranunculus repens* et *Aegopodium podagraria*) les conséquences sont analogues. En feuilles isolées dans un tapis, elles sont consommées sans être distinguées des espèces qui les accompagnent. En taches monospécifiques elles sont souvent évitées. Ces taches monospécifiques ne constituent pas systématiquement des refus après pâture, mais elles sont alors choisies en second lieu, après les autres éléments structuraux de la végétation (tapis à graminées à feuilles moyennes et *Trifolium repens* par exemple).

Phleum pratense, peut former des touffes ou des petites taches d'épiaison tardive créant dans les prairies des "moutons "mal consommés. Cette épiaison décalée, par rapport aux autres graminées, rend la maîtrise des épis très difficile. Cette forme en touffe de *Phleum pratense*, rencontrée en conditions de nutrition favorable et de faible taux de défoliation durant la période estivale, limite la consommation des espèces qui peuvent lui être associées (*Festuca rubra*, *Trifolium repens* par exemple).

2 - Structure de la végétation et consommation au pâturage

Dans ce paragraphe, nous nous intéressons à des réponses "moyennes" du comportement alimentaire de bovins à la physionomie de la végétation. Nous présentons des tendances en précisant le type de conduite du pâturage et la saison, mais nous ne faisons pas intervenir les comportements individuels des animaux, qui sont hétérogènes (LECRIVAIN, 1988). La comparaison des états de végétation, juste avant la pâture et après le passage de l'ensemble du troupeau, permet d'analyser les conséquences de la structure de la végétation sur le tri des animaux.

Nous étudions 4 niveaux différents d'influence de la sociabilité et de la morphologie de la végétation sur la consommation au pâturage :

1. l'homogénéité morphologique des différents éléments structuraux n'entraine pas de tri (figure 2-33),
2. les éléments structuraux ont une morphologie faiblement différenciée, il y a un tri léger entre éléments (figure 2-34),
3. les éléments structuraux sont différenciés, leur mode de répartition permet le tri (figure 2-35),
4. les éléments structuraux ont une morphologie très différente, mais leur intrication selon un plan vertical ne permet pas le tri et l'ensemble de la végétation est délaissée (figure 2-36).

A) HOMOGENEITE MORPHOLOGIQUE ENTRE ELEMENTS STRUCTURAUX

La végétation est composée d'un tapis de graminées à feuilles moyennes (*Lolium perenne*, *Poa trivialis*, *Dactylis*), de *Trifolium repens* vigoureux et de *Taraxacum officinale*. Ce tapis est parsemé de petites touffes de *Dactylis* d'un diamètre de 10 cm environ (figure 2-33). Au moment de la troisième pâture, en août, l'herbe âgée de 4 semaines a une hauteur de l'ordre de 20 cm, elle est feuillue et sans sénescence.

Après un pâturage rationné de vaches laitières de 4 jours, nous observons une hauteur résiduelle régulière, sans tri entre éléments structuraux ni entre espèces dans le tapis : touffes et tapis sont consommés indifféremment. A ce stade de pâture, il n'y a pas d'hétérogénéité

Figure 2-35 : **Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert.**

Végétation à tapis de graminées à feuilles moyennes, et touffes de Dactylis, herbe feuillue et âgée, sénescence notable, les touffes sont plus hautes et plus sénescentes que le tapis

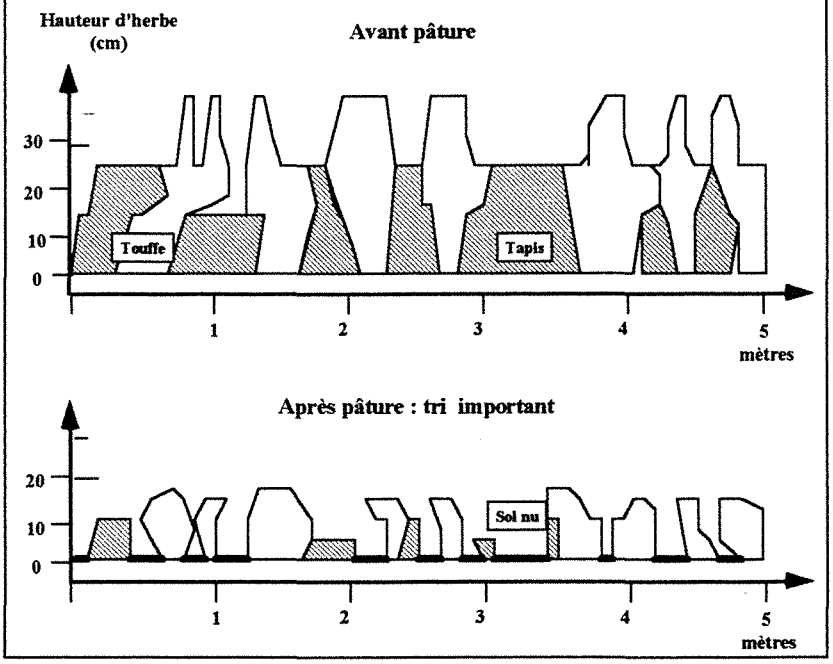
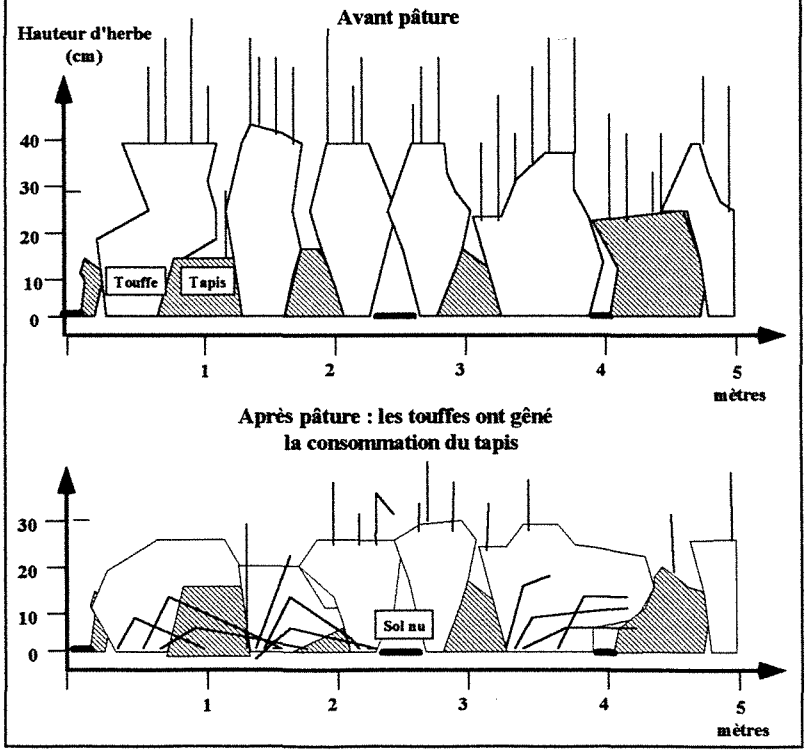


Figure 2-36 : **Appétibilité au pâturage et variations morphologiques entre éléments structuraux du couvert.**

Végétation à tapis de graminées à feuilles moyennes, et touffes de Dactylis tiges nombreuses, herbe haute et âgée, les touffes sont plus riches en tiges et plus hautes que le tapis



morphologique entre éléments structuraux et le mode d'agrégation des brins d'herbe n'a pas d'influence sur les choix des animaux.

B) LEGERE HETEROGENEITE MORPHOLOGIQUE ENTRE ELEMENTS STRUCTURAUX

La végétation est composée d'un tapis de graminées à feuilles moyennes et larges (*Dactylis, Festuca pratensis, Poa trivialis*) et de *Taraxacum officinale*. Ce tapis entoure des touffes de graminées à feuilles larges en particulier de *Dactylis* mais aussi de quelques *Festuca pratensis* (figure 2-34). Au moment de la troisième pâture, en août, l'herbe âgée de 5 semaines a une hauteur d'environ 25 cm pour la majorité du tapis, et de 30 à 35 cm pour les touffes. Il y a quelques feuilles sénescentes en strate inférieure et quelques tiges qui correspondent à la fois à des épis remontants et à des refus des pâtures précédentes. La répartition des tiges et des organes sénescents n'est pas aléatoire : ils se concentrent dans les touffes et dans les parties les plus hautes du tapis.

Le pâturage des vaches laitières est rationné, il dure 4 jours. Après celui-ci, nous observons un tri léger : seules les extrémités des feuilles des touffes ont été consommées alors que le tapis a été pâturé indifféremment, quelle que soit l'espèce. Les zones où les touffes (non figurées sur la figure 2-34) sont groupées en taches circulaires d'environ 1m de diamètre ne sont pas consommées, l'herbe est couchée par le passage des animaux et les bouses y sont plus abondantes. Les touffes groupées, les touffes isolées et le tapis n'ont pas subi la même pression de pâturage, mais à l'intérieur d'un élément structural le taux de consommation est homogène, quelle que soit l'espèce. Les espèces comme *Dactylis* et *Festuca pratensis* présentes dans le tapis et dans les touffes ont donc été différemment pâturées.

C) FORTE HETEROGENEITE MORPHOLOGIQUE ENTRE ELEMENTS STRUCTURAUX

La végétation est composée de touffes de graminées à feuilles larges (*Dactylis* essentiellement mais aussi *Festuca arundinacea* et *Phleum pratense*). Dans les interstices entre ces touffes pousse un tapis de graminées à feuilles moyennes (*Poa trivialis*) et de *Taraxacum officinale* (figure 2-35). Il s'agit d'une station en forte pente (40%) dans laquelle les touffes sont proéminentes. Au moment de la pâture, la repousse feuillue est âgée de 8 semaines. Le tapis a une hauteur de 20 cm environ et les touffes de 30 à 35cm. La sénescence est notable, particulièrement pour les touffes.

Le pâturage des vaches laitières est rationné, il a lieu en conditions humides et dure 3 jours. Après celui-ci, nous observons un tri important : le tapis est consommé et est également fortement ouvert par le piétinement, alors que les touffes sont délaissées. Compte tenu de la forme proéminente des touffes, celles-ci sont peu affectées par le piétinement, l'impact des pieds des animaux ayant lieu préférentiellement dans le tapis interstitiel. Dans cette situation de tri important il n'y a cependant pas eu tri à l'intérieur d'un élément structural, ni interférence entre éléments.

D) INTERACTION ENTRE ELEMENTS STRUCTURAUX HETEROGENES

La végétation est à dominante de touffes de *Dactylis*, le tapis interstitiel à graminées à feuilles moyennes (*Poa trivialis, Agrostis capillaris*) se trouve en strate inférieure sous les longues feuilles des touffes (figure 2-36). Au moment de la pâture, après l'épiaison des graminées,

dans le premier cycle, le tapis contient quelques tiges pour une hauteur de 15 cm environ. Les touffes de 35 à 40 cm de haut pour les feuilles, sont très riches en grosses tiges et présentent une sénescence importante dans leur partie inférieure. Cette végétation se trouve dans une grande parcelle, au voisinage d'autres végétations plus rases et moins riches en tiges. Certaines en particulier sont composées d'un tapis à graminées à feuilles moyennes ressemblant au tapis interstitiel de cette station mais n'étant pas dominé par des touffes.

Lors d'un pâturage libre de génisses, qui a duré 4 semaines, celles-ci ont consommé préférentiellement les stations rases à tapis. Dans la station de mesure, elles ont refusé les touffes, n'en consommant que quelques feuilles de la strate supérieure et épointant quelques épis. Leur passage s'est traduit par le couchage de la végétation, les touffes ont joué un effet protecteur sur le tapis interstitiel, qui n'a pas non plus été consommé. Nous sommes dans une situation de fortes interactions entre éléments structuraux.

3 - Synthèse : le pâturage facteur de structuration de la végétation

Ces divers exemples dans les prairies pâturées, montrent la complexité des phénomènes de structuration de la végétation et de leur conséquences en matière d'utilisation par les animaux. L'agencement des espèces dépend des modalités de pâture et réciproquement, l'organisation du couvert, influe sur la consommation en déterminant les possibilités de tri des animaux.

A) STRUCTURATION DE LA VEGETATION

Dans une station, les taux de défoliation et de restitution sont différents suivant l'élément structural. Cette hétérogénéité crée, ou tout au moins entretient, une structuration de la végétation. Nous pouvons donc rencontrer sur une même station des végétations adaptées à des conditions de défoliation différentes : un tapis plurispécifique supportant effectivement une forte défoliation et des touffes, dont la structure et la composition morphologique leur permet d'éviter cette forte pression de coupe. Il n'est pas rare, pour certaines espèces plastiques, de les rencontrer au sein d'une seule station sous deux formes structurales différentes. Les deux types d'individus ont alors une morphologie très différente (taille des organes, taux de tiges, importance de la sénescence, ...) qui induit une appétibilité également très différente.

Comme dans les prairies de fauche, les touffes ont des propriétés communes. Le port en touffes traduit une stratégie d'occupation verticale de l'espace. Les conséquences en sont une sénescence accrue dans les strates inférieures, un taux d'épiaison plus fort et des individus de plus grande taille. La forme en touffe, généralement moins appétible que la forme en individu isolé de la même espèce, peut-être facilement évitée par les animaux.

Les taches monospécifiques, concernent des espèces stolonifères ou rhizomateuses, et révèlent une stratégie d'expansion horizontale. Là encore, ces éléments monospécifiques sont presque toujours moins bien consommés que les formes isolées dans un peuplement plurispécifique.

Une analyse plus fine des interactions entre structuration de la végétation et pâturage nécessiterait une quantification, au niveau de la talle ou du brin d'herbe, des processus de défoliation. Elle permettrait de différencier deux composantes du pâturage : l'intensité de la défoliation (profondeur de pâturage, obtenue par différence entre la hauteur étirée d'une talle

avant et après pâture) et la fréquence (nombre de défoliations par unité de temps). L'objectif serait d'analyser, pour différents modes de conduite et niveaux de chargement, des variations d'intensité et de fréquence de défoliation, entre tapis et touffes par exemple. Ce travail nécessiterait aussi la prise en compte de données morphologiques à l'échelle de la talle, comme sa hauteur totale et sa hauteur de gaine pour des individus d'une même espèce mais appartenant soit à une sociabilité en touffes soit en tapis.

Ainsi, WADE (1991), dans un pâturage rationné de *Lolium perenne* pour vaches laitières, démontre que l'épaisseur de la strate de limbes verts ne contenant pas de gaine détermine le point à partir duquel l'animal restreint son ingestion du fait de la difficulté de préhension de l'herbe. Il montre également, en situations de pâturage rationné et de pâturage continu, que le processus de défoliation d'une talle peut-être décrit par une succession de strates dont l'épaisseur correspond toujours à 0,35 de la hauteur de la talle défoliée. Ce résultat ne peut pas être extrapolé aux conditions plus complexes de la prairie permanente. Il permet cependant d'émettre l'hypothèse que les talles des touffes se caractérisent surtout par une fréquence de défoliation plus faible, mais que lorsqu'elles sont consommées, elle subissent une intensité de défoliation équivalente à celles des tapis (LEMAIRE, Com. pers.).

B) CONSEQUENCES SUR LA CONSOMMATION DE L'HERBE

La différenciation de la végétation en éléments structuraux se traduit par un tri d'impact (BALENT, 1987), plus ou moins important. L'importance de ce tri est liée à l'ampleur des différenciations morphologiques entre éléments structuraux (sénescence, densité herbe, taux de tiges, hauteur herbe ...). Cette sélection, à l'échelle de l'élément structural, très visible pour les bovins, est généralement plus marquée que les tris d'organes, au sein d'un même élément structural. Ceux-ci sont plus rares. Ils ne s'observent que dans certaines circonstances : à certains stades (au moment de l'épiaison), pour certaines espèces (tiges de *Ranunculus acris* par exemple) et ne concernent alors que certains organes (tiges en particulier), rarement des plantes entières .

D'autre part, le tri d'élément structural n'est pas seulement lié à la différenciation morphologique entre éléments. Certaines espèces ont un rôle particulier, du fait de leur appétibilité faible à nulle, tout au long de la saison de végétation. L'organisation des individus en touffes ou taches monospécifiques conditionne alors les possibilités de tri et leur taux de consommation. Par exemple *Geranium sylvaticum* et *Ranunculus acris* se rencontrent soit en feuilles isolées dans le tapis végétal, soit en grosses touffes pour *Geranium sylvaticum*, ou en taches monospécifiques pour *Ranunculus acris*. Les feuilles isolées sont consommées avec les autres espèces du tapis, alors que les agrégats monospécifiques faciles à éviter sont refusés. Les espèces compagnes favorisent la consommation de ces organes d'espèces facilement refusés. Ces dicotylédones sont riches en composés chimiques secondaires aromatiques ou toxiques (SCEHOVIC, 1988). La présence de ces métabolites secondaires est d'ailleurs souvent considérée comme une stratégie adaptative de dissuasion envers les herbivores (LEBRETON, 1982 ; FILY, 1990). Néanmoins, la structure du couvert végétal, au travers des possibilités de tri qu'elle détermine, conserve une influence sur leur taux de consommation.

L'effet peut-être inverse, des espèces appétibles (graminées, légumineuses), dans un état morphologique favorable, peuvent être refusées du fait de leur voisinage avec des espèces dans des états morphologiques peu appétibles (*Dactylis*, *Phleum pratense*épiés) ou avec des formes d'espèces peu consommées (*Geranium sylvaticum* en touffes, *Ranunculus acris* en taches, mais

Figure 2-37 : Variations du pourcentage de tiges en fonction du niveau de nutrition : ensemble de la communauté (premier cycle)

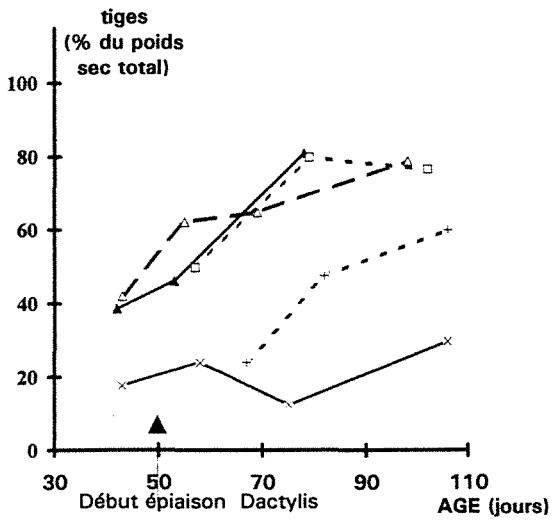
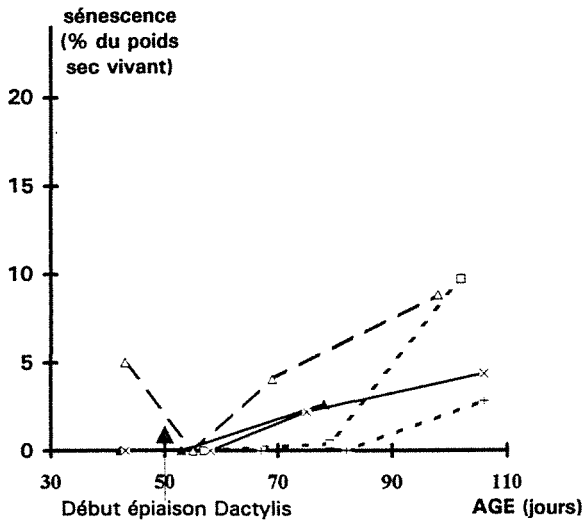


Figure 2-38 : Variations du taux de sénescence en fonction du niveau de nutrition : ensemble de la communauté (premier cycle)



fertilisation et contexte pédoclimatique

élevée, frais
élevée, mésophile
moyenne, mésophile
nulle, frais
nulle, sec

Figure 2-39 : Variations du pourcentage de tiges en fonction du niveau de nutrition : ensemble des graminées (premier cycle)

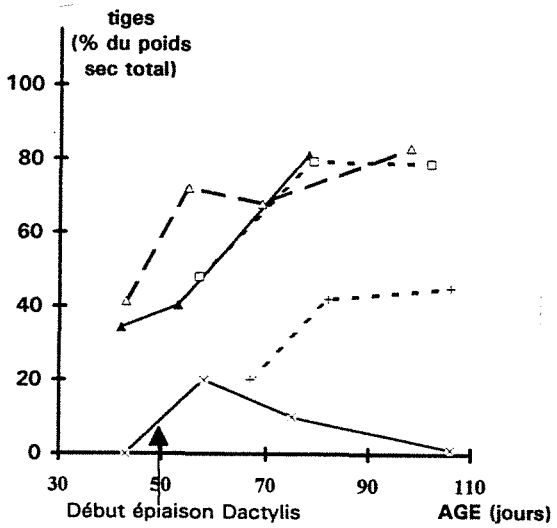
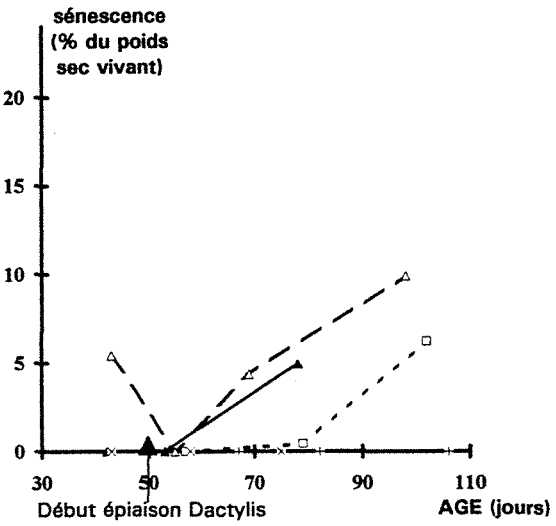


Figure 2-40 : Variations du taux de sénescence en fonction du niveau de nutrition : ensemble des graminées (premier cycle)



aussi *Astrantia major* en taches, *Gentiana lutea*en touffes), voire des espèces répulsives (*Mentha longifolia*).

C) CONSEQUENCES POUR L'OBSERVATION DE LA VEGETATION

Dans les prairies pâturées, la structuration de la végétation est donc encore plus marquante que dans les prairies de fauche. Son origine est plus complexe et ses effets sont très importants :

- en prairie de fauche, la structuration de la végétation est une réaction à l'action de facteurs écologiques homogènes, ou presque, à l'échelle de la station. En prairie pâturée, le comportement différencié des animaux induit en particulier un niveau de défoliation différent entre éléments de végétation. Les différenciations structurales sont renforcées,
- en prairie pâturée, l'architecture du couvert influe directement sur son niveau de consommation et ses caractéristiques en terme de souplesse d'utilisation. En prairie de fauche, cette architecture ne joue que de façon indirecte par le biais des modifications de morphologie, de valeur nutritive et de quantités récoltées qu'elle provoque. La fauche a un effet d'homogénéisation des fourrages et le mode d'agrégation des brins d'herbe n'a pas d'effet direct sur les aptitudes.

Dans les prairies pâturées, plus encore que dans les prairies de fauche, l'espèce végétale, mais aussi le brin d'herbe n'a pas en soi une valeur caractérisable vis à vis du comportement des animaux. Ce sont les interactions entre brins d'herbe, espèces et même entre éléments structuraux qui conditionnent leur consommation.

Pour cette raison, la mise en évidence des relations entre états de végétation et facteurs écologiques, dans la troisième partie, ne sera pas faite sur la base d'une caractérisation de la végétation comme une somme d'espèces et de brins d'herbe, mais comme un tout organisé en différents éléments structuraux.

C) DIAGNOSTIC DIRECT A L'ECHELLE DE LA COMMUNAUTE TOUTES ESPECES CONFONDUES

Dans les paragraphes précédents, nous avons montré qu'il existe chez certaines espèces des variations structurales et morphologiques ayant des conséquences importantes sur leur valeur nutritive et leur appétibilité. Ces variations sont en relation avec les conditions écologiques et elles sont convergentes entre certaines espèces. L'objectif de ce paragraphe est d'étudier, à l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues, si des variations morphologiques existent encore en fonction des conditions de l'environnement. Nous examinons également les relations entre morphologie globale de la végétation, production de matière sèche et valeur nutritive durant le premier cycle de végétation.

1 - Morphologie moyenne des communautés

Les résultats présentés dans les figures 2-37 et 2-38, à l'échelle de la communauté, vont dans le même sens que ceux obtenus pour les espèces. Dans les situations de forte croissance (indices de nutrition élevés), la végétation est plus riche en tiges et a, en fin de cycle, une sénescence plus forte que la végétation des stations maigres de nutrition faible. Néanmoins, les phénomènes sont plus complexes à interpréter que dans le cas des espèces. Une lecture plus

Figure 2-41 : Variations du pourcentage de tiges en fonction du niveau de nutrition : ensemble des dicotylédones (premier cycle)

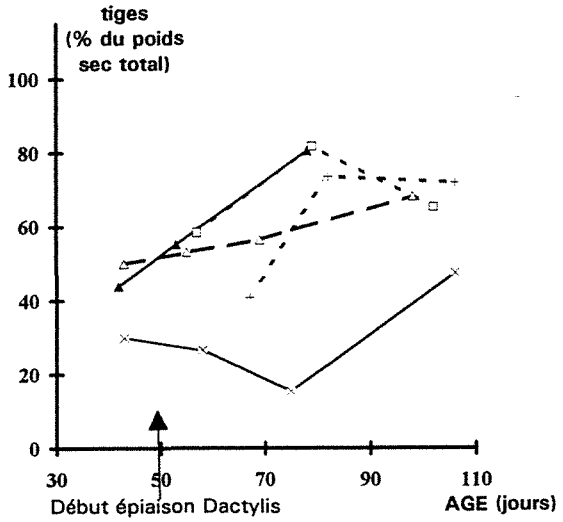
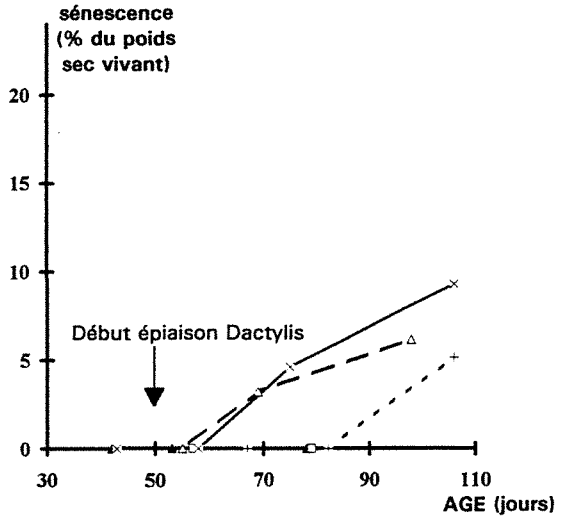


Figure 2-42 : Variations du taux de sénescence en fonction du niveau de nutrition : ensemble des dicotylédones (premier cycle)



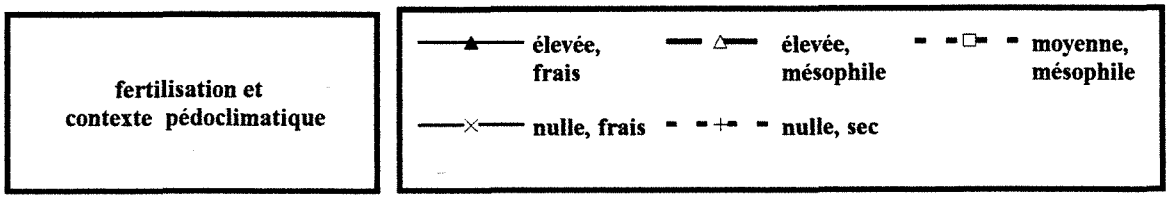


Tableau 2-17 : Taux de tiges en % du poids sec total pour différents éléments de la végétation de la station N°2

Fertilisation élevée et contexte pédoclimatique frais.
Stade début-fructification de *Dactylis glomerata*

Elément de la végétation	Tiges (% du poids sec total)
graminées :	83
• touffes *Dactylis*	• 83
• touffes *Festuca pratensis*	• 81
• graminées en tapis (*Dactylis, Festuca pratensis, Poa trivialis*)	• 83
dicotylédones :	68
• *Taraxacum officinale*	• 56
• touffes ombellifères (*Anthriscus sylvestris, Chaerophyllum aureum*)	• 71
• *Ranunculus acris*	• 63

fine des résultats est possible en comparant séparément les peuplements des graminées et des dicotylédones.

Pour les graminées, la répartition des taux de tiges et de sénescence selon un gradient de conditions trophiques, est très nette (figures 2-39 et 2-40). Cependant, les graminées de la prairie maigre de milieu sec ont un taux de tiges plus élevé que celles de la prairie maigre et fraîche. Il est possible de donner une interprétation de ce fait, en se référant aux différences de biologie et de stratégie adaptative entre les graminées de ces deux situations. Dans la prairie maigre sèche, la graminée dominante est *Bromus erectus*, espèce qui réagit à une augmentation de la nutrition par une expansion verticale forte et la production de grosses touffes. Cette stratégie verticale, même peu exprimée dans la prairie non fertilisée, où *Bromus erectus* est sous forme de petites touffes chétives, explique un taux de tiges assez important. Dans la prairie maigre et fraîche, les graminées dominantes sont *Agrostis capillaris* et *Festuca rubra* qui ont une stratégie d'expansion latérale et qui investissent donc moins dans la formation de tiges.

Pour les dicotylédones, la prise en compte des différentes stratégies d'adaptation a encore plus d'importance, surtout en matière de taux de tiges (figures 2-41 et 2-42). D'un point de vue taxinomique les dicotylédones sont une classe (*Magnolopsida*) et la variabilité est plus forte que chez les graminées qui sont une famille (*Poales*). Par exemple, dans la station N°2 de fertilisation élevée et de milieu mésophile, *Taraxacum officinale* avec ses grosses rosettes et sa floraison très précoce a un taux de tiges beaucoup plus faible que les ombellifères, qui ont une stratégie orientée vers la formation de tiges hautes, pour assurer leur production de graines (*Anthriscus sylvestris*) (tableau 2-17).

Il y a effectivement des phénomènes de convergence morphologique entre espèces. Il reste cependant des comportements différenciés qui traduisent la pluralité des stratégies adaptatives et des grands schémas d'organisation des végétaux : graminées compétitrices pérennes soit caespiteuse à expansion verticale, soit gazonnante à expansion latérale, dicotylédones compétitrices bisannuelles à grandes tiges, ... Ces types de stratégies sont génétiquement déterminés, mais il en existe un petit nombre, bien inférieur à celui des espèces (GRIME, 1979). **Malgré cette variabilité de relations entre conditions de croissance et morphologie, induite par l'existence de plusieurs types de stratégies et de schémas d'organisation des végétaux, il existe des différences perceptibles, à l'échelle de la communauté, de taux de tiges et de sénescence suivant le niveau de nutrition.**

2 - Morphologie de la végétation toutes espèces confondues et valeur d'usage

La matrice des corrélations (tableau 2-19) et le graphe des plans 1.2 de l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) (figure 2-43) mettent en évidence les liens forts qui existent entre fertilisation organique, morphologie et critères de la valeur d'usage. La fertilisation accroît la sénescence (SEN) et réduit la proportion d'organes herbacés (HERB). Le diagramme de l'AFCM montre une forme indiquant typiquement que le second axe est une fonction du premier (effet GUTTMAN). En fait, l'axe 2 précise l'axe 1 en isolant les situations fraîches qui reçoivent des fertilisations moyennes.

A l'extrémité négative de l'axe 1, on trouve groupées, donc liées, les modalités de variables suivantes : fertilisation élevée, régime hydrique moyen, taux de sénescence moyen, faible taux

Tableau 2-18 : Relations générales entre morphologie des végétations et valeur d'usage : codage et signification des variables

VARIABLES	TYPE ET EXPRESSION	CODE
Descripteurs écologiques :		
Fertilisation organique	(t ha^{-1} an^{-1})	FERT
Indice de régime hydrique	humidité pondérale du sol (%) en période sèche	PEDO
Morphologie de la végétation :		
Taux de sénescence	% dans la végétation à la fructification de *Dactylis*	SEN
Taux d'organes herbacés	% d'organes végétatifs au même stade (talles herbacées pour les graminées, feuilles radicales pour les dicotylédones)	HERB
Variation du taux d'organes herbacés	variation entre l'épiaison et la fructification de *Dactylis*	V. HERB
Critères de la valeur d'usage :		
Production de matière sèche	t ha^{-1} au stade fructification de *Dactylis*	MS
Teneur en matières azotées totales	g kg^{-1} MS au même stade	MAT
Digestibilité de la matière organique	% au même stade	DMO
Variation de la MAT	Variation entre l'épiaison et la fructification de	V. MAT
Variation de la DMO	*Dactylis*	V. DMO

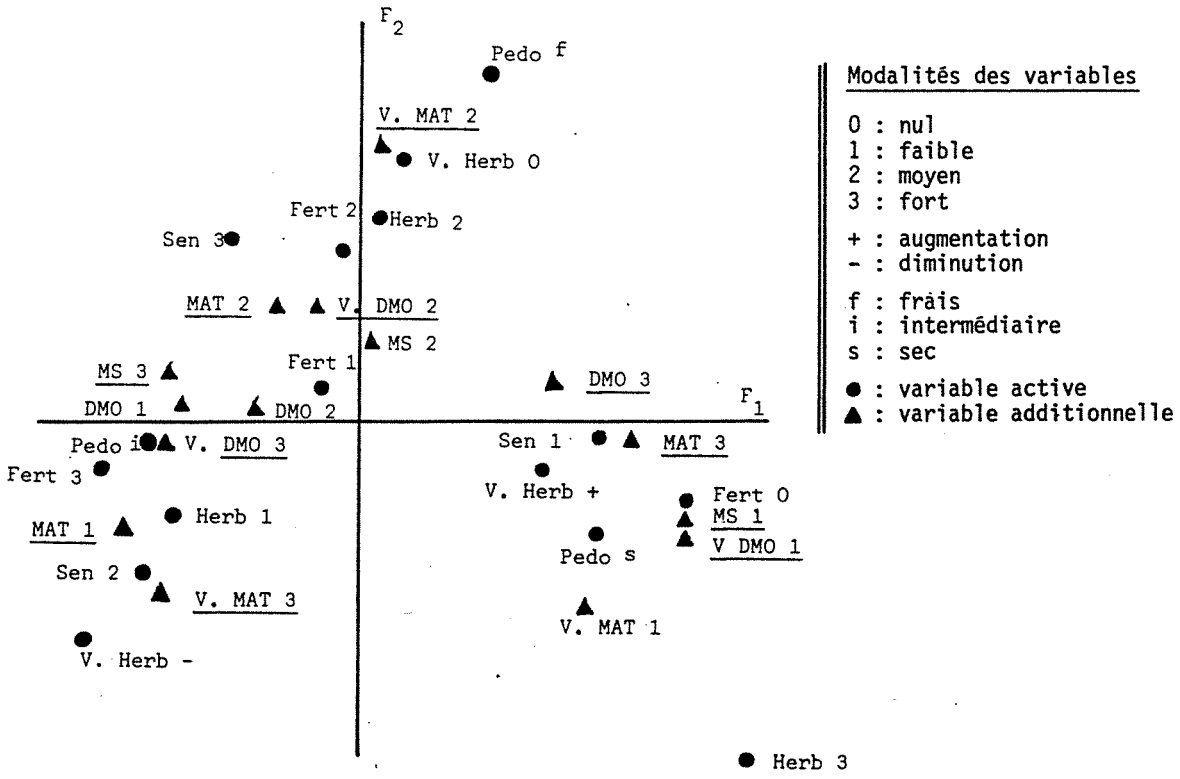
Tableau 2-19 : Matrice des corrélations entre facteurs écologiques, variables morphologiques et critères de la valeur d'usage
(n=12, r=0,58 pour p=0,05 et r=0,71 pour p=0,01)

	FERT	PEDO	SEN	HERB	V. HERB	MS	MAT	DMO	V. MAT	V. DMO
FERT	1,00									
PEDO	....	1,00								
SEN	0,77	....	1,00							
HERB	-0,73	....	....	1,00						
V. HERB	0,57	....	....	-0,84	1,00					
MS	0,95	....	0,82	-0,76	....	1,00				
MAT	-0,59	....	-0,60	0,81	....	-0,67	1,00			
DMO	....	....	....	....	....	....	0,82	1,00		
V. MAT	....	....	....	-0,73	0,82	....	....	....	1,00	
V. DMO	0,79	....	0,73	-0,71	....	0,78	-0,80	-0,80	....	1,00

Figure 2-43 : Morphologie de la végétation toutes espèces confondues et valeur d'usage dans les prairies de fauche.

Analyse factorielle des correspondances multiples

(plan F1XF2, 51% de l'inertie totale)



d'organes herbacés, avec diminution de celui-ci au cours de la saison. Les conditions trophiques et hydriques sont indicatrices d'une situation favorable à la croissance. La projection, en variables supplémentaires, des données sur la production fourragère montre que ce contexte de croissance importante est associé avec, une forte production de matière sèche (MS), une DMO et une MAT faibles ainsi qu'avec une forte chute de la DMO et de la MAT durant le premier cycle.

A l'extrémité positive de l'axe 1, on note une situation inverse avec les modalités suivantes : faible fertilisation, régime hydrique sec, taux de sénescence faible et fort taux d'organes herbacés. Les variables supplémentaires associées à ces variables actives sont : faible production de MS, DMO et MAT élevées et faible décroissance de la DMO et de la MAT durant le cycle. Les modalités moyennes des différentes variables se situent près de l'origine de l'axe 1, décalées sur l'axe 2.

La matrice des corrélations confirme ces résultats, sans toutefois permettre une interprétation aussi détaillée.

Il existe donc des liaisons significatives et explicables entre :

- **facteurs écologiques et critères morphologiques évalués globalement sur le couvert végétal, toutes espèces confondues,**
- **morphologie de la végétation et critères de la valeur d'usage.**

Cette première approche schématique montre la possibilité d'utiliser, dans le diagnostic agronomique, des descriptions morphologiques et structurales simples de la végétation.

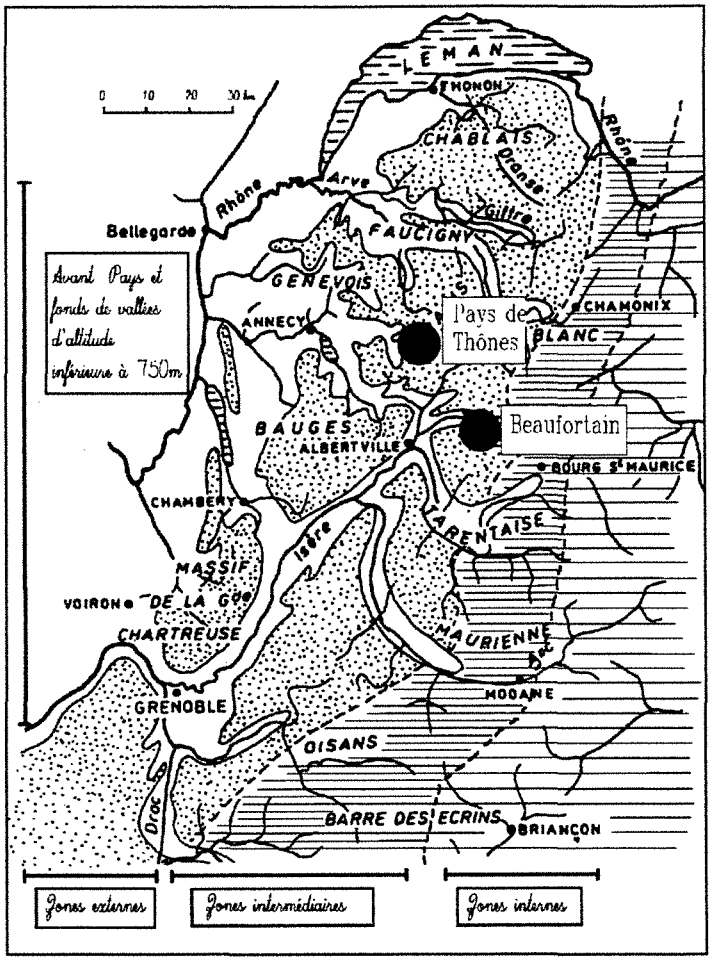
IV - LES FACTEURS DE VARIATION DES APTITUDES AGRICOLES DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE DES ALPES DU NORD

L'objectif de ce chapitre est d'étudier, les facteurs de variation des critères de la valeur d'usage des prairies de fauche des Alpes du Nord :

- évolution de la biomasse aérienne durant le premier cycle et les repousses,
- évolution de la valeur nutritive durant le premier cycle et les repousses,
- récoltabilité des fourrages produits (besoins en séchage et modifications durant la fenaison),
- ingestibilité des foins.

Pour cette analyse, nous utilisons des variables explicatives relevant des conditions de milieu et des pratiques agricoles. Nous employons également des états de végétation de nature variée. Certains se rapportent à la taxinomie végétale (au niveau de la famille botanique), d'autres à des données de morphologie et de structure de la végétation. Pour expliquer chaque critère de

Figure 2-44 : Le Beaufortain et le pays de Thônes dans les Alpes du Nord



la valeur d'usage, nous vérifions l'intérêt de prendre en compte des états de végétation plutôt que d'établir des liaisons directes avec les conditions écologiques.

1 - MATERIEL ET METHODES

Nous avons utilisé deux dispositifs : un pour l'étude des critères de la valeur d'usage concernant le fourrage vert et un autre pour la mesure de la récoltabilité des fourrages. Une présentation plus détaillée des protocoles est faite dans l'annexe 4 pour le fourrage vert et dans l'annexe 5 pour la récoltabilité. Enfin, une équipe de zootechniciens a réalisé des mesures en ferme, sur un troupeau de vaches laitières, pour caractériser la valeur d'encombrement des foins (HAUWUY et al., 1992 et 1993). Nous en présentons les résultats principaux.

A) PROTOCOLE DE MESURE DE LA PRODUCTION ET DE LA VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES VERTS

Pour la mesure de la production et de la valeur nutritive des fourrages verts, nous avons constitué un échantillon de 16 stations en "équilibre" (pratiques stables depuis plus de cinq ans) représentatif de la diversité des conditions de milieu et de pratiques agricoles rencontrées dans les Alpes du Nord. Les critères d'échantillonnage sont : le niveau de fertilisation, le stade habituel de fauche et la fraîcheur du contexte pédoclimatique (tableau A-1, annexe 4). La fraîcheur du contexte pédoclimatique rend compte de la disponibilité en eau, elle est mesurée par la teneur en eau du sol en période sèche. C'est une variable complexe, qui intègre la réserve utile du sol, d'éventuels transferts latéraux d'eau et la demande climatique. En effet, les stations les plus fraîches sont souvent d'orientation nord, donc moins ensoleillées. Ces différents facteurs sont échantillonnés de façon indépendante dans deux régions légèrement différentes du point de vue de la texture et du taux de saturation des sols : le Beaufortain (Savoie) et le Pays de Thônes (Haute-Savoie) (figure 2-44). Ces différences de conditions entre stations se traduisent bien évidemment par des variations de végétation : liste et abondance des espèces, mais aussi morphologie et structure (tableau A-2, annexe 4).

Sur ces stations suivies durant trois années, le dispositif retenu permet de disposer des courbes de croissance durant le premier cycle et de mesurer les repousses de 2ème et 3ème cycle, ainsi que les productions totales annuelles (tableau A-3 annexe 4). Pour le 1er cycle, prélèvement de fourrages, observation phénologique et morphologique ont lieu toutes les semaines. Les repousses prélevées, pour les stades pleine épiaison, début floraison et début fructification de *Dactylis* sont âgées de 6 et 8 semaines pour les regains, de 6 semaines pour les 3 et 4 ème cycle. Au moment de la coupe des repousses, des observations sur la végétation ont lieu comme pour le 1er cycle.

Sur chaque prélèvement de fourrages (3 ou 6 répétitions selon les stades d'une surface élementaire de 0,5 sur 1 m coupée à une hauteur de 5 cm) (figure A-,1 annexe 4), les poids vert et sec, la teneur en azote et la digestibilité à la pepsine-cellulase (AUFRERE, 1982) ont été dosés.

Dans ce chapitre, qui ne présente qu'une interprétation rapide des informations recueillies, nous avons privilégié une analyse des données à l'aide de régressions multiples avec contrôle de la hiérarchie des facteurs (TRANCHEFORT, 1974 ; TOMASSONE et al., 1983). Cette

technique statistique nous permet de mettre en évidence les facteurs explicatifs de l'évolution saisonnière des critères de la valeur d'usage.

B) PROTOCOLE DE MESURE DE LA RECOLTABILITE DES FOURRAGES

Pour suivre l'évolution de la teneur en matière sèche (MS en % de la matière verte) et les modifications de valeur nutritive durant la fenaison, nous avons observé 55 chantiers de récolte. Des prélèvements de fourrages avec six répétitions ont été réalisés 2 à 3 fois par jour, de la fauche à la rentrée du foin. Sur ceux-ci, nous avons dosé les teneurs en MS, en matières azotées totales (MAT g kg MS^{-1}) et la digestibilité à la pepsine cellulase, pour estimation de la digestibilité de la matière organique (DMO %).

Ce travail a été conduit, pendant deux années consécutives, sur des prairies de végétations différentes. Ces chantiers nous permettent de prendre en considération une gamme importante de situations :

- diversité de végétations, avec en particulier l'abondance de grandes dicotylédones (*Geranium sylvaticum*, *Anthriscus sylvestris*, *Rumex obtusifolius*) qui varie de 0 à 90% du volume de la végétation (tableau A-12, annexe 5),
- les fauches du premier cycle sont réparties de l'épiaison à la dissémination des graines de *Dactylis*, les repousses sont âgées de 6 à 8 semaines,
- les productions de MS varient de 1à 6,2t ha^{-1},
- les pratiques de fenaison sont très diverses, fanage manuel, râteau faneur à courroies, faneuse à toupies utilisée plus ou moins violemment.

Durant la fenaison, la météorologie a été suivie sur les sites à l'aide d'un pluviomètre et d'un thermohygrographe sous abri. A l'aide de ces relevés, plutôt que d'exprimer la durée du séchage par un nombre d'heures, nous avons caractérisé le pouvoir évaporant de l'air en faisant la somme des déficits de saturation en vapeur d'eau : SDS (en g d'eau/m^3 d'air)*heures (LUDER, 1982 ; GRANGER et al., 1987).

La technique de la régression linéaire multiple a été utilisée pour l'interprétation des résultats. Celle-ci a pour objectif de décrire les liaisons entre les teneurs des fourrages en cours de fenaison, ou des foins, aux teneurs dans les fourrages verts. Nous considérons également les événements survenus depuis la fauche (météorologie, opérations de fanage, andainage ...) et la sensibilité des végétations à ces événements (structure, morphologie et phénologie).

Les variables explicatives sont quantitatives sauf pour la "résistance de la végétation" (VEGE) et la "violence du travail" (VIOLENCE), exprimées avec des échelles proportionnelles. La "résistance de la végétation" à la perte d'eau est un indice qui varie à l'inverse du rapport surface/volume des espèces dominantes. Il est de 6 pour les prairies riches en graminées à feuilles fines, de 7 pour celles à graminées à feuilles moyennes et larges et de 11 pour celles dominées par des grandes dicotylédones à tiges de gros diamètre et à larges feuilles. L'étude de la vitesse de dessiccation des organes de ces différentes catégories de végétation a permis de définir ces indices. La "violence du travail" est un indice exprimant l'agressivité des engins de fanage. Il tient compte de la violence de manipulation et d'éjection du fourrage par le matériel et varie de 1 (fanage manuel) à 6 (fanage violent à la toupie) (FLEURY et al., 1989). Ces notes ont été affectées après observation des pratiques de fenaison : vitesse d'avancée du matériel, hauteur et longueur d'éjection du fourrages, vigueur du fanage, ...

C) MESURE DE LA VALEUR D'ENCOMBREMENT DES FOINS

Cette expérimentation a été réalisée et publiée par une équipe de zootechniciens travaillant également dans le G.I.S. Alpes du Nord : COULON J.B. (I.N.R.A., Laboratoire d'Adaptation des Herbivores aux Milieux) , HAUWUY Agnès (S.U.A.C.I. Alpes du NORD) et PARADIS J. (S.U.A.C.I. Alpes du NORD).

Les mesures ont été conduites deux hivers consécutifs dans une étable des Alpes du Nord sur un troupeau de race Abondance. Chaque année quatre lots de foin ont été étudiés. La période de mesure sur un lot a varié de deux à sept semaines suivant les quantitées récoltées. Deux types de végétation ont été testés : prairies à dominante d'ombellifères (*Anthriscus sylvestris*) (cinq lots) et prairies riches en *Geranium sylvaticum* (trois lots). Les foins à ombellifères ont été récoltés de la pleine épiaison de *Dactylis* à sa fructification. Les foins à *Geranium sylvaticum* étaient tous au stade fructification de *Dactylis.* Les conditions de récolte ont été bonnes et la fin du séchage a été réalisée en grange.

Vingt sept vaches ont été utilisées pour cette étude. Elles recevaient, en deux repas par jour, une ration de base composée de foin de premier cycle offert à volonté et d'une quantité de regain de 2 à 4 kg, selon la valeur nutritive du foin associé. Cette ration était complémentée suivant le niveau de production des animaux. Les quantités d'aliments offertes et refusées ont été pesées pour chaque aliment et chaque animal trois jours consécutifs par quinzaine. Les quantités de lait produites ont été pesées individuellement, matin et soir, trois jours par semaine. Les taux butyreux et protéique ont été déterminés une fois par semaine. Les vaches ont été pesées toutes les deux semaines.

La valeur d'encombrement (UEL $kg^{-1}MS$) des foins a été calculée à l'aide du logiciel INRAtion après estimation de la capacité d'ingestion théorique des animaux en fonction de leur production laitière et de leur poids vif (HAUWUY et al., 1993).

2 - RESULTATS ET DISCUSSION

A) ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA BIOMASSE

Nous avons recherché les descripteurs écologiques et les états de végétation expliquant les variations de la production de matière sèche durant le premier cycle et les repousses. Pour cela nous procédons en deux étapes :

1. étude, par décade tout au long du premier cycle, des facteurs de variation de la production, pour comprendre l'évolution de leur influence,
2. analyse globale, par cycle de végétation, des facteurs de variation de la biomasse.

Tableau 2-20 : Hiérarchie des facteurs de variation de la production de matière sèche. Codage et signification des variables

VARIABLES	TYPE ET EXPRESSION	CODE
Descripteurs du niveau trophique :		
Fertilisation organique	(t $ha^{-1}an^{-1}$)	FERT
Azote minéral (repousses seules)	(U ha^{-1})	NMIN
Phosphore minéral	(U $ha^{-1}an^{-1}$)	PMIN
Teneur en P2O5 Dyer du sol	($^0/_{00}$) horizon -5 -35 cm	P2O5
Descripteurs climatiques :		
Pédoclimat	humidité pondérale du sol (%) en période sèche	PEDO
Précipitations	(mm j^{-1}) durant la période de croissance	PLUIE
Températures	somme des températures sur la période de croissance/ somme moyenne des 3 ans de mesure pour la même période	TEMPE
Date (repousses seules)	en jours depuis le 1er Mars (indicateur de saison : été , automne)	DATE
Etats de végétation :		
Age de la pousse	jours depuis début épiaison *Dactylis* plus 50, jours de croissance pour les repousses	AGE
Sensibilité à la verse	résistance aux fortes pluies après l'épiaison : faible=1, moyenne=0, forte=-1	VERSE

L'âge de la pousse, exprimé en jours par rapport à l'épiaison de *Dactylis*, est utilisé comme un indicateur thermique (FLEURY, 1985). Dans le modèle concernant l'ensemble du premier cycle, il est exprimé en interaction avec la variable températures. La période de croissance est fixée du stade début-épiaison de *Dactylis* moins 50 jours à la date des différentes coupes. Ce mode d'expression permet de tenir compte de l'effet de la variabilité des températures quotidiennes sur la croissance, sans avoir à résoudre la difficulté d'utilisation des sommes de températures en montagne, en particulier pour le choix d'une date initiale des cumuls.

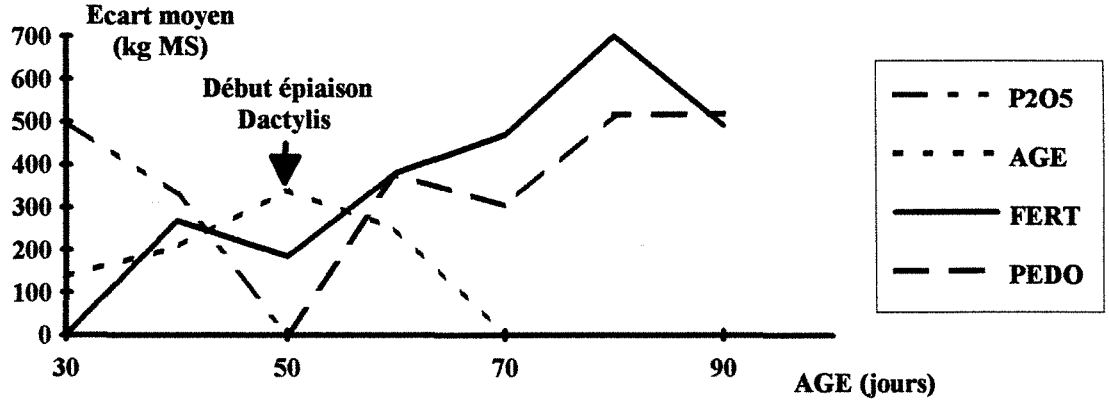
Tableau 2-21 : Hiérarchies des facteurs de variation de la production de matière sèche durant le premier cycle.

Analyse par décades

décade (jours)	Stades *Dactylis*	niveau trophique		facteurs climatiques				Etats de végétation
		FERT	P2O5	PEDO	PLUIE	TEMPE	AGE	VERSE
26 à 35	Début montaison	0	+	0	+	(+)	+	0
36 à 45	Epi à 10 cm	+	+	(+)	+	+	+	0
46 à 55	Début épiaison	(+)	0	0	+	0	+	0
56 à 65	Pleine épiaison	+	0	+	0	0	+	0
66 à 75	Floraison	+	0	+	0	0	0	0
76 à 85	Début fructification	+	0	+	0	-	0	-
86 à 95	Fructification	+	0	+	+	0	0	-
96 à 118	Dissémination	+	+	0	+	0	-	-

Probabilité au test de F de la variable, dans une régression linéaire multiple incluant toutes les variables du tableau ci-dessus, pour expliquer, par décade, les variations de production de MS :
0 : non significatif au seuil 10%,
(+) ou (-) : significatif au seuil 10%, effet positif ou négatif,
+ ou - : significatif au seuil 5%, effet positif ou négatif.

Figure 2-45 : Production de matière sèche durant le 1er cycle : variations décadaires de l'écart moyen apparent des variables explicatives



L'écart moyen apparent lié à un facteur (une variable explicative) est le produit de l'écart type de ce facteur par son coefficient multiplicateur dans le modèle (MONTARD (de), 1981). Il permet d'apprécier le poids relatif lié à un facteur, c'est à dire l'amplitude de variation de la variable à expliquer qu'il peut entraîner. Ce chiffre n'a pas de sens dans l'absolu mais il permet de comparer, de façon relative, l'importance des différentes variables explicatives.

1 - Evolution durant le premier cycle, des facteurs de variation de la biomasse

Pour mettre en évidence cette évolution, nous avons retenu neuf variables explicatives, représentatives du niveau trophique, des régimes thermique et hydrique d'une part et de l'avancée de la saison de végétation d'autre part (AGE et VERSE) (tableau 2-20). A l'aide de ces descripteurs, nous avons expliqué les productions de matière sèche par décade tout au long du premier cycle (tableau 2-21).

L'influence des différents descripteurs écologiques sur la production de MS subit une évolution durant le premier cycle (figure 2-45) :

- jusqu'à la pleine épiaison de *Dactylis*, la croissance est forte et même sur une période de dix jours, il y a une forte sensibilité de l'âge,
- la teneur en P2O5 du sol, que nous interprétons comme un indice de la qualité de l'entretien, a en tout de début de premier cycle, un pouvoir explicatif du rendement en MS supérieur à celui des pratiques de fertilisation,
- dès la fin de la montaison, la dose de fertilisation, devient un indicateur pertinent du régime trophique et a une forte influence sur la variabilité de la production,
- l'influence du pédoclimat, n'est sensible qu'à partir du début de l'épiaison et augmente avec l'avancée de la saison, le contraste entre les milieux frais, plus productifs et les milieux secs est plus fort en fin de cycle, lorsque les pluies sont moins abondantes,
- l'influence des précipitations se fait sentir tout au long du cycle, mais il est difficile de séparer leur effet de celui des températures, les variabilités interannuelles de ces variables étant liées,
- enfin la sensibilité de la végétation à la verse a, en fin de cycle à partir de la fructification de *Dactylis*, un léger effet dépressif sur le rendement.

L'effet de ces variables sur la production n'est donc pas constant tout au long d'un cycle de végétation. Pour cette raison, nous avons choisi d'exprimer dans les régressions multiples les descripteurs écologiques en interaction avec l'âge. Ces interactions pouvant ne pas être simplement linéaire, nous avons introduit non seulement le produit des descripteurs écologiques par l'âge, mais également le carré de cette variable qui permet d'évaluer un effet quadratique. Ce mode d'expression permet de quantifier, pour les variables explicatives un effet croissant avec l'âge jusqu'à un maximum puis décroissant. Les équations détaillées sont présentées dans l'annexe 4.

2 - Hiérarchie des facteurs de variation de la biomasse durant le premier cycle

Pour l'ensemble du premier cycle, les facteurs explicatifs des variations de production de MS sont les suivants (tableau 2-22) :

- la fertilisation organique exprimée en t $ha^{-1}an^{-1}$ est un facteur très important. Son influence varie avec l'âge de la pousse, elle est maximum à la floraison de *Dactylis*. Au delà de ce stade, les prairies très fertilisées subissent une sénescence marquée alors que la croissance se poursuit dans les prairies maigres et les différences se réduisent.

Tableau 2-22 : Hiérarchie des facteurs de variation de la production de matière sèche durant le premier cycle :
analyse obtenue à partir d'une régression multiple
(n=324, r=0,914, sr=+/-0,564 t MS ha^{-1})

FACTEURS DE VARIATION	ECART MOYEN APPARENT (t MS ha^{-1})	EFFET A LA FLORAISON DE *DACTYLIS* (valeurs ajustées) ET MODE D'ACTION
FERT	0,49	+51 kg MS par t de FERT pour 40 t ha^{-} Effet maximum à la floraison de *Dactylis*.pour 50 t ha^{-1}, à la fructification pour 20 à 40 t ha^{-1}
AGE ET TEMPE	0,44	4200 kg MS en moyenne Maximum de production entre la floraison et la fructification de *Dactylis*
PLUIE	0,39	+/- 200kg MS par rapport à la moyenne Effet favorable jusqu'à l'épiaison de *Dactylis*, faible ensuite
PEDO	0,32	+ 330 kg MS pour une station fraîche, - 330 kg MS pour une station sèche, par rapport à une station moyenne
P MIN	0,19	+9 kg MS par U de P pour 50 U ha^{-1}

Ecart moyen lié à un facteur : c'est le produit de l'écart type du facteur par son coefficient multiplicateur dans le modèle (MONTARD (de), 1981). Il permet d'apprécier le poids relatif lié à un facteur.
Equation présentée en annexe 4 tableau A-4

- l'âge de la pousse, en interaction avec la variable TEMPE, qui caractérise l'ambiance thermique de la période de croissance (tableau 2-20), a un fort effet sur la production. En début de cycle la croissance est forte, elle passe par un maximum qui varie de la floraison de *Dactylis* pour les prairies très fertilisées à la fructification pour les prairies non fertilisées et baisse ensuite,
- la variabilité interannuelle des précipitations, qui conditionne, avec le contexte pédoclimatique, la disponibilité en eau sont des facteurs de production. Le contexte pédoclimatique, oppose les situations sèches moins productives aux situations fraîches.
- la pratique d'une fertilisation phosphatée, qui est souvent liée à d'autres soins aux prairies (essai de maîtrise du pâturage automnal, homogénéisation du lisier avant épandage, parfois fertilisation potassique) et qu'il semble difficile d'expliquer seulement par la fourniture de phosphore, a également une influence.

Pour les repousses de deuxième et de troisième cycle, comme pour le premier cycle de végétation, les facteurs explicatifs de la production relèvent de variations dans la disponibilité en nutriments et dans les régimes thermiques et hydriques (tableaux A-5, A-6, A-7, annexe 4).

3 - Discussion : l'effet des facteurs écologiques sur la biomasse ne dépend pas de la végétation

Pour le premier cycle de végétation, comme pour les cycles ultérieurs, les modèles de prévision les plus précis de la production de MS ne sont pas ceux prenant en compte des états de végétation botaniques (taux de graminées, de dicotylédones, de légumineuses ..) ou structuraux (taux de touffes,). Les résultats les plus satisfaisants sont ceux faisant intervenir des descripteurs écologiques caractéristiques des régimes trophique et hydrique. Ces modèles, sont ceux que nous avons présentés.

Dans les prairies de fauche des Alpes du Nord et en conditions de pratiques stables depuis plus de cinq ans, la disponibilité en nutriments, en eau et les conditions thermiques (exprimées ici par l'âge de la pousse en interaction avec la température) agissent donc de façon continue et directe sur la biomasse. La réponse de celle-ci est indépendante des caractères botaniques et structuraux de la végétation. En effet, il existe pour un niveau donné de fertilisation et de régime hydrique, des végétations différentes. Par exemple, le taux de dicotylédones n'est pas seulement déterminé par la fertilisation, mais également par le stade habituel de fauche. Pour une fertilisation organique de 40 t de lisier $ha^{-1}an^{-1}$, la production de matière sèche est équivalente, que l'on ait une végétation à dominante de graminées ou à dominante d'ombellifères. Ce résultat a été établi avec des rendements moyens de 3 ou 6 répétitions par station. Il ne signifie pas que la variabilité de production entre chaque répétition d'un prélèvement ne soit pas explicable, au moins partiellement, par des différences de végétation comme l'a montré PEETERS (1989), par comparaison de paires de placettes de mêmes parcelles, mais ayant des taux différents d'*Anthriscus sylvestris*.

Tableau 2-23 : Facteurs de variation de la digestibilité de la matière organique et des teneurs en matières azotées totales : codage et signification des variables

VARIABLES	TYPE ET EXPRESSION	CODE
Descripteurs climatiques :		
Précipitations	($mm.j^{-1}$) durant la période de croissance	PLUIE
Températures	somme des températures sur la période de croissance/ somme moyenne des 3 ans de mesure pour la même période	TEMPE
Etats de la végétation :		
Age de la pousse	jours depuis début épiaison *Dactylis* plus 50,	AGE
Taux de touffes	individus en touffes en % du volume de la végétation	TOUFFES
Taux de dicotylédones	dicotylédones non légumineuses en % du volume de la végétation	DICOTS
Amplitude phénologique des espèces	indice pondéré traduisant l'étalement des floraisons dans la végétation	EC PHENO

Tableau 2-24 : Facteurs de variation de la DMO durant le premier cycle : analyse obtenue à partir d'une régression multiple
(n=206 ; r=0,903 ; sr=+/-2,47 %)

FACTEURS DE VARIATION	ECART MOYEN APPARENT (DMO EN %)	EFFET A LA FLORAISON DE *DACTYLIS* (VALEURS AJUSTEES)	MODE D'ACTION
AGE ET TEMPE	4,9	DMO de 64,5% en moyenne et +/- 0,5% pour TEMPE par rapport à la moyenne	Age est la variable essentielle Baisse rapide de DMO puis stabilisation en fin de cycle à partir de la fructification de *Dactylis*
PLUIE	1,3	+/-0,5 % de DMO suivant l'année, mais +/-1,5% de DMO avant l'épiaison	Effet négatif notable avant la floraison de *Dactylis*, faible ensuite
TOUFFES	1,0	-1,6% de DMO pour 60% de touffes et -3,3% de DMO à la dissémination	Les forts taux de touffes favorisent la baisse de DMO, effet faible avant la floraison de *Dactylis*
DICOTS	0,7	+1,6 % de DMO pour 60% de dicots et +2,3% de DMO à la dissémination	L'abondance des dicotylédones limite la baisse de la DMO en fin de cycle
EC PHENO	0,5	+/- 0,9% de DMO suivant la diversité spécifique	L'étalement des floraisons limite la baisse de DMO en fin de cycle

Ecart moyen lié à un facteur : c'est le produit de l'écart type du facteur par son coefficient multiplicateur dans le modèle (MONTARD (de), 1981). Il permet d'apprécier le poids relatif lié à un facteur.

Equation présentée en annexe 4 tableau A-8.

Comme pour la production de matière sèche les variables explicatives sont exprimées en interaction avec l'âge pour tenir compte de leurs variations dans la saison.

B) ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA VALEUR NUTRITIVE

1 - Facteurs de variation de la valeur nutritive

Nous avons analysé les variations des digestibilités de la matière organique (DMO) et des teneurs en matières azotées totales (MAT) avec des variables exprimant globalement l'état du couvert végétal (tableau 2-23). Nous avons utilisé la technique de la régression multiple. Les résultats obtenus pour le premier cycle, toutes stations confondues, sont présentés dans les tableaux 2-24 et 2-25. Les équations de régression sont dans l'annexe 4 (tableaux A-8 et A-9).

L'âge de la pousse est le premier facteur de variation. Ce phénomène bien connu, qui résulte de la lignification croissante des tissus, de la dynamique de croissance et de sénescence des organes et de la dilution de l'azote dans la matière sèche, touche toutes les végétations. Cependant, le diagnostic s'améliore si l'on prend en considération :

- **des facteurs météorologiques** comme les précipitations et les températures, facteurs de croissance de l'herbe qui ont un impact négatif sur la DMO et la MAT lorsqu'ils agissent dans un sens favorable à la croissance de l'herbe : précipitations et températures élevées. Ces variables agissent plus faiblement en fin de cycle, cela est dû, en particulier, au mode d'expression que nous avons retenu. Comme il s'agit de sommes pour les températures et de moyennes pour les précipitations, l'écart-type de ces variables diminue avec l'avancée de la saison de végétation. Nous ne pouvons donc pas exclure une mauvaise expression du climat pour certains phénomènes de fin de saison (températures maximales élevées par exemple) (DEINUM, 1984 ; ROUMET et FLEURY, 1992). L'effet négatif de températures et de précipitations fortes sur la qualité des fourrages est un phénomène connu (DEMARQUILLY et JARRIGE, 1981 ; DEINUM, 1984).

- **l'état du couvert,** vu à travers les indicateurs simples que sont les taux de dicotylédones et de touffes et la présence d'espèces tardives qui étalent les floraisons.

Ces variables apportent une information supplémentaire et significative qui traduit des différences entre végétation, surtout au delà de l'épiaison de *Dactylis.*

L'abondance des touffes marque l'existence de micro-zones à densité élevée d'organes et de talles. A l'extrême, les touffes peuvent même être juxtaposées. Dans ces situations, la concurrence pour la lumière est forte, ce qui favorise une sénescence rapide des feuilles inférieures. De plus, les touffes sont plus riches en épis que les couverts végétaux réguliers en tapis. Au total, un fort pourcentage de touffes a un effet négatif sur la DMO et la MAT qui s'accentue avec l'avancée du cycle.

Le taux de dicotylédones des prairies représente aussi un critère morphologique global, car elles sont en moyennes plus riches en feuilles que les graminées. Les dicotylédones ont également, de façon assez générale, une lignification moins prononcée et une plus grande richesse en contenu cellulaire (SCEHOVIC, 1988). Finalement, l'abondance des dicotylédones ralentit la chute de la valeur nutritive avec l'âge.

Une valeur nutritive plus élevée, ainsi qu'une évolution plus lente durant le premier cycle, pour les dicotylédones par rapport aux graminées, a également été observée dans d'autres

Tableau 2-25 : Facteurs de variation de la MAT durant le premier cycle : analyse obtenue à partir d'une régression multiple
(n=336 ; r=0,956 ; sr=+/-14 g kg^{-1}MS)

FACTEURS DE VARIATION	ECART MOYEN APPARENT (MAT EN G KG^{-1} MS)	EFFET A LA FLORAISON DE *DACTYLIS* (VALEURS AJUSTEES)	MODE D'ACTION
AGE ET TEMPE	39,4	MAT de 110 g en moyenne et +/- 4 g pour TEMPE par rapport à la moyenne	Age est la variable essentielle Baisse rapide de MAT puis stabilisation en fin de cycle à partir de la fructification de *Dactylis*
PLUIE	5,8	+/-2g de MAT suivant l'année, mais +/-6 g de MAT avant l'épiaison	Effet négatif notable avant la floraison de *Dactylis*, faible ensuite
TOUFFES	6,0	-14 g de MAT pour 60% de touffes et -- 21 g de MAT à la dissémination	Les forts taux de touffes favorisent la baisse de MAT, effet faible avant la floraison de *Dactylis*
DICOTS	4,4	-10 g de MAT pour 60% de dicots et -14 g de MAT à la dissémination	L'abondance des dicotylédones limite la baisse de la teneur en MAT durant le cycle

Ecart moyen lié à un facteur : c'est le produit de l'écart type du facteur par son coefficient multiplicateur dans le modèle (MONTARD (de), 1981). Il permet d'apprécier le poids relatif lié à un facteur.
Equation présentée en annexe 4 tableau A-9.
Comme pour la production de matière sèche, les variables explicatives sont exprimées en interaction avec l'âge pour tenir compte de leurs variations dans la saison.

situations, souvent en prairies de montagne (PEETERS et LAMBERT, 1989a ; TROXLER, 1989b ; DURU, 1992c). Les teneurs élevées de certaines dicotylédones en métabolites secondaires (acides phénoliques, substances terpéniques, ...) peuvent influencer leur digestibilité, par leur action inhibitrice de l'activité microbienne du rumen. Cet effet dépressif ne serait que partiellement pris en compte par la méthode à la pepsine cellulase que nous avons utilisée pour estimer la digestibilité (SCEHOVIC, 1991).

Pour les repousses de six et huit semaines, nous observons un effet positif du taux de légumineuses sur la DMO et la MAT. Les différenciations morphologiques entre graminées et dicotylédones d'une part, entre éléments structuraux d'autre part, sont plus faibles qu'au premier cycle. Leur influence est donc très réduite et en tout cas non décelée. De plus, les écart-types des variables à expliquer, DMO et MAT sont faibles (tableau A-10 et A-11, annexe 4).

2 - Discussion : les facteurs écologiques ont un effet complexe sur la valeur nutritive

A la différence de la production de MS, les descripteurs écologiques (fertilisation, contexte pédoclimatique mais aussi stade habituel de fauche) ne permettent pas de comprendre les variations de valeur nutritive. Seules, précipitations et températures ont un effet direct traduisant la variabilité interannuelle. La prise en compte d'états de végétation (âge pour l'avancée de la saison, taux de touffes, de dicotylédones, dispersion phénologique des espèces) a une valeur explicative plus forte que la prise en compte des conditions écologiques.

Ce résultat constitue une vérification supplémentaire de l'hypothèse de départ. Il montre l'existence de liens entre structure du couvert végétal et valeur nutritive. Le taux de touffes, variable de structure, a une signification morphologique, puisqu'il implique des taux de tiges et de sénescence plus forts. Ceci souligne l'intérêt des critères physionomiques ainsi que celui des grandes classes taxinomiques comme l'opposition entre graminées et dicotylédones.

Mais, ces états de végétation, explicatifs des variations de valeur nutritive, rendent compte de conditions de croissance différentes : les touffes se rencontrent dans les stations très fertilisées plus productives, l'âge lui-même, traduit des niveaux de production différents. Nous avons donc émis l'hypothèse que les variations de valeur nutritive peuvent être liées à la production de matière sèche. Cette variable intégrerait à la fois l'avancée de la saison, les différences entre prairies plus ou moins fertilisées et la variabilité dûe au régime hydrique. Un tel modèle a déjà été mis au point pour la luzerne (LEMAIRE et ALLIRAND, 1993).

Dans les végétations composites des prairies de fauche les résultats (tableau 2-26) montrent que la production de matière sèche ne permet pas, à elle seule, d'expliquer les variations de DMO et de MAT. L'effet de l'âge reste prépondérant. En effet, il rend compte de phénomènes complexes : vieillissement des organes par lignification, évolution de la dynamique de croissance et de sénescence. Pour l'azote, les prairies observées poussent dans des conditions de nutrition variables. Certaines sont très éloignées d'une disponibilité en azote non limitante. Il est donc logique de ne pas trouver une relation forte entre niveau de croissance et teneur en azote. Par contre, **à âge égal, la production de matière sèche est un facteur explicatif des variations de valeur nutritive. Une production élevée a un effet dépressif sur la valeur nutritive.** Par exemple, 20 jours après le début épiaison de *Dactylis*, au moment de sa floraison, une prairie ayant 3 t MS ha^{-1} a une DMO de 2,3% supérieure à une prairie à 5 t MS

Tableau 2-26 : Coefficients de détermination pour plusieurs modèles explicatifs de la DMO et de la MAT durant le premier cycle

MODELES	TAUX DE VARIATION EXPLIQUEE : COEFFICIENT DE DETERMINATION R^2
DMO (n=225)(*)	
f (AGE, AGE^2)	0,742
f (AGE, AGE^2, TOUFFES, DICOTS)	0,763 (HS)
f (AGE, AGE^2, PROD MS)	0,772 (HS)
f (PROD MS, PROD MS^2)	0,488
f (PROD MS, PROD MS^2, DICOTS)	0,498 (S) touffes NS
MAT (n=376) (*)	
f (AGE, AGE^2)	0,882
f (AGE, AGE^2, TOUFFES, DICOTS)	0,896 (HS)
f (AGE, AGE^2, PROD MS)	0,896 (HS)
f (PROD MS, PROD MS^2)	0,683
f (PROD MS, PROD MS^2, DICOTS)	0,693 (HS) touffes NS

Signification du gain de variation expliquée par rapport à l'hypothèse d'une équation fonction de AGE et de AGE^2 (ou de PROD MS et de PROD MS^2 pour l'équation f (PROD MS, PROD MS^2, DICOTS) : HS : significatif au seuil 1% du test de F ; S : significatif au seuil 5 % ; NS : non significatif au seuil 5 %. Seuil d'introduction des variables : 5% au test de F.

(*) Les effectifs sont un peu supérieurs à ceux des tableaux 2-24 et 2-25. Nous utilisons moins de variables explicatives ce qui nous évite de supprimer certains points manquants.

Les modèles sont de la forme :
Y= DMO ou MAT suivant le cas,
$Y = f(AGE, AGE^2) = aAGE + bAGE^2 + c$
$Y = f(AGE, AGE^2, TOUFFES, DICOTS) = : aAGE + bAGE^2 + cTOUFFES*AGE + dDICOTS*AGE + e$
$Y = f(AGE, AGE^2, PROD MS,) = : aAGE + bAGE^2 + cPROD MS*AGE + d$
$Y = f(PROD MS, PROD MS^2) = : aPROD MS + bPROD MS^2 + c$
$Y = f(PROD MS, PROD MS^2, DICOTS) = : aPROD MS + bPROD MS^2 + cDICOTS*AGE + d$

L'effet des variables explicatives n'est pas constant tout au long du cycle. Pour cette raison, nous avons choisi d'exprimer les états de végétation (et la production de MS, lorsqu'elle est utilisée avec l'âge comme autre variable explicative) en interaction avec l'âge.

ha $^{-1}$ (valeurs ajustées). Cette valeur est à comparer au taux de chute de la DMO durant cette période qui est de l'ordre de 0,2% par jour (valeur ajustée). Une même DMO est atteinte 10 à 11 jours plus tard sur une prairie de faible production.

Cependant, la production de MS, même à âge égal, n'explique pas complètement les variations de valeur nutritive. Les variables, taux de dicotylédones et taux de touffes ont une valeur explicative supérieure (tableau 2-26). Il y a un effet propre à la structure de la végétation qui n'est pas pris en compte par la production de MS. Il existe donc une certaine interchangeabilité entre facteurs écologiques, du point de vue des conséquences en matière de valeur nutritive. Un fort taux de touffes, a des conséquences sur la valeur nutritive, que ce taux de touffes ait pour origine, une forte fertilisation dans un contexte pédoclimatique mésophile, ou une fertilisation plus moyenne dans un contexte frais. La production de MS est quant à elle plus affectée par les modifications de fertilisation que par les variations de régime hydrique (tableau 2-22).

Une structure en touffes, révèle donc des conditions spécifiques de vie du couvert (rapports de compétition et stratégies adaptatives, ombrage et pénétration de la lumière, ...) qui ont des conséquences sur les dynamiques de croissance et de sénescence des organes. Nous n'avons pas mesuré celles-ci, mais nous en voyons les conséquences sur la valeur nutritive. **Les facteurs écologiques agissent donc sur la valeur nutritive par le biais de modifications de croissance mais aussi d'états caractéristiques de la structure du couvert.**

C) SECHAGE ET MODIFICATIONS DE VALEUR NUTRITIVE DURANT LA FENAISON

Afin d'évaluer l'impact des états de végétation sur la récoltabilité des fourrages, nous présentons les différences de séchage entre espèces et organes. Ensuite, nous nous intéressons à la caractérisation du fourrage dans son ensemble pour :

- définir les besoins climatiques nécessaires à son séchage en fonction des états de végétation et des pratiques de fenaison,
- étudier l'impact de la végétation, de la météorologie et des pratiques de fenaison sur les modifications de la valeur nutritive durant la fenaison.

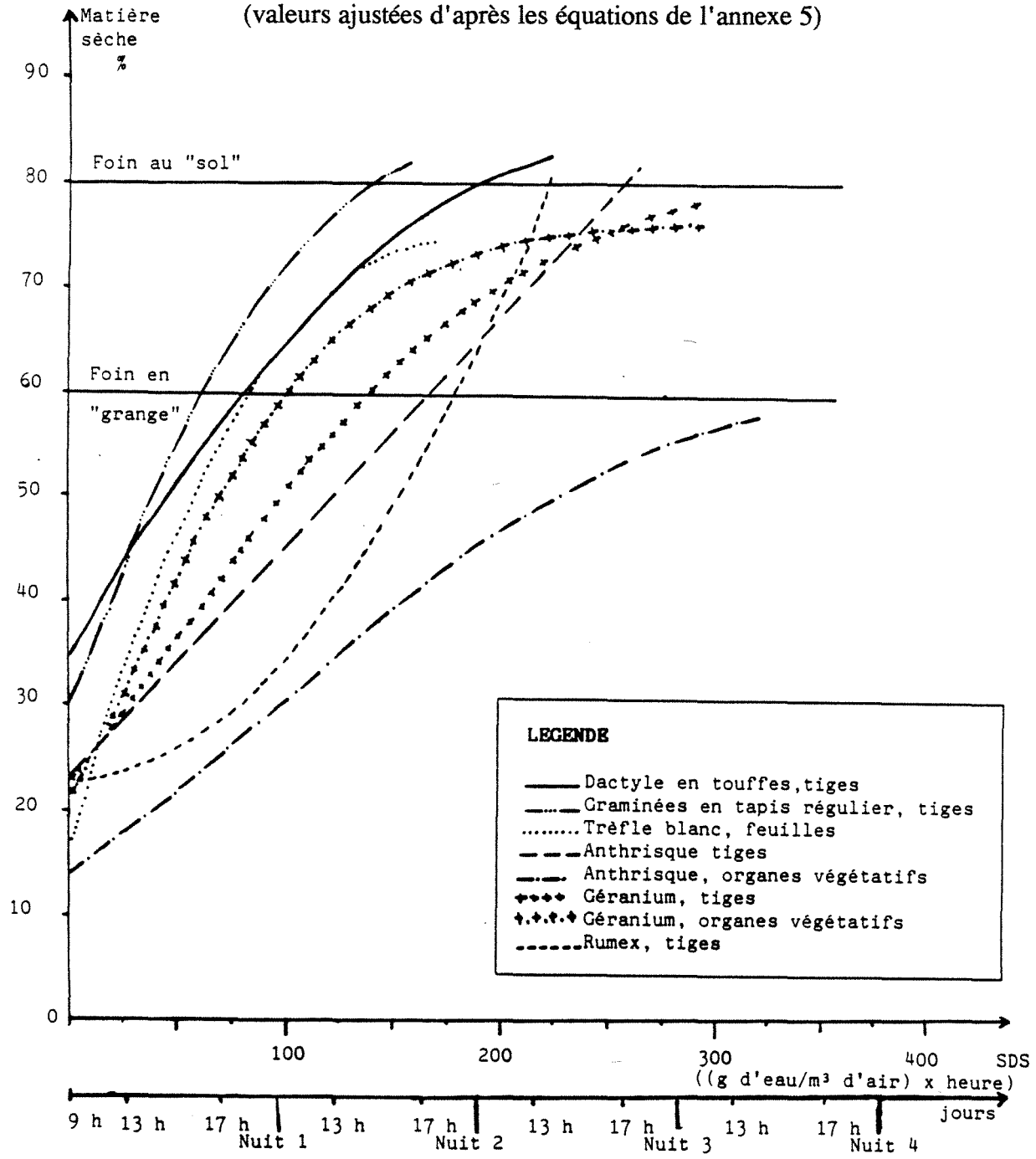
1 - Différences de séchage entre espèces et organes

A rendement égal, la vitesse de séchage n'est pas la même pour les différentes espèces prairiales. Ces différences, qui peuvent être importantes, s'expliquent non seulement par des écarts dans les teneurs initiales en eau, mais également par des variations morphologiques et anatomiques : nombre de stomates, épaisseur de la cuticule, rapport feuilles/tiges ...(JONES et PRICKETT, 1981 cité par DEMARQUILLY, 1987). Chez les graminées, *Festuca arundinacea* se dessèche beaucoup plus vite que *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum* et *Phleum pratense*. Pour ces auteurs, *Festuca arundinacea* a des feuilles très riches en stomates et une cuticule peu résistante au passage de l'eau. De plus, son rapport feuilles/tiges est plus élevé que celui de ces autres graminées. Dans une association prairiale, *Trifolium repens*, malgré une humidité initiale plus élevée, sèche plus rapidement que les graminées (WILMAN et OWEN, 1982).

Figure 2-46 : Courbes de dessiccation d'organes de différentes espèces des prairies de fauche des Alpes du Nord.

Premier cycle, stade floraison de *Dactylis*

(valeurs ajustées d'après les équations de l'annexe 5)



LEGENDE :

Organes végétatifs : talles herbacées des graminées et feuilles radicales des dicotylédones

Tiges : ensemble des tiges, des feuilles et des inflorescences qu'elles portent

La figure 2-46 présente les courbes de séchage de différents organes de quelques espèces des prairies de fauche des Alpes du Nord. Compte tenu de l'importance de l'état du végétal sur sa dessiccation, en particulier de son rapport feuilles/tiges, nous indiquons également la physionomie de l'espèce. Les courbes présentées sont des ajustements statistiques valables par beau temps, à la floraison de *Dactylis*. La précision de ces équations est correcte, les coefficients de corrélation étant toujours supérieurs à 0,90 (annexe 5). Ces différentes espèces et organes ont été observés dans les prairies où ils sont abondants. Les résultats obtenus ne rendent donc pas compte du comportement du végétal isolé, mais de celui qu'il a dans la végétation complexe qui lui est le plus fréquemment associé. Durant le séchage, les interactions entre organes et espèces ont un rôle essentiel. Des résultats obtenus en conditions expérimentales, espèce par espèce, seraient différents. Ainsi, TSCHANNEN (1982) a observé que *Trifolium repens* atteint 60% de MS pour une somme de déficit de saturation (SDS) de 45 lorsqu'il est seul. Associé à des graminées, il atteint ce taux de MS pour une SDS de 80.

La figure 2-46 illustre des comportements très variables. Les fortes difficultés de séchage des organes végétatifs d'*Anthriscus sylvestris* en grosses touffes sont très nettes. Sa feuille est composée d'un limbe très fin et très découpé qui sèche vite, mais le pétiole riche en eau a une cuticule très résistante au transfert d'eau.

Par contre les tiges d'*Anthriscus sylvestris*, moins riches en eau, rigides, se brisent facilement durant les fanages. Leur tige est creuse, les feuilles qu'elles portent servent de "mèches" et elles sèchent plus rapidement que les organes végétatifs.

Les tiges de *Rumex obtusifolius* en touffes sont pourvues de grandes feuilles. Cet ensemble sèche tout d'abord lentement. Une fois ses tiges brisées son séchage s'accélère.

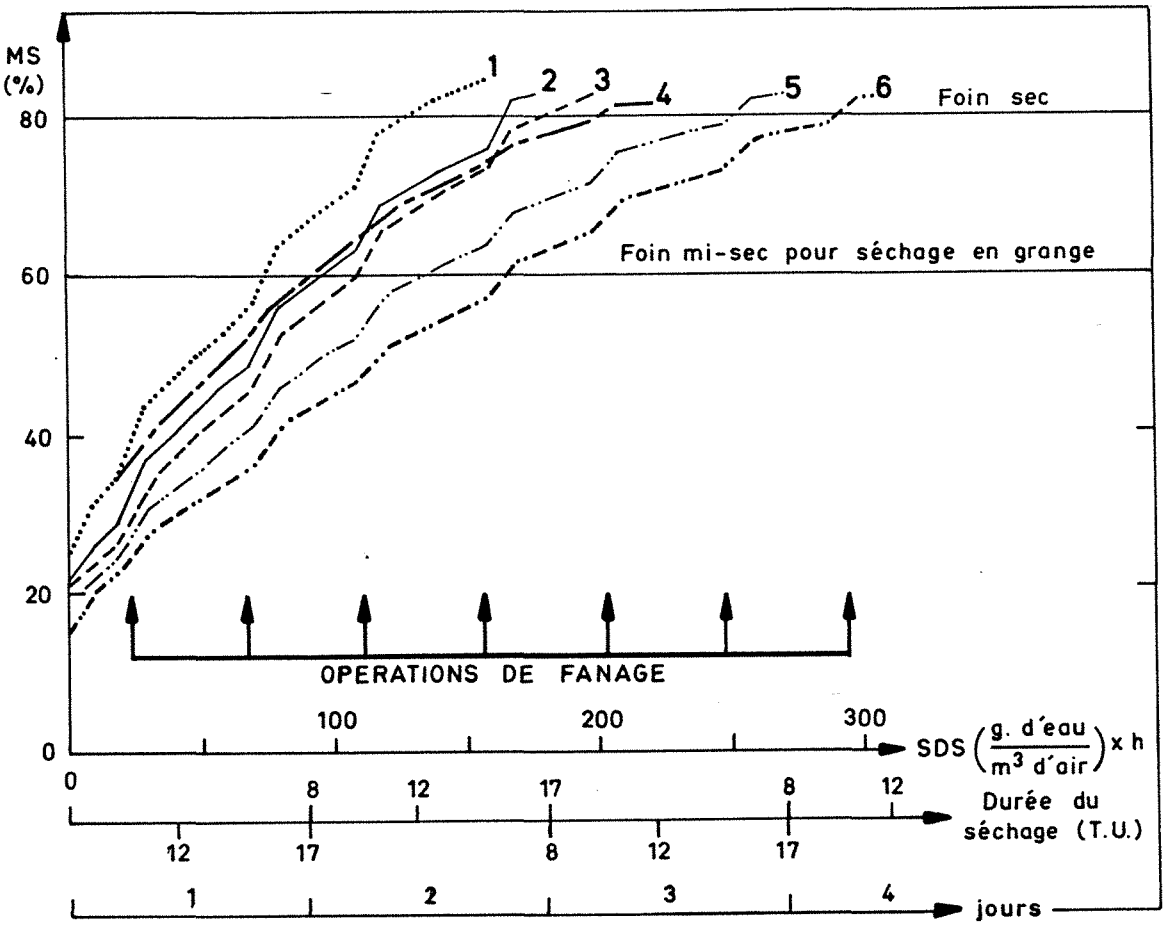
Chez *Geranium sylvaticum* en touffes, les tiges portent des feuilles nombreuses. Les gros pétioles des feuilles radicales se comportent eux-mêmes comme des tiges. La différence de séchage entre tiges et organes végétatifs est donc atténuée. Durant la première phase de séchage, il y a transfert rapide d'eau des pétioles ou des tiges vers les limbes. Après la fermeture des stomates, *Geranium sylvaticum* sèche plus difficilement : sa cuticule épaisse s'oppose au passage de l'eau.

Par comparaison aux grosses dicotylédones, les graminées et *Trifolium repens* sèchent très rapidement. Ils atteignent 60% de MS pour une SDS inférieure à 80 (environ une journée). Pour arriver à ce niveau de séchage, les dicotylédones nécessitent 100 à 300 SDS.

Les différences de séchage observées entre *Dactylis* en touffes et les graminées en tapis régulier (*Poa trivialis*, *Trisetum flavescens*, *Festuca pratensis*, *Lolium perenne* mais aussi *Dactylis*) sont essentiellement dues à des variations morphologiques. Les tiges de *Dactylis* en touffes sont plus grosses que celles des graminées en tapis régulier : au stade épiaison, diamètre de 2 à 4 mm pour le premier et de 1 à 3 mm pour les secondes. Le rapport feuilles/tiges est aussi différent, les touffes ont un taux d'épiaison plus fort.

Les végétations des Alpes du Nord ont, comme les éléments qui les composent, des comportements au séchage très différents. Afin de tenir compte des interactions entre organes nous étudions globalement, par grand type de végétation, les facteurs de variation des besoins en séchage.

Figure 2-47 : Courbes de dessiccation de différentes végétations des Alpes du Nord (séchage non interrompu par la pluie)
(simulations pour différentes pratiques de fenaison d'après les équations (1) et (2))



Courbe de dessiccation	Type de végétation	Etat à la fauche			Mode de fanage
		Stade *Dactylis*	Teneur MS (%)	Rendement MS (t ha $^{-1}$)	
1	graminées à feuilles fines	mi-floraison	24	2,1	toupie
2	graminées à feuilles larges et *Trifolium repens*	mi-floraison	22	4,8	toupie
3	ombellifères et graminées à feuilles larges	regain feuillu	21	2,5	toupie
4	graminées à feuilles fines	mi-floraison	24	2,1	manuel
5	ombellifères et graminées à feuilles larges	mi-floraison	19	4,3	toupie
6	ombellifères et graminées à feuilles larges	début épiaison	15	3,2	toupie

2 - Facteurs de variation des besoins en séchage des foins

Les équations (1) et (2) expliquent les variations de teneur en MS des fourrages durant la fenaison, respectivement pour le premier et le second cycle de végétation. Les échantillons ayant reçu de la pluie (séchage interrompu) ne sont pas pris en compte.

Premier cycle :
(1) MS% = =0,0165MS Vert*SDS -1,41*10^{-6}(MS Vert*SDS)²
-0,515 VEGE +0,643 MS Vert +7,22 (VIOLENCE*Nb Fanages)/VEGE -1,08 *PROD MS +17,2

coefficient de corrélation R=0,974 ; écart type résiduel SR= +/- 4,96 ; nombre d'observations n=177

Second cycle :
(2) MS% = =0,0176MS Vert*SDS +0,871*VIOLENCE*Nb Fanages
-1,44*10^{-6}(MS Vert*SDS)² +19,3

R=0,976 ; SR= +/- 4,62 ; n=29

Ces équations permettent de réaliser des courbes de dessiccation pour différentes végétations et pratiques de fenaison des Alpes du Nord (figure 2-47). Les facteurs de variation du séchage qu'elles mettent en évidence sont les suivants :

- pour le premier cycle, comme pour le regain, l'expression de la variable (MS Vert%*Sds) sous forme d'une portion de parabole rend compte du déssèchement plus rapide des végétaux durant la première partie du séchage (DEMARQUILLY, 1987),
- la variable VEGE ("résistance de la végétation" à la perte d'eau) exprime le séchage plus rapide des prairies à base de graminées, par opposition à celles riches en grosses dicotylédones. A la floraison de *Dactylis*, avec deux fanages à la toupie par jour, ces dernières nécessitent 90 SDS supplémentaires (environ une journée) pour parvenir à 80% de MS. Dans les repousses, les différences de morphologie entre graminées et dicotylédones sont moins marquées. L'effet dû à la végétation est plus faible et n'apparait qu'au travers du taux de MS à la fauche, les prairies à grosses dicotylédones ayant une teneur en eau un peu plus élevée,
- durant le premier cycle, pour l'équation (1), la teneur en MS à la fauche (MS Vert) évolue principalement avec les stades phénologiques. Elle traduit le fait que les fourrages âgés sèchent plus vite que les fourrages jeunes (JONES, 1979). Même si ces derniers ont en général des productions en MS plus faibles. Ce phénomène s'explique, en particulier, par des modifications morphologiques et histologiques de la plante. Dans les fourrages âgés, la cuticule est plus poreuse, les gaines se décollent des tiges et celles-ci, plus rigides, assurent une meilleure circulation de l'air (JONES, 1979 ; DEMARQUILLY, 1987),
- les seconds cycles, qui sont des fourrages riches en feuilles, se caractérisent par un séchage plus rapide que les premiers cycles, aux tiges abondantes et aux rendements plus élevés,
- la vigueur et la fréquence des opérations de fenaison ont un fort impact sur la vitesse de séchage. Ainsi, à la floraison de *Dactylis*, pour sécher complètement le fourrage d'une prairie de graminées à feuilles fines, il faut 70 SDS supplémentaires (environ une journée) lorsqu'il y a deux fanages manuels plutôt que deux fanages à la toupie,
- l'expression des pratiques de fenaison en interaction avec la végétation montre également que l'effet de ces pratiques est d'autant plus faible que la végétation offre de fortes

Tableau 2-27 : Modifications durant la fenaison pour quelques fourrages de premier cycle

Végétation et Stade *Dactylis*	Fourrage vert		Modifications (*)	
	MAT ($g\ kg^{-1}MS$)	DMO (%)	MAT ($g\ kg^{-1}MS$)	DMO (%)
Graminées à feuilles larges et *Trifolium repens* :				
Mi-floraison	97	61,9	-12	-4,2
Mi-fructification	86	56,9	-8	-3,1
Ombellifères et graminées à feuilles larges :				
Mi-floraison	106	65,6	-22	-5,8
Mi-fructification	86	60,5	-14	-4,9

(*)Valeurs ajustées avec les modèles (3) et (4), fanages à la toupie, dernier fanage à 70% de MS, engrangeage à 80% de MS.

résistances à la perte d'eau (prairies à grosses dicotylédones ayant de grosses tiges et des feuilles à cuticule épaisse).

3 - Modifications de valeur nutritive durant la fenaison

Durant la fenaison, il y a à la fois perte de matière et modifications de composition et de valeur des fourrages. Nous nous intéressons ici, uniquement à ce dernier aspect, la mesure des pertes étant très délicate et nécessitant des protocoles très lourds (HOHN, 1986 ; DULPHY, 1987).

Un foin réalisé par beau temps et complètement séché au sol contient en moyenne 11g de MAT et 4% de DMO par kg de MS en moins que le fourrage vert correspondant (tableau A-13, annexe 5). Ces valeurs cachent une certaine dispersion qu'il est possible d'analyser à l'aide des résultats des régressions linéaires :

(3) DMO foin% = 0,00612*(DMO Vert)^2 -0,00264 MS Grange*VEGE
-0,00352 MS Fanage*VIOLENCE +37,5 +D1+D2
D1 = -0,712 pour le premier cycle, D1 = +0,712 pour les repousses
D2 = 0 par beau temps, D2 = -4,77 une pluie forte (30 à 100mm d'eau sur un fourrage de 2 à 5 jours au sol)
R = 0,941 ; SR = +/- 1,73 ; n = 154

(4) MAT foing kg^{-1}MS = 0,00319*(MAT Vert)^2 -0,0145 MS Fanage*VIOLENCE
-0,183 MS Grange*VEGE +75,4 + D1
D1 = -6,52 pour le premier cycle, D1 = +6,52 pour les repousses
La dispersion des valeurs en cas de pluie ne permet pas de proposer de chiffres.
R = 0,943 ; SR = +/- 6,44 ; n = 117

(Les équations (3) et (4) sont utilisables pour des fourrages en cours de séchage ou pour des foins dont la teneur en MS est comprise entre 45 et 85%. Des explications plus complètes de leur mode d'utilisation sont dans l'annexe 5.).

Les modifications dues à la fenaison sont le cumul des transformations physico-chimiques des végétaux (processus enzymatiques et respiration) et des pertes au sol de brisures de feuilles, plus digestibles et plus riches en azote et en minéraux que le reste du fourrage (MELVIN et SIMPSON, 1963 ; ANDRIEU et al.,1981 ; DEMARQUILLY, 1987). De plus, la pluie entraîne par lessivage les constituants solubles du fourrage. Les variables explicatives des équations (3) et (4) permettent d'exprimer et de quantifier ces phénomènes pour les végétations des Alpes du Nord.

Pour la DMO et la MAT, l'ampleur des modifications durant la fenaison est liée aux mêmes variables :

- **les teneurs dans le fourrage vert,**
- **les teneurs en MS au moment du dernier fanage et à la rentrée du foin,**
- **la végétation,**
- **les conditions météorologiques.**

Les modifications durant la fenaison sont d'autant plus fortes que le fourrage vert est de bonne qualité. La valeur des foins dépend d'abord de la valeur du fourrage vert du fait de l'extrême variabilité de ce critère : MAT comprise entre 73 et 174 g kg^{-1}MS et DMO comprise entre 57 et 77%. Durant le premier cycle, les pertes sont donc plus importantes pour les fauches précoces que pour les fauches tardives.

Les pratiques de fenaison, au travers des variables "teneurs en MS à la mise en grange et au dernier fanage " (MS Grange et MS Fanage) associées à la "violence du travail" (VIOLENCE) agissent essentiellement sur le niveau des pertes par brisures. Les manipulations sur un fourrage bien sec ont des conséquences plus importantes que le nombre de passages d'engins. Au contraire, durant la première partie du séchage, avant 50% de MS, des brassages répétés accélèrent la dessiccation sans provoquer de brisures. La mort du végétal est plus rapide, les pertes par respiration sont réduites. Un fanage tardif, voire même un andainage violent peuvent avoir des conséquences importantes sur la valeur du foin, particulièrement pour ceux riches en dicotylédones. Un passage de faneuse à toupies à 80% de MS entraîne une baisse moyenne de 1,5 g kg^{-1}MS de MAT et de 0,4% de DMO par rapport à un fanage à 65% de MS (valeurs obtenues par ajustements sur les équations (3) et (4)). Si la faneuse est utilisée violemment, les pertes sont aggravées : sur un de nos chantiers, un fanage tardif et violent a entraîné une chute de 10g kg^{-1}MS de MAT et de 2% de DMO.

Les prairies à dicotylédones subissent durant la fenaison des modifications plus importantes que celles à graminées (tableau 2-27). A teneurs en vert égales, pour un foin entièrement séché au sol, la différence est de l'ordre de 5 à 6 g kg^{-1} MS de MAT et de 1% de DMO. Les dicotylédones sèchent et meurent plus lentement, les pertes par respiration sont donc plus élevées. D'autre part, elles ont des limbes séchant beaucoup plus vite que les tiges et les pétioles. En fin de séchage, ces limbes se brisent facilement et tombent au sol. Le comportement de ces dicotylédones est à rapprocher de celui des légumineuses également très sensibles aux pertes mécaniques (ANDRIEU et al., 1981).

A teneurs en vert égales, un foin réalisé sur une repousse feuillue se modifie moins qu'un foin fait sur un premier cycle. Les différences, après ajustement statistique, sont de 13 g kg^{-1}MS de MAT et de 1% de DMO. Le séchage rapide et homogène des repousses limite les pertes par respiration et par brisures.

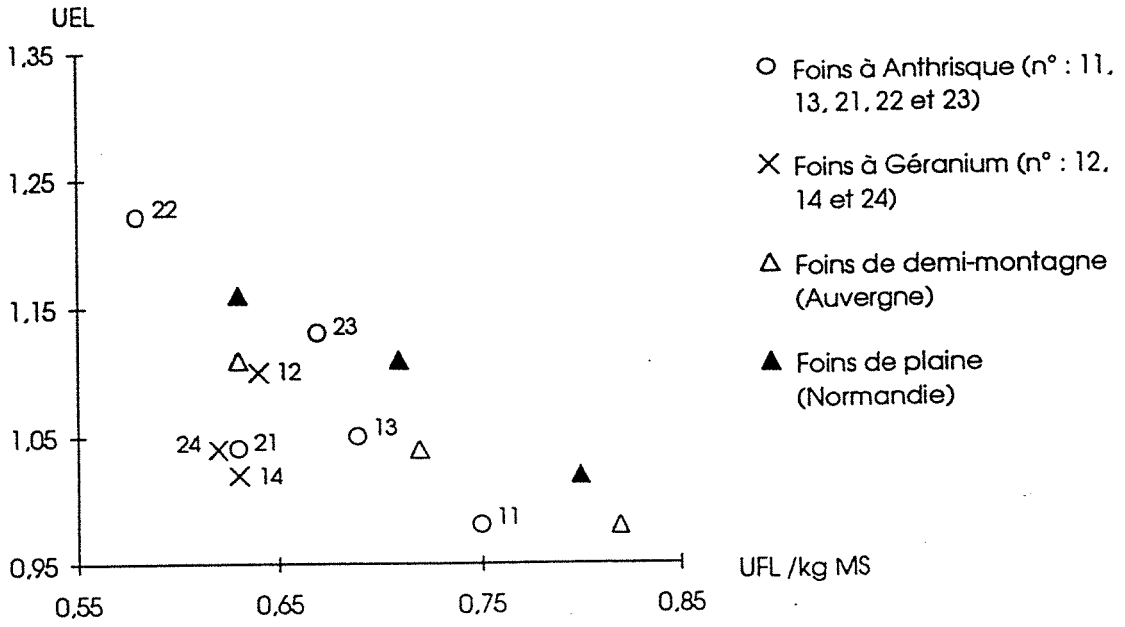
La pluie, par le lessivage qu'elle entraîne, est également un facteur important : baisse moyenne de 9% de DMO kg $^{-1}$MS pour une pluie de 30 à 100 mm et d'une durée de 2 à 5 jours avec séchages et ressuyages partiels du fourrage. Une pluie faible qui dure 1 à 2 jours au plus et qui atteint le fourrage au début de son séchage (MS comprise entre 30 et 60%) n'a par contre pas d'effet significatif.

4 - Synthèse sur la récoltabilité des fourrages

Pour le séchage, comme pour l'évolution des valeurs nutritives, les pratiques de fenaison sont introduites directement dans les modèles sans en évaluer au préalable les conséquences sur les conditions microclimatiques à l'intérieur de l'andain. De même, les précipitations et les SDS, utilisées comme descripteurs du climat, sont des images indirectes des conditions météorologiques réellement subies par les fourrages . Il s'agit donc de modèles statistiques non déterministes, même si les résultats obtenus s'accordent avec une explication physique et biologique des phénomènes.

Figure 2-48 : Relations entre les valeurs d'encombrement (UEL) et énergétique (UFL) des foins des Alpes du Nord

(comparaison avec des foins de prairies permanentes récoltés dans des conditions comparables)
(d'après HAUWUY et al., 1993)



Les informations que nous obtenons conviennent cependant à notre objectif et nous ont permis d'évaluer l'impact des états de végétation sur la récoltabilité des fourrages. Pour cela, nous avons privilégié des variables décrivant la végétation à une approche par les quantités d'eau à évaporer (DURU, 1987). Nous montrons ainsi, que **les variations morphologiques de la végétation jouent un rôle important dans la vitesse de séchage et le niveau des modifications de valeur nutritive. Elles se traduisent par des différences de récoltabilité entre :**

- **cycles de végétation,**
- **stades phénologiques du premier cycle,**
- **types d'organes (feuilles, tiges)**
- **grands types de végétation (graminées à feuilles fines, à feuilles larges ou grosses dicotylédones).**

Ces modèles peuvent également avoir des applications pratiques directes, pour définir les besoins en séchage par type de fourrage ou pour prévoir la valeur nutritive des foins, en fonction des conditions de récolte et de l'état du fourrage vert. Ils permettent enfin de mettre en évidence des conséquences pratiques en matière de conduite des chantiers de fenaison en fonction des végétations, du matériel de récolte disponible et du niveau de risque climatique accepté.

D) VALEUR D'ENCOMBREMENT DES FOINS

L'ingestibilité des foins est le dernier critère que nous avons retenu pour caractériser l'aptitude des végétations des prairies de fauche aux différentes fonctions agricoles. C'est un critère important prenant en compte les animaux.

Les mesures d'ingestibilité sont complexes et exigent des quantités de fourrages importantes. Le nombre de tests reste donc limité. Les foins riches en dicotylédones, dont l'ingestibilité n'était pas connu ont été privilégiés.

Les valeurs d'encombrement des foins ont varié de 0,98 à 1,22 UEL kg^{-1}MS. Ces valeurs d'encombrement sont d'autant plus faibles que la digestibilité et donc la valeur énergétique correspondante sont élevées (figure 2-48). Cependant, la valeur nutritive n'explique pas entièrement la variabilité des ingestibilités mesurées dans cette expérimentation, même pour un type de foin donné. Le foin 21, par exemple, qui contient 40% d'ombellifères (*Anthriscus sylvestris*) a une valeur d'encombrement plus faible que le foin 23, ayant 60% d'ombellifères. Cette variation dans le taux des dicotylédones et donc en particulier dans la proportion des grosses tiges creuses d'*Anthriscus sylvestris*, peut expliquer une part de la variabilité.

Pour une même valeur énergétique, les foins riches en dicotylédones se caractérisent par une ingestibilité supérieure à celle des foins de prairie permanente de demi-montagne d'Auvergne (plus 5% environ) et de plaine (+10% environ). Néanmoins, l'alimentation des animaux à volonté s'est traduite par un taux de refus particulièrement élevé : de l'ordre de 20%, à comparer aux 10%, valeur considérée comme moyenne sur des foins de graminées fauchés de façon précoce. Ces refus traduisent un tri important des animaux. La valeur énergétique des refus est en moyenne 12% inférieure à celle des foins. Les refus sont composés de brisures de feuilles, et surtout des grosses tiges d'*Anthriscus sylvestris* ou de *Geranium sylvaticum* mais

Tableau 2-28 : **Les facteurs de variation des critères de la valeur d'usage dans les prairies de fauche des Alpes du Nord**

CRITERES DE LA VALEUR D'USAGE	FACTEURS DE VARIATION
Evolution de la biomasse	Varie de façon continue avec : • la disponibilité en nutriments (type et dose de fertilisation organique, complémentation minérale) • le régime hydrique (contexte pédoclimatique et précipitations), • le régime thermique (avancée de la saison de végétation, températures)
Evolution de la valeur nutritive des fourrages verts	Est en relation avec les états de végétation suivants : • elle baisse avec l'Age de l'herbe, • elle est plus faible et chute plus rapidement dans les prairies à touffes, plus riches en tiges et à sénescence plus marquée, • elle est plus forte et baisse moins vite dans les prairies à dicotylédones, • elle baisse moins vite dans les prairies diversifiées en espèces, • dans les repousses, le taux de légumineuses a un effet favorable sur la valeur nutritive Elle est soumise à des variations interannuelles sous l'effet des précipitations et des températures.
Récoltabilité des fourrages	Un taux élevé de grosses dicotylédones ralentit de façon importante la vitesse de séchage et augmente les pertes lors de la fenaison. Des pratiques de fenaison adaptée peuvent limiter ce phénomène (PHILIPPOT et FLEURY, 1988).
Ingestibilité des foins	A valeur énergétique égale, les foins à dicotylédones ont une valeur d'encombrement plus faible que les foins de graminées. Ils occasionnent cependant plus de refus. Ceux-ci semblent liés à la composition morphologique des foins, en particulier à la proportion et à la grosseur des tiges.

aussi de celles de certains *Dactylis* âgés (HAUWUY, Com. pers., 1993) montrant ainsi l'influence de la composition morphologique des végétaux sur leur ingestibilité.

SYNTHESE SUR LES FACTEURS DE VARIATION DE LA VALEUR D'USAGE DES PRAIRIES DE FAUCHE

Dans ce chapitre, nous avons étudié les facteurs de variation de la valeur d'usage des prairies de fauche. Cette analyse, à l'échelle de la communauté, a porté sur toute la diversité régionale des pratiques agricoles et des conditions de milieu physique. Elle complète les informations analytiques présentées dans le chapitre consacré à l'étude de la diversité intraspécifique et aux convergences entre espèces. Elle permet en particulier de dresser le tableau des facteurs de variation de la valeur d'usage (tableau 2-28). Ces facteurs de variations relèvent soit :

- pour la production de matière sèche, des disponibilités en nutriments (fertilisation organique ...), du régime hydrique (le contexte pédoclimatique caractéristique stable d'une station et les précipitations) et thermique (températures),
- pour les autres critères de la valeur d'usage, d'états de végétation ayant une certaine stabilité saisonnière dans une station (taux de touffes, de dicotylédones) ou évoluant avec la croissance (phénologie et morphologie).

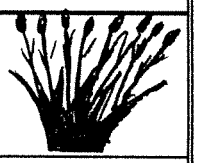
Les déterminismes de ces états de végétation influant sur la valeur d'usage, seront mis en évidence, dans la troisième partie, lors de l'étude des relations entre conditions écologiques et végétation.

Tableau 2-29 : Principaux résultats de la deuxième partie.
Structure, morphologie et valeur d'usage agricole.
Variations intraspécifiques et convergences entre espèces

Les facteurs écologiques agissent sur la végétation à différents niveaux hiérarchiques : individu, population et communauté.
Ils modifient en particulier la morphologie et la sociabilité des individus :

Ce phénomène induit une forte diversité intraspécifique pour certaines espèces :

Exemple : variations morphologiques de *Dactylis* en fonction de sa physionomie et du niveau de fertilisation (valeurs moyennes à la floraison, vallées externes)

	chétif (fert=0)	petites touffes (fert=20t ha^{-1}an^{-1})	touffes (fert=40 t ha^{-1}an^{-1})
Physionomie			
tiges/talles totales (%MS)	67	83	90
taux de sénescence	2	5	8
DMO % (valeurs ajustées)	64,0	60,2	58,6

Ces variations morphologiques ont des conséquences importantes sur la valeur nutritive et sur l'appétibilité au pâturage :

Exemple : variation, dans une même station pâturée, du taux de consommation de *Bromus erectus* suivant sa physionomie

physionomie	talles isolées	petites touffes	touffes
taux de consommation	consommé comme les espèces voisines dans le tapis	consommé en grande partie, mais après le tapis	peu consommé

Cette forte variabilité intraspécifique est compensée par des convergences de morphologie et de sociabilité entre espèces de même stratégie adaptative aux conditions de l'environnement

Pour *Dactylis* et *Festuca pratensis* de fortes doses de fertilisation, en régime de fauche, se traduisent de façon comparable par :

- une physionomie en touffes,
- une augmentation du taux de tiges et de la sénescence,
- une chute plus rapide de la valeur nutritive durant le 1er cycle.

Pour ces deux espèces, les variations de DMO sont plus fortes entre physionomies qu'entre espèces.
Il s'agit de deux espèces ayant une stratégie de compétiteurs à forte croissance verticale.

Du fait de cette convergence, il est possible de réaliser un diagnostic agronomique directement à l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues.

A l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues, il existe des corrélations significatives entre niveau de fertilisation et :

- taux de sénescence et taux de tiges,
- vitesse de chute de la valeur nutritive durant le premier cycle.

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA DEUXIEME PARTIE

Cette partie traite de l'influence des états de végétation sur la valeur d'usage agricole des prairies. Pour cela, à l'image du diagnostic réalisé par les agriculteurs, nous n'avons pas restreint nos mesures à la seule composition floristique. Nous avons également considéré la morphologie (taux de tiges, sénescence), la structure (modes d'agrégation des individus) et la phénologie de la végétation (stades de développement de *Dactylis glomerata*, mais aussi un indicateur morphologique, la longueur des tiges).

Il existe une variabilité intraspécifique de morphologie et de sociabilité suivant les conditions écologiques dans lesquelles vivent les individus. Cette variabilité, a des conséquences importantes sur la valeur nutritive et l'appétibilité des espèces (tableau 2-29). Mais, elle s'accompagne de convergences entre espèces : à mêmes conditions écologiques, des espèces différentes ont une sociabilité et une morphologie comparables. Nous avons montré que *Dactylis, Festuca pratensis, Bromus erectus, Geranium sylvaticum*, présentent des caractéristiques communes, lorsque la disponibilité en nutriments et en eau est élevée :

- sociabilité des individus en touffes,
- augmentation de la taille,
- augmentation du taux de tiges,
- augmentation de la sénescence,
- chute plus rapide de la valeur nutritive durant le premier cycle,
- plus faible appétibilité au pâturage et défoliation réduite.

Ces espèces ont une stratégie adaptative aux conditions de l'environnement commune. Ce sont des compétiteurs pouvant subir de légers stress ("stress-competitors" GRIME, 1979). En cas de conditions favorables elles privilégient l'investissement dans la croissance pour assurer leur expansion et ont ainsi une forte aptitude à la compétition. Il existe, dans les prairies, d'autres stratégies qui vont entraîner d'autres types de modifications des individus sous l'influence des facteurs écologiques. Néanmoins, ces différences de morphologie et de structure, ainsi que leurs conséquences sur la valeur nutritive des fourrages, se maintiennent à l'échelle de la communauté, toutes espèces confondues (tableau 2-29). A cette échelle, l'interprétation est cependant plus complexe, du fait de la diversité des stratégies et des plans d'organisation des végétaux en mélange (dicotylédones en rosettes, dicotylédones compétitrices à grandes tiges, graminées gazonnantes ou cespiteuses, ...).

Nous avons travaillé sur des critères morphologiques simples (taux de tiges, de sénescence). Il est envisageable d'étendre cette approche aux caractéristiques morphogénétiques des espèces et des populations. Leurs caractères morphogénétiques peuvent servir à une définition de stratégies sur des bases écophysiologiques : réactions des graminées en termes de densité de talles, de taille finale, de vitesse d'élongation et de sénescence des feuilles, pour différentes pressions de défoliation et niveaux de nutrition, par exemple.

Ces informations, caractérisant les propriétés communes et divergentes entre espèces, permettraient de prévoir les conséquences de pâtures ou de fertilisations sur la dynamique des caractéristiques morphologiques, mais aussi floristiques d'une végétation (LEMAIRE, 1991). En effet, connaître les limites des réactions plastiques d'une espèce est un élément clef de compréhension de ses variations de présence et d'abondance, la phase ultime de sa réponse étant la mort (ROUSVOAL et GALLAIS, 1973). Il s'agit d'approches lourdes, qui nécessiteraient de s'intéresser également aux conséquences du polymorphisme génétique sur les stratégies adaptatives des espèces. Elles ne peuvent se concevoir que pour quelques espèces ou pour certaines variétés des prairies temporaires.

Pour notre objectif, qui est de réaliser un outil de diagnostic et de pronostic d'évolution des aptitudes agricoles des couverts prairiaux, la caractérisation agronomique des couverts ne suffit pas. Le diagnostic des conditions écologiques est aussi nécessaire. Celui-ci doit permettre de comprendre les facteurs de variation de la végétation et de sa valeur d'usage.

L'objet de la troisième partie est de mettre en relation états de végétation et conditions écologiques. Nous nous intéressons, en particulier, aux états dont nous avons montré l'influence sur la valeur d'usage : groupes d'individus pouvant appartenir à des espèces différentes mais ayant la même morphologie et la même structure, certaines catégories taxinomiques comme les dicotylédones, ...

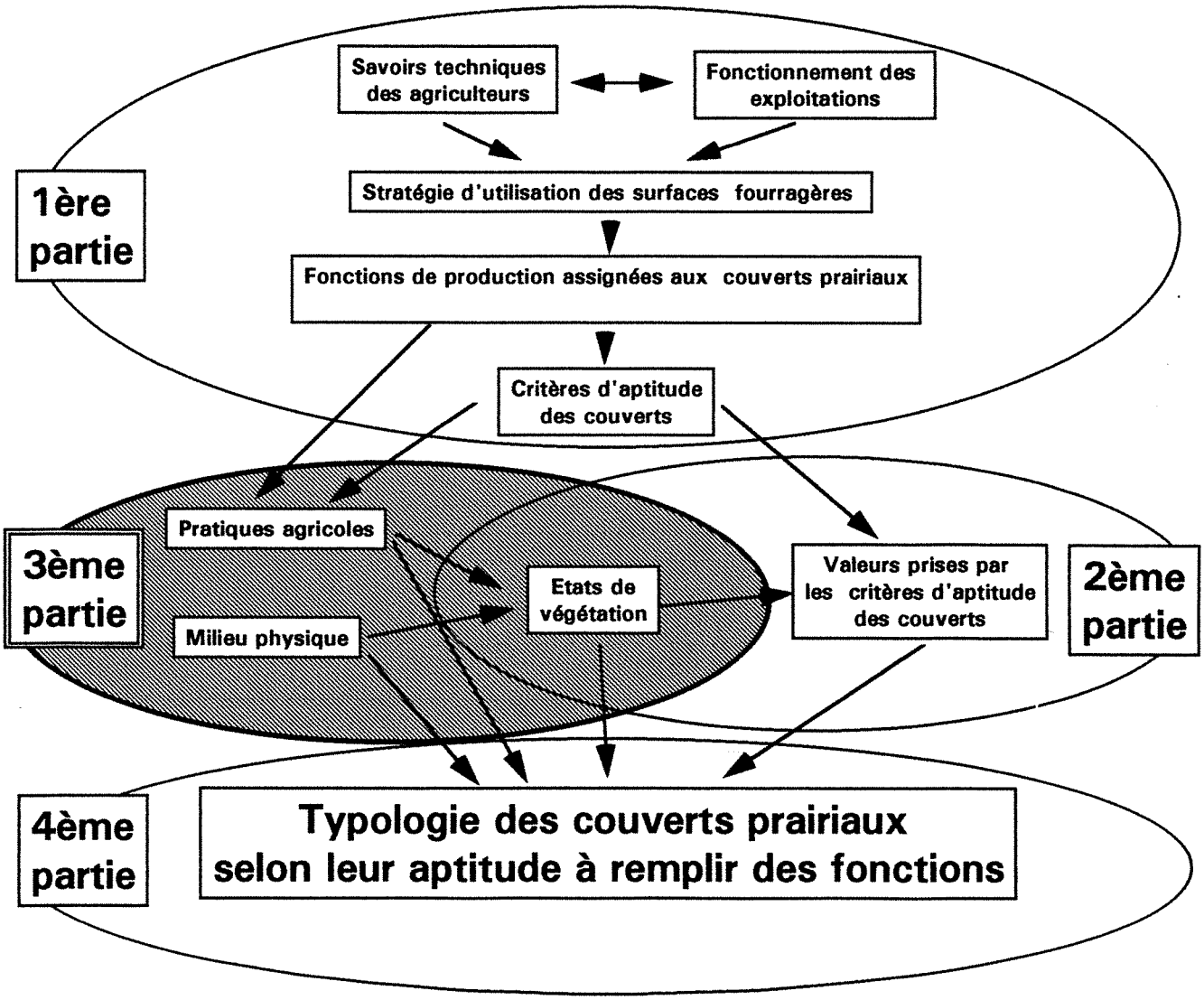
Figure 3-1 : **Troisième partie : Comprendre les déterminismes des états de végétation**

Une méthode :

Etude des différents niveaux d'action des facteurs écologiques sur la végétation

Approche comparée des relations entre facteurs écologiques et composition floristique d'une part et des relations entre facteurs écologiques et description morpho-structurale des végétations d'autre part

Dans une démarche hiérarchisée :



TROISIEME PARTIE

COMPRENDRE LES DETERMINISMES DES ETATS DE VEGETATION

INTRODUCTION

Dans la deuxième partie, nous avons montré que la composition floristique des prairies n'était pas un niveau pertinent, pour analyser les facteurs de variation de la valeur d'usage agricole. Les principaux critères, dont nous avons mis en évidence l'influence sur la valeur d'usage, sont les suivants :

- la morphologie des individus, en particulier le taux de tiges et de sénescence, mais aussi leur taille,
- la sociabilité des individus et des modules qui est un indicateur de la morphologie, mais qui traduit aussi des stratégies en matière d'occupation de l'espace,
- les différentes stratégies d'adaptation aux conditions de l'environnement, qui conditionnent la nature des réactions morphologiques et sociales aux facteurs écologiques. Ces stratégies, génétiquement déterminées, sont en nombre limité, bien inférieur à celui des espèces,
- certains groupes taxinomiques d'utilisation classique en agronomie, dicotylédones non légumineuses, graminées et légumineuses,
- la description de la communauté comme un assemblage d'éléments structuraux. Ceux-ci sont caractérisables par leur recouvrements relatifs, mais aussi par leurs modes d'organisation dans l'espace, c'est à dire leur architecture.

L'objectif de la troisième partie est double (figure 3-1) :

1. **faire un diagnostic précis des facteurs écologiques responsables des variations de végétation.** Celle-ci est décrite, en particulier, selon un mode finalisé prenant en compte des états dont nous avons montré l'influence sur la valeur d'usage,
2. **identifier dans l'ensemble de ces états de végétation des indicateurs de terrain pertinents** qui cumulent plusieurs propriétés : facilité d'identification, stabilité saisonnière, liaison avec l'écologie et la valeur d'usage agricole.

Les communautés prairiales peuvent être approchées selon plusieurs angles. Le choix d'un mode de description est toujours important, dans la mesure où il conditionne la nature et le niveau hiérarchique des phénomènes étudiés (ALLEN, 1987). Au delà d'une simple caractérisation d'états essentiels de la valeur d'usage, nous réalisons une étude complète des relations entre végétation, décrite selon différents points de vue, et facteurs écologiques.

Ainsi, dans cette partie nous pratiquons une analyse comparée des facteurs écologiques influençant la végétation caractérisée selon différentes méthodes :

1. présence/ absence des espèces,
2. abondance relative des espèces,
3. regroupement des espèces en groupes morphologiques, c'est à dire sans tenir compte des variations intraspécifiques,
4. regroupement des individus en groupes morphologiques et structuraux, en tenant compte des variations intraspécifiques,
5. recouvrement relatif des éléments structuraux de la végétation,
6. architecture de la végétation (mode d'agrégation des éléments structuraux).

Les quatre premières méthodes sont reconstitutives, la communauté est analysée comme une somme d'espèces ou d'individus. Les deux dernières méthodes procèdent par division de la communauté végétale, en éléments structuraux. Ceux-ci sont caractérisés par leur recouvrement relatif et leur mode d'agrégation (architecture). Il s'agit de méthodes descendantes qui permettent la caractérisation structurelle d'un ensemble organisé en différents éléments. Leur intérêt réside dans le fait qu'elles prennent en compte des proximités géographiques et regroupent l'ensemble des individus, toutes espèces confondues, d'un même élément. Le mode d'agrégation de ces éléments caractérise l'architecture de la communauté. Dans les prairies pâturées, ces méthodes sont particulièrement adaptées. En effet, du point de vue de l'appétibilité, il est impossible de considérer une espèce ou un individu sans tenir compte des végétaux qui se trouvent dans son voisinage immédiat et qui influencent sa consommation.

Pour les méthodes prenant en compte des aspects non taxinomiques, la définition d'une liste d'états pertinents n'est pas aisée. Les choix qui ont été faits, relèvent d'une part de l'analyse des facteurs de variation de la valeur d'usage, réalisée dans la deuxième partie et d'autre part d'hypothèses en matière d'écologie et de comportement de ces états de végétation. Avant d'entreprendre l'étude des relations entre les modes de description de la végétation et les facteurs écologiques, nous présentons la façon dont nous avons défini ces différents états.

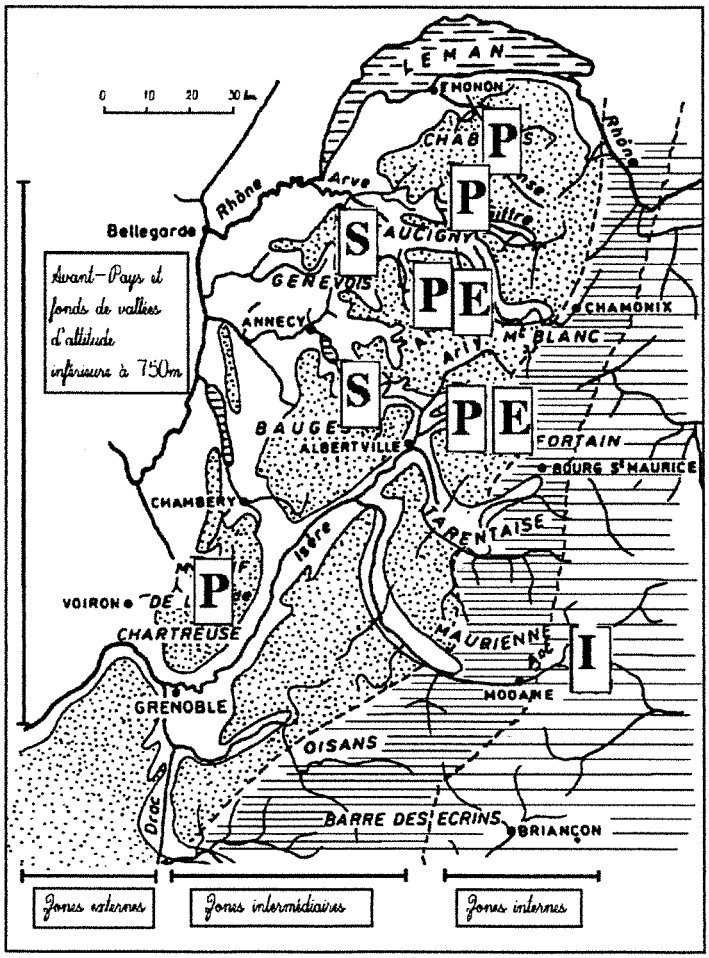
Les informations contenues dans cette partie permettent de généraliser les relations entre structure de la végétation et conditions écologiques. Elles peuvent être aussi utilisées pour proposer une adaptation des méthodes de relevé de végétation, en particulier pour mieux y intégrer des objectifs de diagnostic agronomique. Nous tentons cet exercice en conclusion de cette troisième partie.

Tableau 3-1 : Echantillons de prairies ayant servi à la mise en évidence des relations entre les pratiques agricoles, le milieu physique et la végétation

	Prairies de fauche des Alpes du Nord	Prairies pâturées de l'étage montagnard externe
nombre de stations	104	128
Modes de description de la végétation :		
présence/absence des espèces	oui	oui
abondance relative des espèces	oui	oui
espèces regroupées en types morphologiques	oui	non
individus regroupés en types morpho-structuraux	oui	non
recouvrement relatif des éléments structuraux	non	oui
architecture de la végétation	non	oui

Figure 3-2 : Les régions dans lesquelles ont été réalisées les enquêtes

Echantillon régional des prairies de fauche :
S : étage submontagnard externe,
E : étage montagnard externe,
I : étage montagnard interne
P : échantillon des prairies pâturées de l'étage montagnard externe.



I - MATERIEL ET METHODES

1 - ECHANTILLONNAGE DES STATIONS

Nous faisons appel à deux échantillons de prairies complémentaires du point de vue de la nature des observations réalisées et des conditions écologiques (tableau 3-1) :

- **un échantillon régional de prairies de fauche**, à l'échelle des Alpes du Nord. Il est constitué de relevés réalisés dans 3 secteurs biogéographiques, les étages montagnard et submontagnard du domaine externe des Alpes du Nord et l'étage montagnard du domaine interne,
- **un échantillon de prairies pâturées de l'étage montagnard** du domaine externe des Alpes du Nord.

Pour ces deux types de surfaces, nous avons réalisé un plan d'échantillonnage tenant compte de la diversité régionale des pratiques agricoles et des conditions de milieu physique. Nous avons vérifié, que les variables qui ont été utilisées pour la stratification de ces deux échantillons sont également des facteurs de variation importants de la valeur d'usage agricole. Les méthodes mises en oeuvre, sont présentées en détail dans l'annexe 6.

Dans tous les cas nous avons respecté les deux conditions suivantes :

- l'échelle d'observation est la station, zone homogène quant aux conditions physiques et techniques (GRAS et al., 1989). Pour déterminer les stations, nous avons tout d'abord divisé les parcelles agricoles en unités subissant les mêmes pratiques. Nous avons ensuite éliminé les hétérogénéités visibles (zones humides, talus, creux, ...) et les bordures de parcelles. Enfin, nous avons observé l'homogénéité visuelle de la végétation, critère souvent essentiel pour différencier les différentes stations d'une prairie pâturée. Les inventaires ont porté sur l'ensemble de la surface des stations, sauf pour les grandes stations, où nous avons réduit notre zone de travail à environ 1000 m2,
- pour que l'équilibre entre la végétation et les pratiques soit réalisé, nous avons observé des parcelles dans lesquelles les pratiques ont été stables depuis au moins de 5 ans. Nous avons retenu des prairies permanentes, depuis plus de dix ans. Les stations ayant subies un désherbage, ou une attaque de campagnols très forte n'ont pas été retenues.

A) ECHANTILLON REGIONAL DES PRAIRIES DE FAUCHE

Les descripteurs écologiques retenus pour constituer l'échantillon de stations sont, pour chacun des 3 secteurs biogéographiques, le stade habituel de fauche, le niveau de fertilisation et la fraîcheur du pédoclimat (indice de régime hydrique, mesuré par la teneur en eau du sol en période sèche). Ce choix est justifié par la très forte influence de ces descripteurs sur la valeur d'usage agricole des prairies de fauche.

Tableau 3-2 : Classes et codification des descripteurs écologiques : échantillon des prairies de fauche

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	CLASSES	CODE
Région bioclimatique : (*)	submontagnard	SUBMONT
	montagnard externe	EXTERNE
	montagnard interne	INTERNE
Régime hydrique : Pédoclimat (teneur en eau du sol en période sèche)	(12,8%) sec	SEC
	(16,8%) moyen	MESOH
	(24,5%) frais	FRAIS
	(traces d'hydromorphie) humide	HUMIDE
Régime trophique : Fertilisation totale (U ha^{-1} an^{-1})	moins de 20N (moins de 20P et 40K)	FERT1
	de 20 à 59N (moins de 60P et 120K)	FERT2
	de 60 à 119N (moins de 120P et 240K)	FERT3
	120 N et plus (120 P et plus et 240K et plus)	FERT4
Pression de défoliation : Stade de fauche (jours après début épiaison *Dactylis*)	déprimage avant une fauche avant fructification	FAUC1
	moins de 29j (jusqu'à la floraison)	FAUC2
	de 29 à 44j (floraison à fructification)	FAUC3
	plus de 44j (après la fructification)	FAUC4

(*) la région bioclimatique est un indicateur complexe du climat. Elle rend compte d'abord de différences thermiques entre secteurs, mais aussi de variations dans le rayonnement, l'évapotranspiration potentielle et le régime des précipitations. Nous n'avons pas retenu l'altitude comme indicateur du régime thermique du fait de sa très forte liaison avec la région bioclimatique.

Nous avons un échantillon de 104 stations, 33 d'entre elles sont à l'étage submontagnard, 21 dans l'étage montagnard des Alpes internes et 50 dans l'étage montagnard des Alpes externes (tableau 3-1et figure 3-2). L'étage submontagnard concerne les zones de 500 à 800m d'altitude environ, dans les secteurs de plateaux et d'avant-pays à l'ouest du massif, et les bas de versants sud des vallées. L'étage montagnard externe s'étend de 700 à 1500m environ dans la partie ouest du massif. L'étage montagnard des vallées internes, plus haut en altitude, va de 1000 à 1800m environ (RICHARD et PAUTOU, 1982 ; OZENDA, 1985).

B) ECHANTILLON DES PRAIRIES PATUREES DE L' ETAGE MONTAGNARD EXTERNE

Il s'agit de prairies pâturées ou mixtes pâturées puis fauchées. Dans ce dernier cas, il s'agit d'une pâture avec coupe des épis. Les animaux sont exclusivemnt des bovins (vaches laitières, vaches taries et animaux d'élevage)
Les variables retenues pour échantillonner les stations ont été le niveau trophique (estimé par les pratiques de fertilisation et l'importance des restitutions observée visuellement), le rythme d'utilisation et le régime hydrique. Une étude, non présentée ici, des facteurs de variation de la valeur d'usage confirme la pertinence de ces choix (LHOTELLIER, 1990).

2 - DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES UTILISES

Les informations sur les descripteurs écologiques ont été obtenues par observation des conditions de milieu (topographie, sondage pédologique) et par enquêtes auprès des exploitants pour les pratiques (annexe 6).

Dans les prairies pâturées, nous avons complété les informations données par l'agriculteur en matière de conduite du pâturage, par des observations de terrain :

- estimation du taux de consommation, par notation de l'état de l'herbe en été et en fin de saison,
- estimation de l'importance des restitutions par les animaux par comptage des bouses en fin de saison,
- estimation du piétinement par observation de la surface du sol.

Nous avons privilégié ces descripteurs à une évaluation par le chargement. En effet, cette donnée ne permet pas d'isoler les effets de défoliation, de restitutions et de piétinement. De plus le calcul du chargement se fait pour une parcelle, alors que les différentes stations de celle-ci peuvent avoir des chargements très différents.

Les descripteurs écologiques, ainsi que les découpages en classes utilisés dans les analyses multi-variées sont présentés dans les tableaux 3-2 pour les prairies de fauche et 3-3 pour les prairies pâturées.

Dans tous les cas, nous retenons un nombre limité de descripteurs écologiques : 4 pour 15 modalités au total dans l'échantillon régional des prairies de fauche. Celà s'explique parce que nous avons, avant tout traitement statistique, essayé d'élaborer des variables ayant une

Tableau 3-3 : Classes et codification des descripteurs écologiques : échantillon régional de prairies pâturées du domaine externe

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	CLASSES	CODE
Topoclimat thermique: Date du stade début-épiaison de *Dactylis*	• avant le 27 Mai	TEMPE3
	• du 27 Mai au 15 Juin	TEMPE2
	• après le 15 Juin	TEMPE1
Régime hydrique : Réserve utile du sol en mm d'eau modifiée suivant la topographie et l'étage bioclimatique	• RUC < =65 mm et bioclimat submontagnard ou montagnard sec	TSEC
	• 65mm > RUC < 100mm et submontagnard ou montagnard sec ou RUC < =65 mm et montagnard mésophile	SEC
	• RUC > =100mm et submontagnard et montagnard sec, ou 65mm > RUC < 100mm et montagnard mésophile, ou RUC < =65 mm et montagnard frais ou supérieur	MESOH
	• RUC > =100mm et montagnard mésophile ou 65mm > RUC < 100mm et montagnard frais ou supérieur	FRAIS
	• RUC > =100mm et montagnard frais ou supérieur	TFRAIS
Régime trophique : unités d'azote apportées (fertilisation organique et minérale modifiée suivant le taux de restitutions) (U de N $ha^{-1}an^{-1}$)	• 0 et restitutions faibles	Nt1
	• 0 et restitutions moyennes ou de 1 à 49 et restitutions faibles	Nt2
	• 0 et restitutions élevées, ou de 1 à 49 et restitutions moyennes ou de 50 à 99 et restitutions faibles	Nt3
	• de 1 à 49 et restitutions élevées ou de 50 à 99 et restitutions moyennes ou plus de 99 et restitutions faibles	Nt4
	• plus de 99 et restitutions moyennes ou élevées	Nt5
pH du sol à -20cm	• pH < =5,5	pH1
	• 5,5 < pH < =6,5	pH2
	• pH > 6,5	pH3
Pression de défoliation : Type d'utilisation	• PP(P), pâturage libre ou peu rationné, temps de repos > =60 j.	PP
	• PPP(P), pâturage rationné, temps de repos de 40 à 60 j., premier passage moyennement précoce	PPP
	• PPPP(P), pâturage rationné, temps de repos < 40 j., premier passage précoce	PPPP
	• P (P)F P, pâturage rationné, au moins une fauche, temps de repos estival avant fauche > =60 j.	PFP
	• PPF(R)P, pâturage rationné, temps de repos avant fauches < 60 j., premier passage précoce	PPFP
Taux de consommation	• peu consommé	CON1
	• assez bien consommé, hauteur de pâturage de 5 à 8 cm pour le tapis, souvent supérieure à 8 10cm pour les touffes, reste des touffes plus hautes en fin de saison	CON2
	• bien consommé, hauteur de pâturage de 4 à 8cm pas ou peu de touffes plus hautes en fin de saison	CON3
	• rapé, hauteur de pâturage de 2 à 4 cm, il ne reste rien ou presque en fin de saison	CON4
Pression mécanique : Type de piétinement	• sol poinçonné	PIE1
	• sol défoncé et/ou compacté sur moins de 30% de la surface	PIE2
	• sol défoncé et/ou compacté sur plus de 30% de la surface	PIE3

signification biologique et exprimant au mieux un facteur écologique. Les transformations appliquées aux données de terrain, pour obtenir ces descripteurs, sont présentées dans l'annexe 6. Par précaution, les analyses de départ ont été cependant réalisées avec un plus grand nombre de descripteurs écologiques. Cette technique nous a permis de situer ceux que nous avons retenu en terme de liaison avec d'autres descripteurs des mêmes facteurs écologiques.

3 - MODES DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION

A) METHODES D'INVENTAIRE DE LA VEGETATION

Pour les prairies de fauche, les mesures sur la végétation ont toutes été effectuées durant le premier cycle de végétation, entre l'épiaison et la fructification des graines de *Dactylis.*

Pour les prairies pâturées, les relevés ont été effectués sur des repousses estivales, souvent feuillues, mais pouvant contenir un pourcentage non négligeable d'épis suivant les conditions des pâtures précédentes.

1 - Composition floristique

La nomenclature utilisée est celle de Flora Europea (TUTIN et al., 1964 à 1980). Les espèces ont été déterminées à l'aide de la flore portative de BONNIER (1974) et de la flore de la Suisse de BINZ et THOMMEN (1976).

Présence des espèces

L'observation détaillée de la liste des espèces présentes est réalisée en parcourant l'ensemble de la surface de la station.

Abondance et abondance-dominance des espèces:

Dans les prairies de fauche, nous avons utilisé la méthode des poignées de DE VRIES (POISSONNET P. et J., 1969) en effectuant 50 poignées par station. Pour chaque espèce nous avons calculé l'abondance relative ou B%.

Dans les prairies pâturées nous avons utilisé les coefficients d'abondance-dominance de BRAUN-BLANQUET (HEDIN et LEFEBVRE, 1951 ; GOUNOT, 1969). Nous avons ensuite transformé ces coefficients d'abondance-dominance en pourcentages de recouvrement relatif, afin que les totaux entre stations soient égaux et aient une valeur de 100.

Nous avons fait le choix de cette méthode d'inventaire rapide afin de privilégier les observations concernant la structure de la végétation.

Les méthodes utilisées en prairies de fauche et en pâtures sont différentes. Dans les prairies de fauche, les B% sont des estimations de la biomasse relative de chaque espèce. Pour les prairies pâturées, les chiffres rendent compte d'un recouvrement relatif. Nous ne pratiquons pas d'analyse simultanée de ces deux populations et les problèmes de comparaison entre ces deux types de résultats ne se sont pas posés. Dans la suite du texte, nous désignons ces deux

méthodes sous le terme commun "d'abondance relative des espèces".

2 - Structure et physionomie de la végétation

Des observations complémentaires sur la stratification, la sociabilité, la répartition et la vigueur des individus de chaque espèce ont été réalisées de façon à caractériser la structure et la physionomie des végétations (tableau A-15 annexe 6).

Observations sur les individus

Nous avons observé, pour différents individus de chaque espèce, sur la végétation en place un ensemble de critères dont les principaux sont :

- **la taille :** hauteur des feuilles et des tiges par mesure sur une dizaine de brins d'herbe pris au hasard, largeur des feuilles en trois classes (fines, moyennes et larges)
- **la sociabilité :** notation visuelle, suivant une échelle très proche de celle de Braun-Blanquet, du mode d'agrégation des individus (ou des modules) : isolés, petites touffes, touffes, taches, tapis, ...,
- **la répartition :** individus en agrégats monospécifiques ou plurispécifiques de répartition régulière (uniforme) ou irrégulière (localisée) dans la station.

Dans une station, les individus d'une espèce peuvent présenter une certaine variabilité pour ces critères, en particulier en matière de sociabilité. Dans ce cas, le volume relatif de chacune de ces formes est estimé de façon visuelle sur le terrain.

Les observations sur les éléments structuraux dans les prairies pâturées

Ces enregistrements consistent en une identification, puis un comptage des différents éléments structuraux de la végétation.

Les éléments structuraux, en petit nombre dans une station sont des unités physionomiquement homogènes, dans lesquelles les individus d'une même espèce ont la même sociabilité : touffes de graminées à feuilles larges (*Dactylis*, *Festuca pratensis*), taches monospécifiques de dicotylédones rampantes (*Ranunculus repens*, *Aegopodium podagraria*) ou tapis de graminées à feuilles moyennes et petites dicotylédones par exemple.

Dans une station, nous procédons tout d'abord à l'identification et à la description de ces éléments structuraux : relevé de végétation avec notation de l'abondance-dominance, de la sociabilité et de la vigueur des espèces pour chaque élément. Ensuite, nous effectuons un comptage de leur recouvrement relatif sur 100 points espacés de 1 mètre le long de lignes traversant la station.

Les proximités entre éléments structuraux sont également enregistrées : touffes au hasard, touffes groupées autour des déjections, tapis intersticiel entourant des touffes, ...

Un croquis de la physionomie de la végétation complète ces observations : schéma en coupe et en plan de la répartition des différentes touffes, de certaines espèces remarquables, des tapis et des taches.

Tableau 3-4 : Les regroupements d'espèces sur la base de leur morphologie potentielle dans les prairies de fauche :
groupes morphologiques et espèces principales

1 : Grandes graminées, feuilles larges :
Dactylis glomerata, Festuca pratensis, Lolium perenne, Phleum pratense

2 : Grandes graminées, feuilles moyennes :
Poa trivialis, Poa pratense, Arrhenatherum elatius

3 : Graminées moyennes à petites, feuilles moyennes à fines :
Agrostis capillaris, Festuca rubra,

4 : Petites graminées à feuilles moyennes :
Anthoxanthum odoratum, Briza media, Cynosurus cristatus,

5 : Légumineuses à grosses folioles :
Trifolium repens, Trifolium pratense

6 : Légumineuses à petites folioles :
Vicia cracca, Lathyrus pratensis, Lotus corniculatus, Vicia sepium

7 : Dicotylédones à grandes rosettes :
Taraxacum officinale, Plantago lanceolata

8 : Dicotylédones moyennes ou à tiges dressées peu groupées :
Ranunculus acris, Crepis biennis, Galium mollugo, Rumex acetosa

9 : Grosses dicotylédones :
Rumex obtusifolius, Anthriscus sylvestris, Geranium sylvaticum, Aegopodium podagraria

10 : Dicotylédones de strate inférieure :
Veronica chamaedrys, Myosotis sylvatica, Alchemilla xanthochlora, Cerastium arvense

11 : Petites dicotylédones à tiges uniques :
Rhinanthus minor, Leontodon hispidus

B) CONSTITUTION DES GROUPES MORPHOLOGIQUES ET STRUCTURAUX

Les procédures utilisées sont présentées en détail dans l'annexe 6.

1 - Regroupements d'espèces de même morphologie

Ces groupes morphologiques ne tiennent pas compte des variations intraspécifiques de morphologie. Il s'agit d'une méthode de regroupement simple, applicable à tout relevé de végétation. Les espèces sont réunies par rapport à des ressemblances considérées sur les individus les plus vigoureux que nous avons rencontré dans les Alpes du Nord. **Il s'agit donc d'une "morphologie potentielle de l'espèce",** susceptible de traduire un type de stratégie adaptative aux conditions de l'environnement et de rendre compte de relations assez directes entre taille maximale des espèces et conditions écologiques préférentielles.

Ces groupes sont présentés dans le tableau 3-4. Ils ont été utilisés dans l'échantillon concernant les prairies de fauche. Les critères morphologiques pris en compte sont ceux susceptibles d'avoir une influence sur la valeur d'usage et de rendre compte de certaines préférences écologiques :

- la distinction, essentielle du point de vue de la valeur d'usage, entre les graminées, les légumineuses et les dicotylédones non légumineuses,
- la taille en rapport avec la productivité potentielle et l'aptitude à la compétition, en cas de niveau de ressources élevé,
- la largeur des feuilles également en rapport avec la productivité, le régime trophique et la nature des relations de voisinage. La largeur des feuilles a aussi une influence sur l'appétibilité et l'aptitude à la récolte (vitesse de séchage, pertes de feuilles)
- la taille et le nombre des tiges, qui peuvent être liés au niveau trophique et qui sont des facteurs de variation de la valeur alimentaire.

La réalisation de groupes de morphologies potentielles à l'échelle de l'espèce pose plusieurs problèmes. Il n'est pas satisfaisant d'inclure, par exemple, dans la catégorie "grandes graminées et feuilles larges" un *Dactylis* chétif de prairie maigre. D'autre part, définir des catégories morphologiques combinant stratégies des plantes et états ayant un impact sur la valeur d'usage impose parfois des compromis critiquables mais nécessaires pour éviter la multiplication des classes. Nous avons ainsi réunis *Poa trivialis* et *Arrhenatherum elatius* dans la même classe sur la base de leur taille maximum. Mais ces deux espèces ont des stratégies différentes : la première a tendance à occuper des vides de végétation, par germination ou extension latérale, *Arrhenatherum elatius* a une sociabilité fréquente en touffes et une stratégie verticale.

Tableau 3-5 : Echantillon des prairies de fauche :
classification des individus en catégories morpho-structurales

GRAMINEES

1 - A FEUILLES LARGES EN TOUFFES
(*Dactylis, Festuca pratensis*)
2 - A FEUILLES MOYENNES EN TACHES MONOSPECIFIQUES
(*Poa trivialis, Agrostis capillaris*)
3 - A FEUILLES LARGES ET MOYENNES PAR PETITS GROUPES DE TALLES PEU INDIVIDUALISES (dans des agrégats plurispécifiques de grande surface)
(*Dactylis, Festuca pratensis, Trisetum flavescens, Lolium perenne*)
4 - A FEUILLES FINES OU MOYENNES CHETIVES ET CLAIRSEMEES
(*Festuca rubra, Agrostis capillaris, Anthoxanthum odoratum, Dactylis*)

5 - LEGUMINEUSES

DICOTYLEDONES NON LEGUMINEUSES

GROSSES DICOTYLEDONES EN TOUFFES OU EN TACHES

6 - TOUFFES D'OMBELLIFERES ET DE *RUMEX OBTUSIFOLIUS*
(*Anthriscus sylvestris, Heracleum sphondylium, Chaerophyllum aureum*)
7 - TOUFFES A FEUILLES ABONDANTES, LIMBES ETALES (horizontaux) ET TACHES MONOSPECIFIQUES A FEUILLES ABONDANTES
(*Geranium sylvaticum, Astrantia major, Polygonum bistorta, Chaerophylllum hirsutum*)
8 - TACHES MONOSPECIFIQUES A GRANDES FEUILLES, COUVERT DENSE, ESPECES RAMPANTES
(*Ranunculus repens, Aegopodium podagraria*)

DICOTYLEDONES MOYENNES

9 - GROSSES ROSETTES DRESSEES
(*Taraxacum officinale, Plantago lanceolata*)
10 - NON EN ROSETTES DRESSEES
(très diverses, *Ranunculus acris, Gallium sp, Geranium sylvaticum*)

PETITES DICOTYLEDONES, INDIVIDUS PEU AGREGES

11 - PETITES ROSETTES ET TIGES ISOLEES, PEU FEUILLUES
(*Leontodon sp, Rhinanthus sp*)

Les espèces entre parenthèses ne sont citées qu'à titre d'exemple, elles ne représentent pas la liste exhaustive des espèces pouvant prendre un type morpho-structural, de plus elles peuvent également se rencontrer dans d'autres catégories morpho-structurales.

2 - Les regroupements d'individus par groupes morpho-structuraux

Pour prendre en compte ces problèmes, nous avons pratiqué une classification des individus sur la base conjointe de leur morphologie et de leur structure réelle dans les différentes stations et non plus sur leur simple affiliation à une morphologie potentielle de l'espèce. Ces regroupements d'individus, constitués avec les mêmes préoccupations en matière de traduction de l'écologie et de la valeur d'usage, ont été faits en considérant plusieurs critères :

1. la distinction, classique en agronomie, entre les graminées, les légumineuses et les dicotylédones non légumineuses est conservée,
2. les sociabilités des individus, en touffes de grande taille ou en taches monospécifiques (agrégat de $2m^2$ au plus) sont prises en compte, pour leurs conséquences sur la morphologie (taux de tiges, de sénescence), la valeur d'usage (en particulier la valeur nutritive) et pour l'expression visible d'une tendance à la dominance d'espèces à stratégie verticale (touffes) ou latérale (taches),
3. les individus coexistants dans des agrégats plurispécifiques de grande surface sont décrits par leur taille et leur forme (rosettes, tiges isolées, ...). Nous utilisons ces critères de taille et de forme pour traduire des différences de comportement de croissance et de morphogénèse d'une part, de conditions écologiques d'autre part
4. nous considérons aussi le port des feuilles qui est un indicateur du mode de pénétration de la lumière dans le couvert. Par exemple, un port étalé procure, à indice foliaire égal, un ombrage plus fort aux individus en strate inférieure qu'un port dressé (GILLET, 1980). Il entraîne donc une plus forte sénescence.

Ces trois critères nous permettent d'établir 11 groupes morpho-structuraux traduisant des différences essentielles entres végétaux (tableau 3-5).

Afin de ne pas prendre le risque d'utiliser une classification trop schématique, nous avons pratiqué une approche complémentaire plus détaillée. Des critères supplémentaires ont été utilisé pour réaliser des sous classes dans la classification initiale. Ces critères peuvent apporter des précisions en matière d'écologie, car ils se réfèrent à des stratégies végétales et à des relations de coexistence ou de dominance entre végétaux. Ils traduisent également des variations de valeur d'usage, qui sont cependant secondaires par rapport aux distinctions essentielles de la classification de base.

Pour les sociabilités en touffes et en taches, nous avons fait des distinctions suivant des critères morphologiques fins (largeur, dureté des feuilles) et de biologie des espèces (colonisatrices d'espaces vides par exemple ou remontaisons). Pour les individus dans des agrégats plurispécifiques nous avons tenu compte plus de façon précise du mode de disposition des feuilles et des tiges. Nous obtenons une classification détaillée avec 24 classes (tableau A-x, annexe 6).

Le tableau 3-6 illustre, par quelques exemples, les principes de répartition d'espèces de sociabilité variable dans différents groupes suivant le mode de description de la végétation. Ainsi, *Dactylis* pour les présences, les abondances et les morphologies potentielles appartient toujours au même groupe quelle que soit sa sociabilité. Pour la morpho-structure son appartenance à un groupe varie en fonction de sa sociabilité et de sa vigueur.

Tableau 3-6 : Echantillon des prairies de fauche :
exemples de répartition de quelques espèces de sociabilité variable dans différents groupes, suivant le mode de description de la végétation

ESPECE	*Dactylis glomerata*	*Dactylis glomerata*	*Poa trivialis*	*Geranium sylvaticum*	*Geranium sylvaticum*
Abondance % Sociabilité	20 touffes	25 isolés	30 taches	40 touffes	20 isolés
Répartition	agr. monospé.	agr. plurispé.	agr. monospé.	agr. monospé.	agr. plurispé.
Vigueur	vigoureux	chétif	moyenne	vigoureux	moyennne
Haut. tiges (mètres)	1	0.8	0.9	0.9	0.7
Présence espèces	*Dactylis* = 1		*Poa trivialis* = 1	*Geranium sylvaticum* = 1	
Abondance espèces	*Dactylis* = 20	*Dactylis* = 25	*Poa trivialis* = 30	*Geranium sylvaticum* = 40	*Geranium sylvaticum* = 20
Morphologie potentielle des espèces	Grande graminée feuilles larges		Grande graminée feuilles moyennes	Grosse Dicotylédone	
Morpho-structure des individus	Graminée f. larges en touffes	Graminée f. fines ou moy. chétives	Graminée f. moy. tache monospécifique	Grosse dicotylédone en touffe	Dicotylédone moyenne
Morpho-structure détaillée des individus	Graminée f. larges en touffes vert foncé tiges non remontantes	Graminée f. fines ou moy. chétives	Graminée f. moy. tache monospécifique	Grosse dicotylédone en touffe à f. à port étalé	Dicotylédone moyenne à tiges peu groupées

Tableau 3-7 : Classification des éléments structuraux de la végétation des prairies pâturées du domaine externe des Alpes du Nord

ELEMENTS STRUCTURAUX HERBACES

TOUFFES MONOSPECIFIQUES

1 - de graminées à feuilles larges :
- 1.a : à *Phleum pratense* (parfois touffes peu nettes, à allure de taches)
- 1.b : à *Festuca arundinacea* ou espèces, moins fréquentes, à feuilles dures coupantes
- 1.c : à *Bromus erectus* (réunis avec les tapis à *Brachypodium pinnatum*)
- 1.d : autres espèces (*Dactylis, Festuca pratensis, ...*)

2 - d'ombellifères :
- 2.a : à grosses ombellifères à f. découpées, (*Anthriscus sylvestris, Chaerophyllum aureum*)
- 2.b : à *Heracleum sphondylium*

3 - de grosses dicotylédones (*Rumex obtusifolius* et autres grosses plantes à feuilles entières)

4 - de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalés (*Geranium sylvaticum, Trollius europaeus*)

TACHES MONOSPECIFIQUES

5 - de graminées :
- 5.a : à feuilles moyennes (*Poa trivialis, Agrostis capillaris*)
- 5.b : à *Agropyron repens*
- 5.c : à *Brachypodium pinnatum* (réunies avec les touffes de *Bromus erectus*)

6 - de dicotylédones non légumineuses :
- 6.a : à *Ranunculus acris*
- 6.b : à grosses dicotylédones rampantes (*Ranunculus repens, Aegopodium podagraria*)
- 6.c : à ombellifères à feuilles découpées (*Chaerophyllum hirsutum*)
- 6.d : à *Petasites sp.*
- 6.e : à *Achillea millefolium* et petites dicots rases (*Prunella vulgaris*)

TAPIS PLURI-SPECIFIQUES

7 - couvrant mal le sol, graminées à f. moyennes rases, rosettes plaquées (*Poa annua, Plantago major*)

8 - à rosettes couvrant complètement le sol :
- 8.a : à petites rosettes, (*Leontodon sp.*)
- 8.b : à grosses rosettes dressées (*Taraxacum officinale, Plantago lanceolata*)

9 - à graminées à feuilles larges par petits groupes de talles juxtaposés (*Dactylis, Festuca pratensis*)

10 - à graminées à feuilles moyennes et larges (*Dactylis, Festuca pratensis, Poa trivialis*)
- 10.a : recouvrement *Trifolium* < 20%
- 10.b : recouvrement *Trifolium* > 20%

11 - à graminées à feuilles moyennes vigoureuses et denses en gazon (*Lolium perenne, Poa trivialis*) avec recouvrement *Trifolium* > 20 % et grosses rosettes abondantes

12 - à graminées à f. fines et moyennes vigoureuses et denses (*Festuca rubra, Poa trivialis*) avec *Trifolium* vigoureux de recouvrement > 20 %

13 - à graminées à f. fines et/ou moyennes peu denses (*Cynosurus cristatus, Festuca rubra, Dactylis*)
- 13.a : recouvrement *Trifolium* < 20 %
- 13.b : recouvrement *Trifolium* > 20 %

14 - à graminées à feuilles fines (*Agrostis capillaris, Festuca rubra*) avec petites dicotylédones et/ou *Trifolium* chétif

ELEMENTS STRUCTURAUX LIGNEUX OU PSEUDO-LIGNEUX

15 - ligneux bas : moins de 50 cm de haut (ligneux ras)

16 - ligneux haut : plus de 50 cm de haut (ligneux hauts)

Les espèces entre parenthèses sont citées à titre d'exemple. Elles ne représentent pas une liste exhaustive des espèces constitutives d'un élément et ne se rencontrent pas uniquement dans l'élément où elles sont indiquées. Les éléments structuraux mono-spécifiques sont désignés par le nom d'une espèce lorsque celle-ci y est la plus fréquente, voire la seule, toutes stations confondues.

3 - Mise au point d'une liste d'éléments structuraux

Cette approche, réalisée dans les prairies pâturées, permet d'analyser les communautés comme un ensemble composé d'éléments structuraux, eux-mêmes assemblages d'individus. Le premier niveau de classification des éléments structuraux est la sociabilité des individus : touffes monospécifiques, taches monospécifiques et tapis plurispécifiques (figure 3-3). Ces variations de sociabilité traduisent des conditions de croissance différentes. Dans cette partie, nous voulons vérifier si, pour chacun de ces trois grands types d'éléments, il existe des conditions écologiques préférentielles. Pour cette raison, nous décrivons des catégories plus précises (tableau 3-7). Cette liste précise est établie sur des distinctions relevant, en plus de la sociabilité, de critères morphologiques (largeur des feuilles, port de la plante, ...) et taxinomiques (opposition graminées, dicotylédones, ...). Dans certains cas, nous arrivons à des catégories comprenant une seule espèce ou dans lesquelles, une espèce est très fréquente. Dans ce cas, nous désignons cette classe par la sociabilité et le nom de l'espèce concernée. En effet, ces espèces n'existent pas que sous une seule sociabilité et contribuent à d'autres classes.

Dans la pratique, la description des éléments monospécifiques (touffes et taches) est similaire à celle pratiquée pour les regroupements d'individus, sur la base de leur morphologie et de leur structure (classification morpho-structurale des individus). Les catégories proposées dans le tableau 3-7 pour les touffes et les taches sont donc très voisines des catégories précédentes du tableau 3-5. Les différences s'expliquent par des variations de végétation et de critères de valeur d'usage entre prairies pâturées et prairies de fauche.

La forte abondance de *Heracleum sphondylium* en touffes dans certaines stations justifie, par exemple, de la considérer de façon distincte des touffes d'*Anthriscus sylvestris* qui ont une phénologie différente. L'épiaison très tardive de *Phleum pratense*, par rapport aux autres graminées, pose des problèmes de maîtrise des épis. Elle crée une seconde "vague" d'épiaison qui a lieu durant un autre cycle de pâture que celle de la majorité des autres graminées. Ce phénomène est surtout marqué lorsque *Phleum pratense* a une sociabilité en touffes ou en taches, compte tenu de la densité en épis et des possibilités de tri par les bovins. En prairie de fauche, cette épiaison plus tardive n'a pas les mêmes conséquences.

Pour les tapis plurispécifiques, nous caractérisons chaque élément par la physionomie des graminées dominantes, le type de dicotylédones et une estimation du recouvrement du *Trifolium repens* (tableau 3-7). Par exemple, dans un tapis à dominante de petites dicotylédones en rosettes, les graminées présentes, souvent à feuilles fines ou moyennes, sont considérées comme faisant partie intégrante de cet élément structural. Le terme "tapis à rosettes" désigne donc l'ensemble des individus de cet élément.

Comme pour les éléments monospécifiques, les critères de distinction entre tapis relèvent de critères morphologiques (largeur des feuilles de graminées, taille des dicotylédones) et des grands distinctions agronomiques entre graminées, légumineuses et plus secondairement dicotylédones. Ces catégories sont établies à l'échelle de l'élément structural. Dans les prairies pâturées, les dicotylédones sont moins abondantes que dans les prairies de fauche. Les plus abondantes et celles qui affectent fortement la valeur d'usage sont, soit en touffes, soit en taches. Pour ces raisons, elles interviennent peu dans les catégories de tapis.

Tableau 3-8 : Description de l'architecture de la végétation des prairies pâturées (liste des modalités utilisées)

DESCRIPTION ARCHITECTURALE
Répartition des touffes : • groupées sur des zones de 0,5 à 1m de diamètre • organisation linéaire, perpendiculaire à la pente
Allure des touffes : • seulement dans les zones influencées par les déjections • partout mais plus vigoureuses dans les zones influencées par les déjections • proéminentes, comme découpées par le piétinement
Etat de la végétation dans les zones influencées (stimulées) par les déjections : • feuilles plus vertes et plus longues • feuilles larges des graminées plus grosses et un peu groupées • graminées à feuilles larges en touffes • touffes et tache monospécifiques avec mortalité importante surtout au centre
Physionomie des graminées dans les zones non influencées par les déjections : • à feuilles fines en tapis • à feuilles fines et/ou moyennes à larges chétives en tapis • à feuilles fines et feuilles larges en touffes • à feuilles larges et moyennes vigoureuses en tapis • à feuilles larges par petits groupes de talles et moyennes en tapis • à feuilles larges en touffes et feuilles moyennes et larges vigoureuses en tapis
Dans les interprétations, cette description architecturale est associée à une prise en compte des principaux éléments structuraux. L'unité de mesure des éléments structuraux n'est pas leur recouvrement relatif, mais la présence d'un recouvrement relatif important (par exemple supérieur à 30% pour les tapis) (tableau A-A-20, annexe 6). L'analyse est effectuée, pour les critères architecturaux et structuraux sous forme de modalités présentes ou absentes.

Figure 3-3 : Les trois grands types d'éléments structuraux : touffe, tache et tapis

Touffe monospécifique : les brins d'herbe, les talles ont tendance à être groupés autour d'un point central.



Vue de face il y a forme en boule ou en triangle. Les touffes ont souvent une croissance verticale importante.

Touffe de graminées à feuilles larges
(ici *Dactylis glomerata*)

Tache monospécifique : les brins d'herbe ont tendance à se grouper de façon monospécifique sur des surfaces de 0,5 à 3 m² de forme variable.



Les brins ne sont pas groupés autour d'un point central. Cette forme traduit souvent l'activité de dispositifs de multiplication végétative (rhizomes, stolons) et une expansion latérale forte.

Tache monospécifique à dicotylédones rampantes
(ici *Ranunculus repens*)

Tapis plurispécifique : les individus de différentes espèces se mélangent de façon intime et forment un couvert régulier. Les brins d'une espèce sont isolés ou en petits groupes.



Tapis plurispécifique à graminées à feuilles moyennes et larges et *Trifolium.*

Ce tapis contient en mélange, diverses graminées (*Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Poa trivialis*), diverses dicotylédones (*Ranunculus acris*, *Taraxacum officinale*) et *Trifolium repens.*

A l'intérieur d'une station, la distinction entre éléments structuraux est facile. Il est par contre, sauf pour les touffes et les taches monospécifiques, plus difficile de comparer les enregistrements entre stations. Les tapis de deux stations différentes sont-ils semblables ou pas ? Pour répondre à cette question, nous avons établi une liste d'éléments structuraux présents dans les prairies pâturées. Pour cela, nous avons utilisé les relevés de végétation effectués dans chaque tapis des stations enquêtées. Nous avons effectué ensuite une classification ascendante hiérarchique sur des critères d'abondance-dominance de groupes d'individus, appartenant à des espèces différentes mais de même type de stratégie et ayant une sociabilité et une vigueur homogènes. Pour chaque tapis nous disposons donc d'une fiche d'identité sur la sociabilité, la vigueur et l'abondance des différentes espèces qui le composent.

4 - Architecture de la végétation

Pour traduire les relations entre éléments structuraux, nous avons adjoint à une description structurale par les recouvrements relatifs, des informations concernant le mode d'organisation spatiale de ces éléments.

Pour cela nous avons :

1. retenu comme unité de mesure des éléments structuraux, non pas leur recouvrement relatif, mais la présence d'un recouvrement relatif important (par exemple supérieur à 30% pour les tapis), privilégiant ainsi les éléments les plus abondants (tableau A-20, annexe 6),
2. caractérisé la répartition des touffes (au hasard, groupées, linéaires) et leur allure (autour des déjections, proéminentes, de vigueur différente), cette description de l'hétérogénéité pouvant être en relation avec des conditions écologiques ou tout au moins traduisant des conditions de vie différentes,
3. considéré que les différences de réaction de la végétation dans les zones influencées par les déjections (feuilles plus vertes et plus longues, ou au contraire touffes et taches monospécifiques avec mortalité importante) pouvaient traduire la présence de végétaux, ayant des stratégies de croissance différentes et rendre compte de niveaux trophiques différents,
4. essayé de prendre comme indicateurs très généraux du niveau des ressources et des pressions mécaniques (défoliation et plus secondairement piétinement) l'allure générale des graminées (diversité de sociabilité et de largeur des feuilles).

Ces critères architecturaux (tableau 3-8) sont exprimés sous forme de modalités présentes ou absentes.

4 - TECHNIQUES D'ANALYSE DES DONNEES

Il existe deux grands groupes de méthodes d'étude des relations entre espèces ou groupes d'espèces et environnement écologique :

- les méthodes d'analyse fréquentielle de l'écologie des espèces (DAGET et GODRON, 1982) permettent de montrer les relations entre une espèce et une suite de facteurs explicatifs. Les résultats se présentent sous forme de profils écologiques des espèces, c'est à dire de distributions de fréquences selon les valeurs successives d'un ou plusieurs descripteurs

écologiques (GODRON, 1965 ; GAUTHIER et al., 1977),

- les méthodes multi-dimensionnelles de l'analyse des données qui sont utilisées, depuis une vingtaine d'années, (LACOSTE et ROUX, 1971 et 1972 ; MONTARD (de) et GACHON, 1978a) pour étudier les relations entre, l'ensemble des espèces et l'ensemble des relevés d'une part et les facteurs de l'environnement d'autre part.

Les méthodes d'analyse des données sont en évolution constante. Aujourd'hui, il est possible de réaliser une analyse couplée des relevés de végétation et des variables écologiques (LEBRETON et al., 1988a et 1988b). Ces techniques nouvelles présentent aussi certains avantages des méthodes d'analyse fréquentielle, grâce aux mesures d'amplitude d'habitat des espèces par rapport à des facteurs (CHESSEL et al., 1982). Nous avons utilisé ces méthodes, pour obtenir une image synthétique des relations entre les différents modes de description de la végétation et les descripteurs écologiques. Nous n'avons pas procédé aux mêmes analyses statistiques pour l'échantillon de prairies de fauche et pour celui des prairies pâturées.

A) ECHANTILLON DES PRAIRIES DE FAUCHE

En écologie végétale et en phytosociologie, les analyses factorielles sont souvent appliquées à des tableaux croisés végétation/relevés, formés des effectifs ou des abondances des espèces dans les différents relevés (LACOSTE et ROUX, 1971 ; PLANTUREUX, 1983 ; BALENT, 1987 ; FILY, 1990). La signification écologique des axes factoriels qui ordonnent relevés et états de végétation est ensuite établie, soit par la recherche de corrélations entre les coordonnées factorielles des relevés et différentes variables écologiques, soit plus simplement par l'observation de la position de certaines espèces, ou de la position des stations, caractérisées par différentes modalités des variables écologiques.

Ces approches permettent la projection dans un même espace mathématique des espèces (ou des états de végétation) et des relevés. Nous avons privilégié une analyse mettant en évidence les relations entre deux groupes de variables : les états de végétation et les descripteurs écologiques. Pour cela, nous n'avons pas travaillé sur des tableaux végétation/relevés, mais sur des matrices comportant en lignes les variables de végétation et en colonnes les classes des différents descripteurs écologiques. Les chiffres des matrices sont, pour l'analyse sur les présences des espèces, l'effectif de chaque espèce pour la modalité du facteur, divisé par le nombre de stations présentant cette modalité. Il s'agit donc de la fréquence de l'espèce pour une modalité de facteur. Dans les analyses contenant des valeurs d'abondance ou de recouvrement, les chiffres sont l'abondance moyenne de l'état de végétation (espèce, groupe morphologique, ...) pour la modalité du facteur. Ce choix d'expression des effectifs ou des abondances permet d'affecter le même poids aux différentes modalités d'une variable.

Cette technique ne permet plus d'individualiser un relevé, mais les relations entre descripteurs écologiques et végétation apparaissent clairement : la contribution d'une modalité, ou de l'ensemble des modalités d'un descripteur écologique à l'inertie du nuage de points permet d'estimer son influence sur la végétation. Le classement des descripteurs écologiques par ordre de contribution décroissante permet de hiérarchiser leur poids relatif sur les états de végétation.

Chaque mode de description de la végétation (présence des espèces, groupes morpho-structuraux ...) conduit à la réalisation d'un tableau. L'analyse factorielle des correspondances (AFC) de tels tableaux, appelés sous-tableaux de Burt (BASTIN et al., 1980), est particulièrement adaptée à la mise en évidence des relations existant entre deux groupes de

variables (ESCOFFIER et PAGES, 1990).

B) ECHANTILLON DES PRAIRIES PATUREES

Pour expliquer la répartition des états de végétation en fonction des conditions écologiques, nous avons utilisé la technique de l'analyse factorielle des correspondances sur variables instrumentales (AFCVI) (LEBRETON et al., 1988a et 1988b). L'AFCVI permet de réaliser simultanément l'analyse de 2 tableaux de données :

- le tableau de présence ou d'abondance des états de végétations (en colonnes) dans *n* relevés (en lignes). Dans la bibliographie, il s'agit souvent de tableaux espèces/relevés (VOLAIRE, 1989 ; DESSELLE, 1992 ; GRANGER, 1992).
- le tableau des variables écologiques (en colonnes) dans les mêmes *n* relevés.

Les états de végétation sont les variables à expliquer, alors que les variables écologiques sont les variables explicatives. L'AFCVI sélectionne la combinaison linéaire des variables écologiques qui maximise la dispersion des valeurs des espèces (TER BRAAK, 1987). Le résultat est une ordination des espèces et des relevés directement dérivée des variables écologiques. L'AFCVI peut être vue comme "une AFC dont on force les axes à séparer au mieux les espèces selon les conditions de milieu " (DESSELLE, 1992). Elle est donc particulièrement adaptée à l'étude des relations entre les états de végétation et les descripteurs écologiques.

Deux indicateurs permettent de mesurer la pertinence des résultats des AFCVI (LEBRETON et al., 1988a) :

- le rapport des corrélations canoniques entre le premier axe de l'AFCVI et celui de l'AFC, sur le même tableau états de végétation/relevés (r1(AFCVI)/r1(AFC)), indique le taux d'explication des principaux contrastes de végétation par les variables écologiques. Ce rapport est toujours inférieur à 1, la pertinence des variables explicatives est d'autant plus forte que sa valeur est proche de 1,
- le rapport entre la somme des valeurs propres de l'AFCVI et celle de l'AFC est un indicateur global de l'influence des variables écologiques sur les variations de végétation, puisqu'il traduit la part de la variation totale du tableau végétation/relevés expliquée par les variables écologiques.

En AFCVI on peut analyser l'effet de variables, après ajustement pour l'effet de certaines autres : il s'agit des AFCVI sous contraintes (SABATIER et al., 1989 ; LEBRETON et al., 1991). Cela consiste, par exemple, à analyser l'effet du régime hydrique après ajustement de l'effet du régime trophique, c'est à dire à étudier l'effet du régime hydrique sur la part de la variation de végétation non expliquée par le régime trophique (effet du régime hydrique sachant le régime trophique). Comme en analyse de variance, on peut donc décomposer l'effet des différentes variables explicatives. En utilisant le rapport entre la somme des valeurs propres de ces différentes AFCVI et la somme des valeurs propres de l'AFC du même tableau végétation/relevés il est possible de mesurer la part de la variation totale expliquée par chaque variable écologique : régime trophique, régime hydrique sachant le régime trophique, ...

Pour savoir si un état de végétation se rencontre dans tous les relevés, ou si au contraire, il est lié à certaines conditions, nous avons calculé son **amplitude d'habitat** sur les axes F1 et F2

des AFCVI. L'amplitude d'habitat d'une espèce (d'un état de végétation) sur l'axe F1 est la variance conditionnelle de F1 pour cette espèce (CHESSEL et al., 1982). C'est une mesure de sa dispersion sur un axe d'AFC ou d'AFCVI. Un état de végétation ayant une variance forte a une valeur indicatrice faible d'une position sur l'axe. En effet, on le rencontre dans des stations ayant des positions très différentes sur cet axe.

II - RESULTATS ET DISCUSSION.

LES FACTEURS INFLUENCANT LA VEGETATION DES PRAIRIES DANS LES ALPES DU NORD

1 - CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA VEGETATION

A) FREQUENCE D'OCCURENCE DES ESPECES

La liste des espèces rencontrées par ordre de fréquence d'occurence décroissante est présentée dans l'annexe 8 pour les prairies de fauche et 9 pour les pâtures.

Pour l'ensemble des stations étudiées, les espèces présentes se répartissent de la façon suivante entre les grands groupes taxinomiques :

	prairies de fauche	prairies pâturées
Graminées :	36	29
Légumineuses :	16	16
Dicotylédones non légumineuses :	137	141
Monocotylédones diverses :	10	7
Total :	199	193

Dans les prairies de fauche, 11 espèces seulement sont présentes dans plus de 60% des relevés, 5 d'entre elles sont des graminées et 2 des légumineuses. Les dicotylédones non légumineuses représentent 65% du nombre d'espèces rencontrées. Elles sont cependant peu nombreuses dans les espèces constantes : seulement 4 dicotylédones sont présentes dans plus de 60% des relevés. Tous groupes taxinomiques confondus, 94 espèces ne se rencontrent qu'au plus dans 5% des relevés.

Dans les prairies pâturées, 18 espèces sont présentes dans plus de 60% des relevés, 8 d'entre elles sont des graminées et 2 des légumineuses. Parmi les dicotylédones très fréquentes, mentionnons *Ranunculus acris* et *Taraxacum officinale* qui sont présentes dans plus de 80% des stations. 88 des 193 espèces recensées sont présentes dans moins de 5% des relevés.

Prairies de fauche et pâtures ont donc un nombre d'espèces et des répartitions en grands groupes taxinomiques voisins.

B) UNE RELATIVE HOMOGENEITE PHYTOSOCIOLOGIQUE DES PRAIRIES

La présence de certaines espèces, considérées comme caractéristiques par les phytosociologues, permet de situer les prairies étudiées dans la classification phytosociologique (GUINOCHET, 1973b).

La répartition des forêts dans le massif alpin rend fidèlement compte de la zonation climatique. En ce qui concerne les prairies, les choses sont moins nettes et l'on constate une relative homogénéité au niveau de l'alliance phytosociologique, entre montagnard externe et interne en particulier.

La liste des espèces présentes dans les trois secteurs d'étude n'est pas identique. Mais les prairies de fauche de l'étage montagnard des Alpes externes et des Alpes internes se rattachent essentiellement à une alliance, celle du *Triseto-polygonion-bistorti* Br.-Bl. et Tx. 1943 (prairies à trisète). Pour le submontagnard, il s'agit d'un faciès frais de l'*Arrhenatherion* Br.- Bl. 1925. Ces deux alliances sont très proches et en pratique, il existe un grand nombre de faciès, déterminés par des variations locales du niveau hydrique des sols, par le gradient altitudinal ou induits par les pratiques agricoles.

Pour ces trois secteurs, les prés de fauche très secs, en adret et sur sols superficiels ou caillouteux appartiennent à l'alliance du *Mesobromion* Br.-Bl. et Moor 1938. Cette alliance est plus fréquente dans les Alpes internes que dans les Alpes externes, compte tenu du climat plus sec et de la moindre réserve utile des sols. Les échantillons de prairies que nous avons constitués ne contiennent pas de prairies de cette alliance.

Les prairies pâturées appartiennent soit à l'alliance du *Cynosurion cristati* Tx. 1947, soit au *Triseto-polygonion-bistorti* ou à l'*Arrhenatherion* dans le cas d'une pression de pâture plus faible.

C) GRANDS TRAITS DE LA VEGETATION

La flore des prairies à trisète comprend des espèces fréquentes dans beaucoup de prairies françaises : *Dactylis glomerata, Poa trivialis, Festuca pratensis, Trifolium repens, Trifolium pratense, Ranunculus acris, Taraxacum officinale* ....On y rencontre aussi des espèces, plus spécifiques du milieu montagnard : *Trisetum flavescens* pour les graminées, *Anthriscus sylvestris, Rumex obtusifolius, Geranium sylvaticum, Heracleum sphondylium, Chaerophyllum hirsutum, Polygonum bistorta* pour les dicotylédones par exemple.

Ces dicotylédones prennent parfois, sous l'influence de certaines conditions de milieu et de pratiques agricoles, un port exubérant. Elles peuvent alors représenter la majorité du volume de la végétation d'une parcelle. Beaucoup d'espèces de la prairie présentent des variations de forme. Lorsque les floraisons ne sont pas présentes, ou même malgré leur impact visuel, morphologie et structure de la végétation conditionnent de façon tout à fait prépondérante la physionomie des communautés prairiales.

Tableau 3-9 : Liaisons entre couples de descripteurs écologiques dans l'échantillon régional de prairies de fauche.

Probabilités (P %) d'observer une valeur supérieure (test du chi-2)

les probabilités (P) correspondent au risque d'erreur fait si on considère que les deux variables sont liées.

P(%)	Région bioclimatique	Pédo-climat	Fertilisation totale	Stade de fauche
Région bioclimatique				
Pédo-climat	**0**			
Fertilisation totale	**36**	**5**		
Stade de fauche	**2**	**2**	**2**	

Tableau 3-10 : Inertie des descripteurs écologiques en pour mille de l'inertie des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche

(prairies du submontagnard, du montagnard externe et interne ensemble)

(en °/°° de l'inertie totale)

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	nombre classes descripteur	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION									
		présence des espèces		abondance des espèces		morphologie potentielle des espèces		morpho-structure des individus		morpho-structure détaillée des individus	
		inertie	rang	inertie	rang	inertie	rang	inertie	rang	inertie	rang
Région bioclimatique :	3	398	**1**	313	**1**	275	**2**	162	4	173	4
Régime hydrique : Pédo-climat	4	308	**2**	311	**2**	358	**1**	307	**1**	319	**1**
Régime trophique : Fertilisation totale	4	140	4	172	4	152	4	303	**2**	297	**2**
Pression de défoliation : Stade de fauche	4	152	3	205	3	214	3	227	3	210	3
Part du milieu et des pratiques											
région et pédo-climat	7	706	1	624	1	633	1	469	2	492	2
Fertilisation et stade de fauche	8	292	2	377	2	366	2	530	1	507	1
Niveau des ressources (eau et nutriments)											
Pédo-climat et fertilisation totale	8	448		483		510		610		616	

Le rang hiérarchique des descripteurs correspond à leur classement par ordre décroissant de leur inertie relative (contribution relative). Le taux d'inertie mesure la part de variance expliquée par un descripteur relativement aux autres.

2 - ANALYSE REGIONALE DE L'EFFET DES FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LA VEGETATION DES PRAIRIES DE FAUCHE

A) LIAISONS ENTRE COUPLES DE DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES

Dans cet échantillon, il existe des liaisons entre descripteurs écologiques, traduisant une réalité du terrain, mais rendant plus complexe l'interprétation des effets des facteurs sur la végétation (tableau 3-9) :

- les stations de régime hydrique "HUMIDE" n'ont été rencontrées qu'à l'étage submontagnard alors que les stations sèches, bien que présentes partout, sont plus nombreuses dans les vallées internes. Ceci détermine la relation significative entre pédo-climat et région bioclimatique ,
- la liaison entre la fertilisation et le stade de fauche s'explique par la corrélation significative entre faibles fertilisations (FERT1) et fauche tardive (FAUC4). Les prairies peu fertilisées sont fauchées tardivement, alors qu'il existe des prairies très fertilisées pour tous les stades de fauche,
- la liaison entre stade de fauche et région bioclimatique est due au fait que la pratique de déprimage de printemps avant fauche (FAUC1) n'a été étudiée que dans le montagnard externe, où elle est la plus fréquente,
- enfin, il existe une liaison faible entre fertilisation totale et pédo-climat. En effet, les prairies non fertilisées (FERT1) sont plus rares dans les pédo-climats moyens (MESOH) que dans les stations fraîches ou sèches.

B) FACTEURS ECOLOGIQUES INFLUENCANT LA VEGETATION DES PRAIRIES

Le tableau 3-10 informe sur les différentes hiérarchies entre descripteurs écologiques et modes de description de la végétation. A cette échelle régionale large on constate :

- une forte influence de la région bioclimatique sur les présences des espèces, qui est, pour celles-ci, le descripteur écologique entrainant de loin les plus fortes variations,
- une influence à peu près équivalente de la région bioclimatique et du régime hydrique pour les variations d'abondances spécifiques,
- par rapport aux abondances, des facteurs de variation très proches pour les morphologies potentielles des espèces, avec cependant une sensibilité plus forte au régime hydrique qu'à la région,
- une forte influence de la fertilisation totale et du stade de fauche, donc des pratiques, en ce qui concerne la morpho-structure des individus.

La bibliographie, mentionne souvent le fait que les présences des espèces rendent compte des facteurs du milieu physique (régime hydrique en particulier) et que les abondances sont plutôt en relation avec les pratiques agricoles, en particulier la fertilisation (PLANTUREUX, 1983 ; FILY, 1990 ; GRANGER, 1992). Nous retrouvons aussi ce phénomène, la région bioclimatique et le contexte pédoclimatique représentent 62% de l'inertie des abondances contre 71% de l'inertie des présences. Les descriptions morpho-structurales sont plus encore sous la dépendance des facteurs relevant des pratiques agricoles : région et pédoclimat contribuent à moins de 50% de l'inertie.

Tableau 3-11 : Inertie portée par les trois premiers axes des AFC "présences des espèces" et "morpho-structure détaillée des individus "

Echantillon régional de prairies de fauche
(prairies du submontagnard, du montagnard externe et interne ensemble)

(en % de l'inertie totale)

N° AXE	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION	
	présence des espèces	morpho-structure détaillée des individus
1	46,0	39,7
2	22,9	30,5
3	9,5	13,4
Inertie cumulée des 3 1ers axes	78,4	83,6

Tableau 3-12 : Contribution relative des descripteurs écologiques aux trois premiers axes des AFC "présences des espèces" et morpho-structure détaillée des individus"

Echantillon régional de prairies de fauche

(en % de l'inertie de chaque axe)

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION							
	présence des espèces				morpho-structure détaillée des individus			
N° AXE	1	2	3	Total	1	2	3	Total
Région bioclimatique	**58**	**46**	8	**49**	19	13	25	18
Régime hydrique : Pédo-climat	**38**	25	21	**32**	**30**	32	**49**	**34**
Régime trophique : Fertilisation totale	3	5	**53**	9	24	**47**	3	**29**
Pression de défoliation : Stade de fauche	2	25	18	10	**27**	8	23	19
Part du milieu et des pratiques								
Région et pédoclimat	96	71	30	81	49	45	75	52
Fertilisation et stade de fauche	4	29	70	19	51	55	26	48
Niveau des ressources (eau et nutriments)								
Pédo-climat et fertilisation totale	40	29	74	41	54	79	52	63

Le rang hiérarchique des descripteurs correspond à leur classement par ordre décroissant de leur inertie relative (contribution relative). Le taux d'inertie mesure la part de variance expliquée par un descripteur relativement aux autres.

Cette évolution des facteurs de différenciation de la végétation traduit plusieurs phénomènes :

- le niveau des ressources (régime trophique et hydrique, tableau 3-10) et la pression de coupe influence les états de végétation définis sur des bases morphologiques ou morpho-structurales indépendamment de la région,
- la caractérisation des formes sur la base de la morphologie potentielle des espèces et non pas sur la morphologie réelle des individus dans chaque station, rend bien compte du régime hydrique (en particulier du fait d'une forte contribution des grosses dicotylédones de milieu frais) mais assez mal du régime trophique. La morpho-structure des individus est par contre liée, non seulement au régime hydrique, mais également au régime trophique. Ceci signifie qu'à même morphologie potentielle, les variations de régime trophique sont plus fortes qu'à morpho-structure réelle des individus égale. Ce résultat illustre l'importance de la prise en compte des variations de forme des individus pour un diagnostic sur le régime trophique,
- les espèces changent en fonction de la région bioclimatique, ce qui est traduit par une forte importance de la région pour les modes de description floristique. Ces très forts changements de composition floristique ne déterminent pas des modifications morphologiques et structurales importantes. Ainsi, les espèces qui se remplacent, lorsque on change de conditions macroclimatiques et d'aire de répartition biogéographique, sont représentées par des individus appartenant aux mêmes groupes morpho-structuraux. **Les espèces changent, mais les formes se maintiennent. Il s'agit d'un phénomène de convergence morphologique à niveau de ressource et de défoliation égaux.**

Les catégories morpho-structurales de végétation, que nous avons définies sur la base d'une étude des facteurs de variation de la valeur d'usage agricole, ne répondent pas aux mêmes déterminants que les variations de présences et d'abondances des espèces. En particulier, la région bioclimatique a une forte influence sur les approches taxinomiques de la végétation et masque ainsi l'effet des autres facteurs écologiques. Les approches morpho-structurales permettent un diagnostic direct sur le régime trophique et la pression de coupe, indépendamment de la région bioclimatique. Nous allons analyser plus finement ces différences, pour les présences des espèces et la morpho-structure des individus.

C) PRESENCES DES ESPECES ET MORPHO-STRUCTURE DES INDIVIDUS. DEUX MODES EXTREMES DE RELATIONS VEGETATION-FACTEURS ECOLOGIQUES

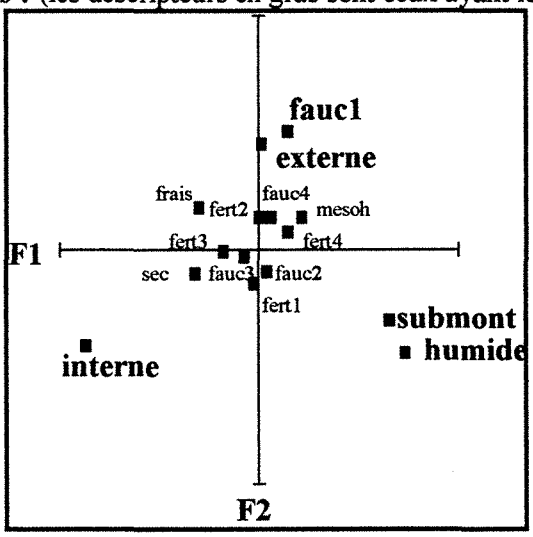
Le tableau 3-11 présente les inerties relatives portées par les trois premiers axes des AFC "présences des espèces" et "morpho-structure détaillée des individus". Quel que soit le mode de description de la végétation, les deux premiers axes portent une part importante de l'inertie, de l'ordre de 70%. L'inertie portée par l'axe F3 est nettement plus faible. Son interprétation reste cependant utile. Par exemple, pour les présences des espèces, le régime trophique contribue pour une part importante à l'inertie de l'axe F3. Ce résultat est dans le tableau 3-12 qui contient les contributions relatives des descripteurs écologiques aux trois premiers axes des AFC "présence des espèces" et "morpho-structure détaillée des individus".

Les figure 3-4 et 3-5 présentent les plans F1XF2 de ces AFC. Elles permettent d'analyser en détail les relations entre états de végétation et descripteurs écologiques.

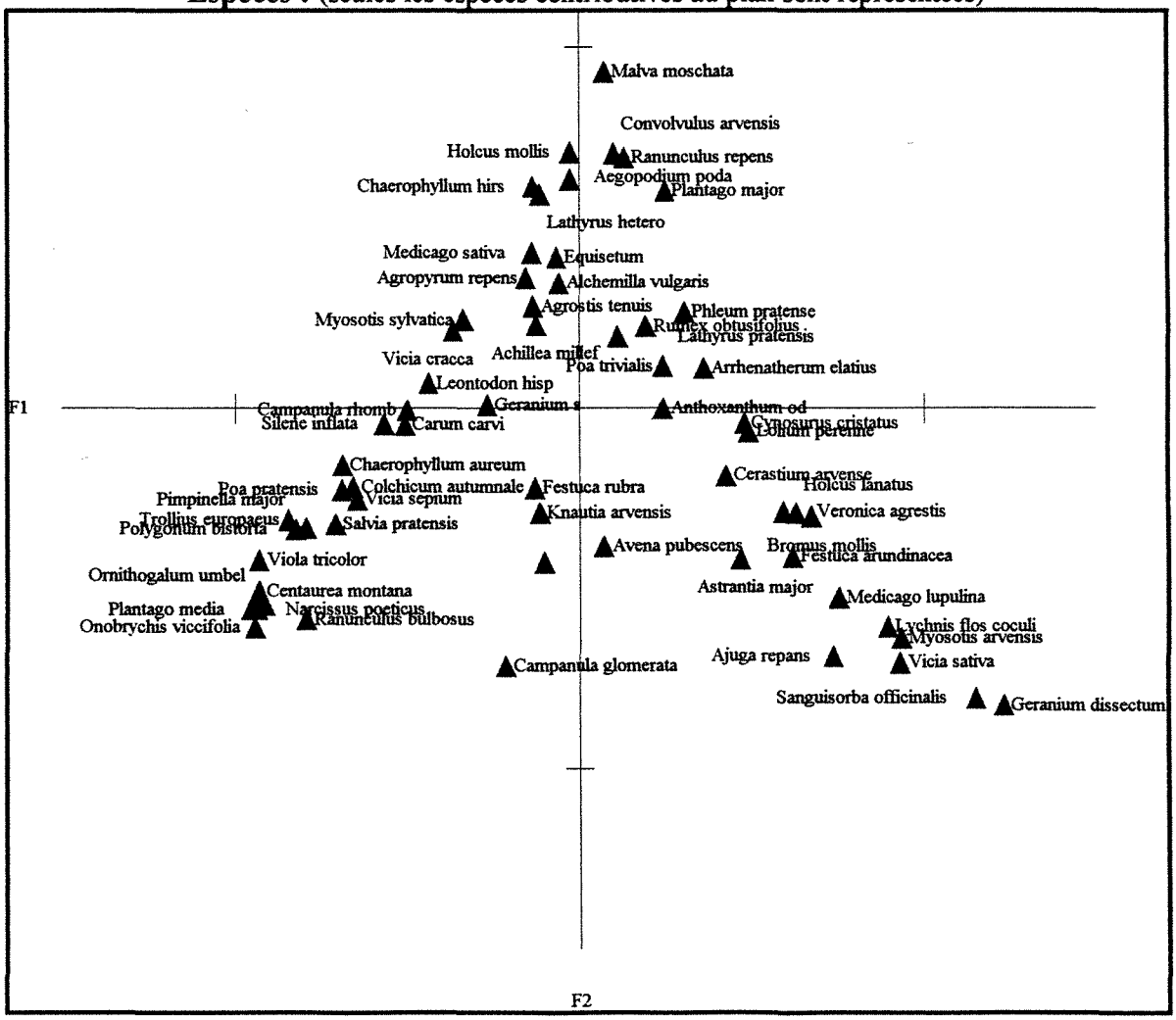
Figure 3-4: Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche.

Présence des espèces :

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Espèces : (seules les espèces contributives au plan sont représentées)



1 - Présence des espèces

Le principal facteur de différenciation des **présences des espèces**, la région bioclimatique, est bien représenté sur le plan F1XF2 de l'AFC (tableau 3-12). Les espèces contributives au plan et proches de la modalité "INTERNE" de la région bioclimatique, à l'extrémité négative de F1 sont nombreuses (figure 3-4) : *Centaurea montana, Narcissus poeticus, Ranunculus bulbosus, Onobrychis viccifolia, Plantago media, Ornithogalum umbellatum, Viola tricolor* .... Ce sont des espèces soit d'altitude, du montagnard supérieur comme *Narcissus poeticus*, soit des espèces de milieu sec comme *Salvia pratensis*, traduisant ainsi le fait que les conditions climatiques sont, dans les vallées internes, à la fois plus froides et plus sèches. Il est possible de réaliser une lecture similaire du plan F1XF2 pour les deux autres régions.

La modalité "HUMIDE" du contexte pédo-climatique n'existe que dans l'étage submontagnard, elle lui est donc fortement associée. Cela explique que le submontagnard soit caractérisé à la fois par des espèces de basse altitude (*Vicia sativa, Myosotis arvensis, Geranium dissectum*) et par des espèces de milieu humide, présentes dans certaines stations légèrement hydromorphes (*Lychnis flos-coculi, Sanguisorba officinalis*).

Pour les présences, c'est seulement sur l'axe F3, qui ne porte que 9,5 % de l'inertie totale et qui a donc un rôle marginal par rapport au plan F1XF2 que nous observons une forte contribution de la fertilisation totale : elle représente 53% de l'inertie de cet axe (tableau 3-12). A l'extrémité négative de F3, nous trouvons comme descripteur écologique les faibles fertilisations (FERT1) avec comme espèces contributives : *Festuca rubra, Lathyrus pratensis, Ranunculus nemorosus, Ajuga repans, Prunella vulgaris, Rhinanthus sp, Leontodon hispidus, Orchis sp,...* Les fertilisations élevées (FERT4) sont projetées à l'extrémité positive de F3, avec comme espèces contributives : *Lolium multiflorum, Agropyron repens, Poa pratensis, Poa annua, Ranunculus repens, ...*

Dans cette analyse des relations entre présences des espèces et descripteurs écologiques, nous avons cité beaucoup d'espèces. Les espèces dont la présence est liée à une modalité d'un descripteur écologique sont nombreuses, mais peu fréquentes. Elles ne sont pas systématiquement présentes pour une modalité d'un facteur. De plus, elles occupent rarement un volume important de la végétation. La présence de l'une d'entre elles ne donne pas d'indication fiable, ni sur le cadre bioclimatique, ni à fortiori sur le régime trophique, influant assez peu ce mode de description de la végétation. **Un diagnostic sûr passe par la réalisation et l'interprétation de relevés exhaustifs.**

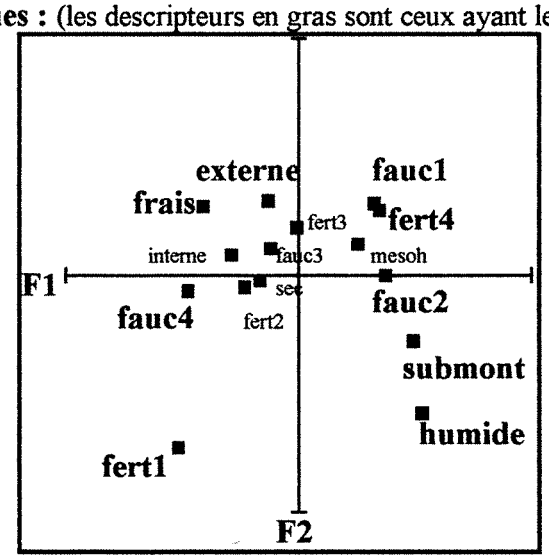
2 - Morpho-structure des individus

Pour la **"morpho-structure détaillée des individus"**, le plan F1XF2 de l'AFC permet de séparer plusieurs situations, caractérisées par différents niveaux des descripteurs écologiques importants : régime hydrique, régime trophique et pression de coupe. Une lecture attentive de la figure 3-5 montre les relations suivantes :

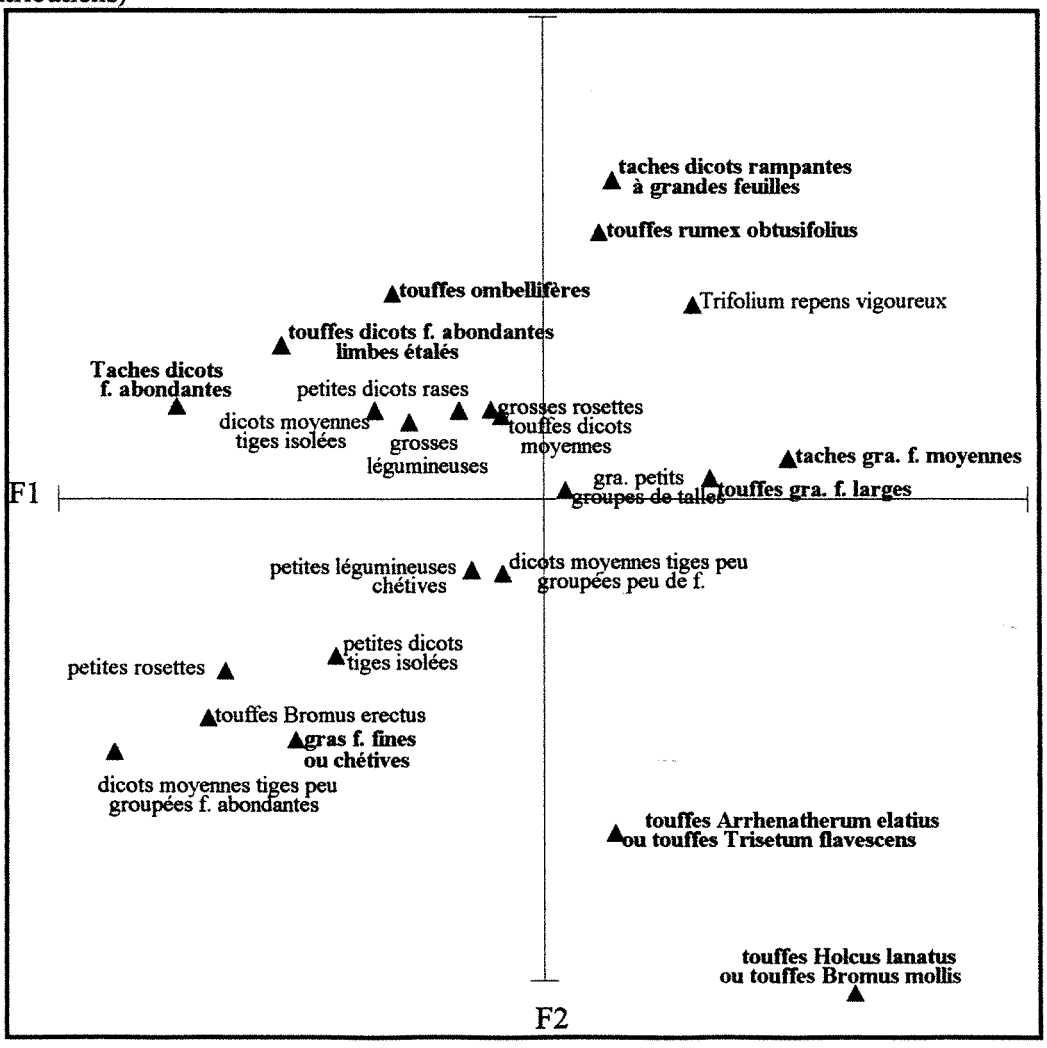
- les faibles fertilisations (FERT1), aux extrémités négatives de F1 et de F2, sont liées quel que soit le secteur bioclimatique, aux graminées à feuilles fines ou chétives ,
- les prairies très fertilisées (FERT4) et de fauche précoce (FAUC2), à l'extrémité positive de F1, sont caractérisées par les taches de graminées à feuilles moyennes (*Poa trivialis*,

Figure 3-5 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche.
Morpho-structure détaillée des individus.

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Morpho-structure des individus : (les groupes morpho-structuraux en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Agrostis capillaris) et les touffes de graminées à feuilles larges (*Dactylis*, *Festuca pratensis*),

- les prairies fraîches (FRAIS) et de fauche tardive (FAUC4), à l'extrémité négative de F1, sont riches en taches de dicotylédones à feuilles abondantes (*Chaerophyllum hirsutum*) et en touffes de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalés (*Geranium sylvaticum*, *Astrantia major*),
- dans les prairies subissant une pâture avant la fauche (FAUC1) et qui ont une forte fertilisation (FERT4), on rencontre préférentiellement les touffes de *Rumex obtusifolius* et les taches de dicotylédones rampantes à grandes feuilles (*Ranunculus repens*, *Aegopodium podagraria*). Ces formes traduisent, en conditions de nutrition élevée, une stratégie d'expansion dans les ouvertures de la végétation, soit latérale pour les taches, soit par graines pour *Rumex obtusifolius*,
- les prairies de l'étage submontagnard (SUBMONT) à l'extrémité positive de F1 et à l'extrémité négative de F2 sont riches en touffes d'*Arrhenatherum elatius* dans les situations de contexte pédo-climatique moyen ou sont caractérisées par des touffes d'*Holcus lanatus* et de *Bromus mollis* dans les situations un peu hydromorphes (HUMIDE). Ces stations, localisées dans un rayon d'une dizaine de kilomètres, ont subi une attaque de campagnols durant l'hiver qui a précédé nos comptages. Cette ouverture accidentelle de la végétation, explique la présence de ces formes en touffes chez des espèces ayant un pouvoir de colonisation rapide des espaces vides. Cette spécificité du submontagnard et de certaines de ses prairies hydromorphes est le principal impact de la région bioclimatique sur les variations morpho-structurale des individus. Le poids global de la région reste faible.

Les résultats obtenus avec une vision simple de la morpho-structure des individus en 11 classes (figure A-4, annexe 6) sont équivalents. La seule différence concerne les touffes de graminées à feuilles larges. Dans l'analyse sur la morpho-structure détaillée en 24 classes, le fait de distinguer des sous-groupes, en particulier les touffes d'*Arrhenatherum elatius* et de *Holcus lanatus*, permet de différencier certaines conditions écologiques.

Les états morpho-structuraux des individus répondent à des déterminismes complexes, dans lesquels interviennent plusieurs facteurs. Les touffes de graminées à feuilles larges, à l'extrémité positive de F1, sont, par exemple, liées aux fauches précoces (FAUC2), défavorables aux dicotylédones, et aux fortes fertilisations (FERT4) leur fournissant un régime trophique favorable. Ce mode d'interprétation diffère de celui pratiqué pour les présences des espèces. Les espèces contribuant aux axes ont des déterminismes simples, qui relèvent surtout du milieu physique.

La morpho-structure des individus permet un diagnostic précis, sur la base d'états de végétation peu nombreux, constituants visibles de la masse de la végétation. Elle met en évidence des combinaisons entre conditions de milieu physique et pratiques agricoles à la différence des espèces dont la présence peut avoir une valeur indicatrice du niveau d'un facteur du milieu physique.

Tableau 3-13 : Liaisons entre couples de descripteurs écologiques dans les prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle.

Probabilités (P %) d'observer une valeur supérieure (test du chi-2)

les probabilités (P) correspondent au risque d'erreur fait si on considère que les deux variables sont liées.

P(%)	Pédo-climat	Ferti-lisation totale	Stade de fauche
Pédo-climat			
Fertilisation totale	**13**		
Stade de fauche	**1**	**50**	

Tableau 3-14 : Inertie des descripteurs écologiques en pour mille de l'inertie des AFC "végétation-descripteurs".

Prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle

(en °/oo de l'inertie totale)

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	nombre classes descri-pteur	mode de description de la végétation									
		présence des espèces		abondance des espèces		morphologie des espèces		morpho-structure des individus		morpho-structure détaillée des individus	
		inertie	rang	inertie	rang	inertie	rang	inertie	rang	inertie	rang
Régime hydrique : Pédo-climat	3	363	**2**	314	**2**	331	**2**	286	**2**	297	**2**
Régime trophique : Fertilisation totale	3	189	3	194	3	175	3	244	3	230	3
Pression de défoliation : Stade de fauche	4	449	**1**	493	**1**	495	**1**	470	**1**	473	**1**

Le rang hiérarchique des descripteurs correspond à leur classement par ordre décroissant de leur inertie relative (contribution relative). Le taux d'inertie mesure la part de variance expliquée par un descripteur relativement aux autres.

3 - EFFET DES FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LA VEGETATION DES PRAIRIES DE FAUCHE DU MONTAGNARD EXTERNE

Nous avons réduit la gamme de variations du régime trophique et du cadre bioclimatique en travaillant sur un sous-échantillon : les prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle. Nous analysons l'impact sur la végétation de variations réduites des facteurs écologiques pour plusieurs raisons :

- nous nous situons au sein d'une seule alliance phytosociologique (le *Triseto-polygonion-bistorti*) et l'effet écrasant du cadre bioclimatique sur la composition floristique doit s'en trouver réduit,
- les prairies non fertilisées ont, comme nous l'avons vu, des états de végétation floristiques ou morpho-structuraux très caractéristiques. En ne considérant pas ces prairies, nous cherchons à mieux évaluer les différences entre régime trophique moyen et élevé,
- les relations entre couples de descripteurs écologiques sont plus faibles, facilitant ainsi l'interprétation (tableau 3-13),
- enfin, c'est dans ce secteur biogéographique que, dans la quatrième partie, nous établissons une typologie des valeurs d'usage agricole des prairies de fauche.

A) LIAISONS ENTRE COUPLES DE DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES

Dans cet échantillon, il n'existe qu'une relation significative entre stade de fauche et contexte pédo-climatique (tableau 3-13) : les prairies de fauche précoce, ou ayant un déprimage avant fauche, se rencontrent plutôt dans les milieux mésophiles, elles sont plus rares en milieu frais et surtout sec. Ceci s'explique par le fait que les situations mésophiles, souvent en fond de vallée, ou sur des replats de versant offrent des conditions topographiques plus favorables à une intensification de la conduite des prairies.

B) FACTEURS ECOLOGIQUES INFLUENÇANT LA VEGETATION DES PRAIRIES

Le tableau 3-14 présente les différentes hiérarchies entre descripteurs écologiques et modes de description de la végétation. Lorsqu'on ne considère que les prairies de fauche de l'étage montagnard ayant une fertilisation non nulle, il existe donc une forte similitude des déterminismes des végétations, quelle que soit la façon dont elle est prise en compte. Les approches floristiques (présence et abondances des espèces) et celle consistant en un regroupement des espèces de même morphologie potentielle sont simplement un peu plus liées aux conditions hydriques que les modes de description prenant en compte la morphologie et la structure des individus.

En réduisant l'hétérogénéité de notre objet d'étude nous avons effectué un changement d'échelle qui modifie les phénomènes pris en compte. Pour les présences et les abondances des espèces, nous avons ainsi éliminé les processus, à déroulement lent, d'organisation des communautés sous l'influence des facteurs climatiques et de la distribution biogéographique des espèces (ALLEN, 1987). Cette échelle d'analyse permet de comparer la valeur indicatrice des différents modes de description de la végétation dans des conditions plus homogènes.

Tableau 3-15 : Inertie porté par les trois premiers axes des AFC "végétation descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle

(en % de l'inertie totale)

N° AXE	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION				
	présence des espèces	abondance des espèces	morphologie des espèces	morpho-structure des individus	morpho-structure détaillée des individus
1	34,4	40,8	49,9	42,4	40,8
2	28,0	23,1	25,8	31,3	30,9
3	16,2	15,5	13,4	15,8	15,2
Inertie cumulée des 3 1ers axes	78,6	79,4	89,1	89,5	86,9

Tableau 3-16 : Contribution relative des descripteurs écologiques aux trois premiers axes des AFC "végétation descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle

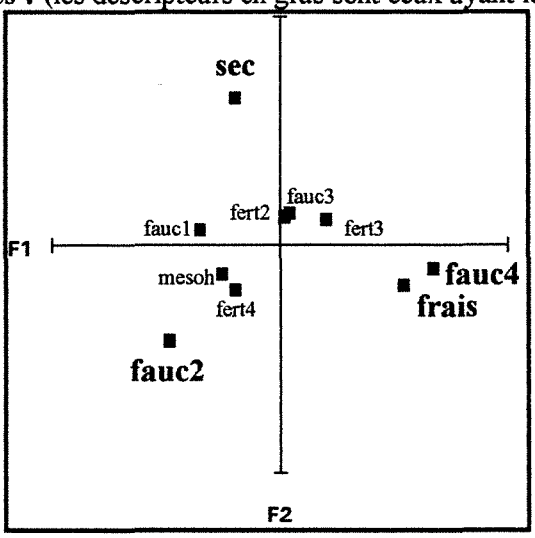
(en % de l'inertie totale)

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	mode de description de la végétation														
	présence des espèces			abondance des espèces			morphologie des espèces			morpho-structure des individus			morpho-structure détaillée des individus		
N° AXE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Régime hydrique : Pédo-climat	**63**	**30**	18	**31**	**61**	6	**40**	16	**61**	28	**47**	3	19	**63**	2
Régime trophique : Fertilisation totale	3	14	**33**	6	9	**52**	3	**43**	13	8	**34**	**37**	11	17	**57**
Pression de défoliation : Stade de fauche	**34**	**57**	**49**	**63**	**30**	**42**	**59**	**41**	**26**	**64**	19	**60**	**70**	20	**41**

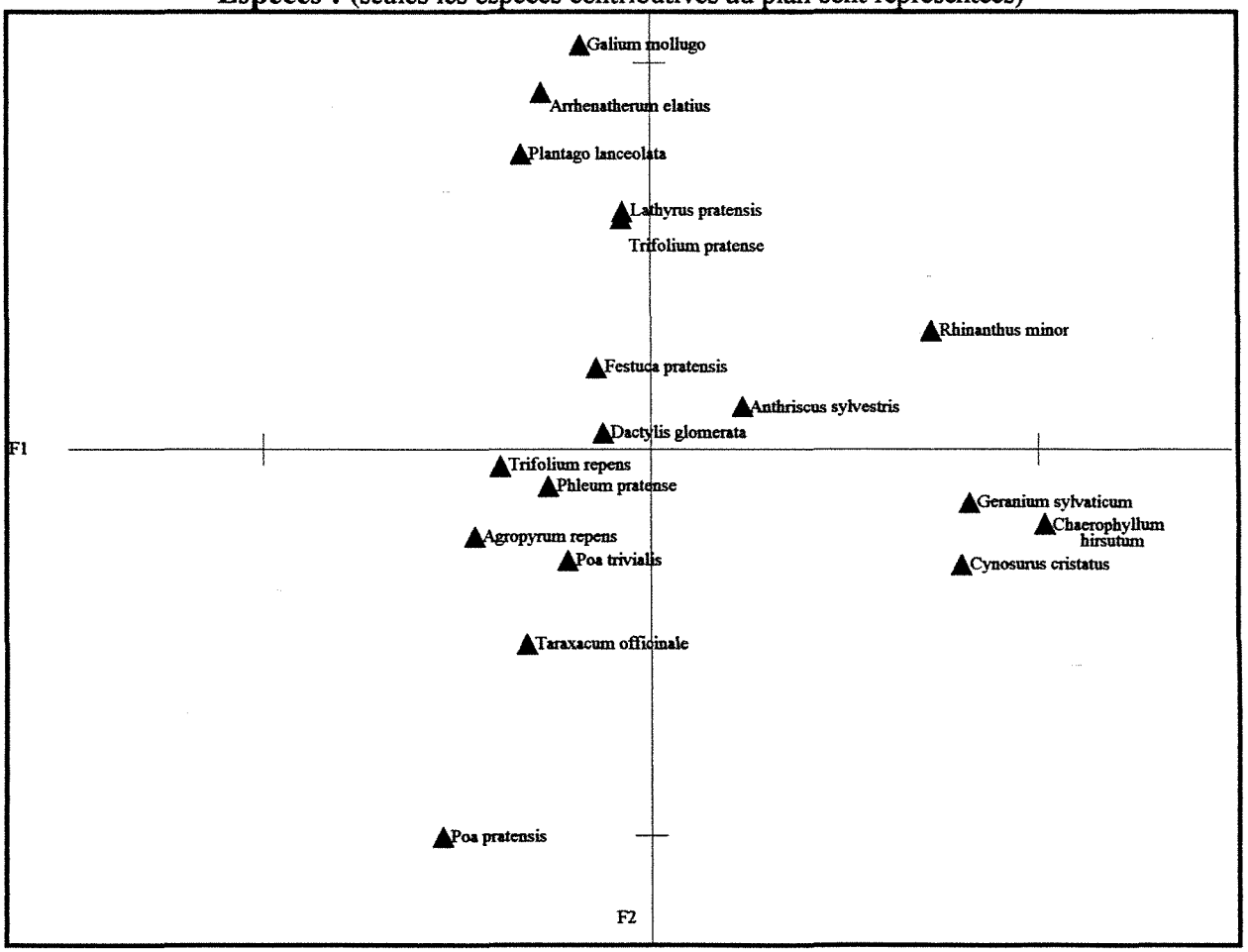
Le rang hiérarchique des descripteurs correspond à leur classement par ordre décroissant de leur inertie relative (contribution relative). Le taux d'inertie mesure la part de variance expliquée par un descripteur relativement aux autres.

Figure 3-6 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs".
Prairies de fauche de l'étage montagnard externe.
Abondance des espèces

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Espèces : (seules les espèces contributives au plan sont représentées)



C) ETATS DE VEGETATION ET DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES

Le tableau 3-15 contient les inerties relatives portées, par les trois premiers axes des AFC "végétation-descripteurs", pour les prairies de fauche de l'étage montagnard externe ayant une fertilisation non nulle. Quel que soit le mode de description de la végétation, les deux premiers axes représentent une part importante de l'inertie, toujours supérieure à 60%. L'inertie de l'axe F3 est plus faible. Le plan F1XF2, et secondairement l'axe F3, des différentes AFC permettent de faire une interprétation complète des relations entre les états de végétation et les descripteurs écologiques.

1 - Présence des espèces

Pour les présences, l'axe F1 est plus particulièrement lié au régime hydrique et l'axe F2 à la pression de coupe (tableau 3-16). L'axe F1 (figure A-5, annexe 6) oppose les milieux secs (F1 négatif) avec *Rumex scutatus, Ajuga repans, Trifolium badium, Avena pubescens, Knautia arvensis*, aux milieux frais fauchés tardivement (F1 positif) avec *Astrantia major, Chaerophyllum hirsutum Phyteuma spicatum, Colchicum automnale.* L'axe F2 permet essentiellement de distinguer, des autres situations, les prairies de fauche précoce (FAUC2) avec *Veronica serpyllifolia, Poa pratensis, Urtica dioica, Plantago major, Lolium perenne, Galeopsis tetrahit, Polygonum bistorta.* Il s'agit d'espèces qui sont petites ou rarement abondantes. Ces espèces, que nous trouvons liées à une fauche précoce, sont dans la bibliographie (KERGUERLEN, 1960 ; VIVIER, 1971 ; LANDOLT, 1977b ; DETHIOUX et al., 1983 ; ELLENBERG et al., 1991) soit de milieux ouverts ou piétinés (*Plantago major, Galeopsis tetrahit*), soit nitrophiles (*Veronica serpyllifolia, Urtica dioica*). Ce n'est sans doute pas un effet propre de la fauche précoce que nous observons, mais un effet induit : le couvert végétal n'est pas continu du fait d'une ouverture par les engins et la fertilisation, ce qui favorise ces espèces.

L'axe F3 oppose *Lolium multiflorum, Poa pratensis, Alopecurus pratensis, Holcus lanatus, Cerastium arvense, Elictotrichon pubescens* dans les fauches précoces (FAUC2) très fertilisées (FERT4) aux autres situations écologiques et aux autres espèces. Cet axe, permet donc de repérer quelques espèces plus fréquentes dans les situations intensives.

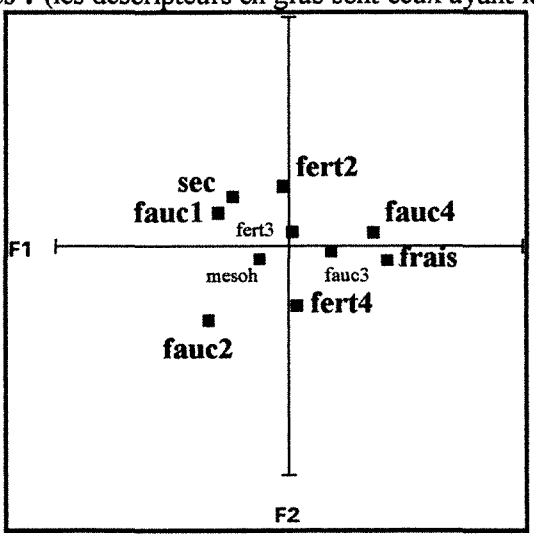
Les présences permettent un diagnostic sur les conditions de régime hydrique, alors que les liens avec les pratiques sont indirects, moins nets, ou d'interprétation difficile sur des axes porteurs d'une inertie assez faible.

2 - Abondances des espèces

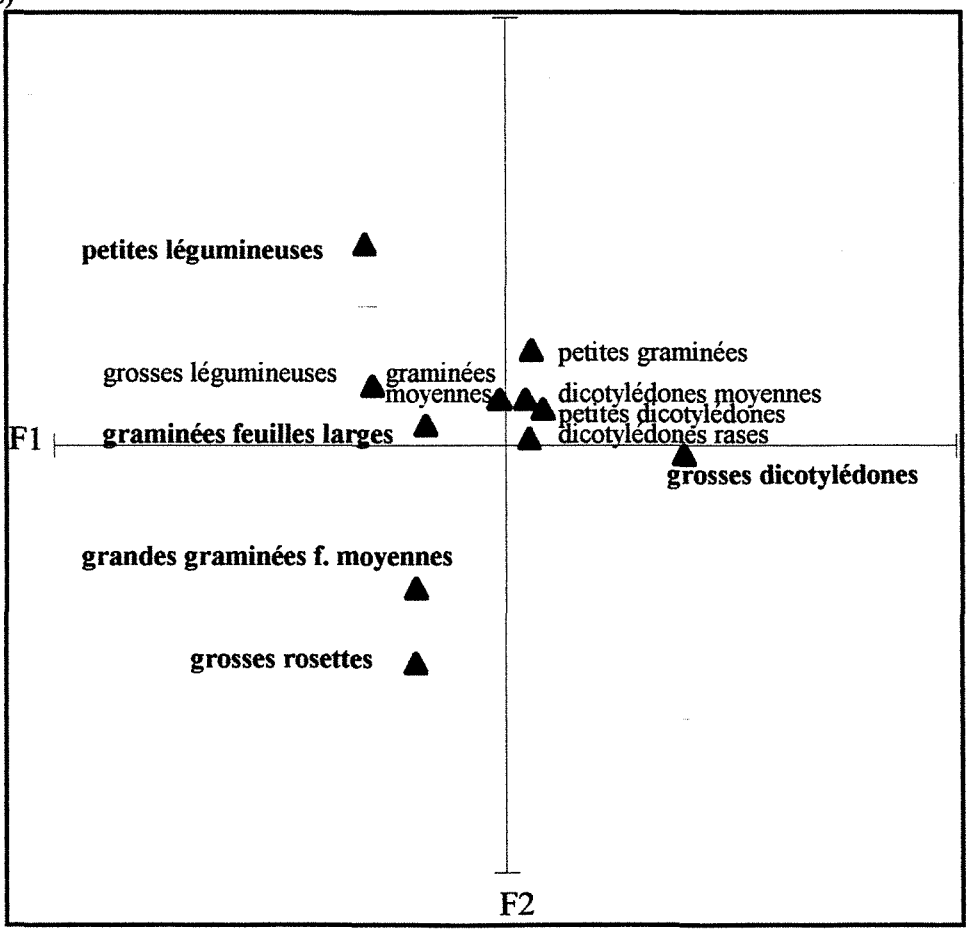
Pour les abondances, le plan F1XF2 permet d'analyser les effets de la pression de coupe et du régime hydrique (tableau 3-16). Dans la partie négative de l'axe F1(figure 3-6), en situation de fauche précoce (FAUC2) ou de pâture avant fauche (FAUC1), nous trouvons les graminées, *Taraxacum officinale* et *Trifolium repens.* La partie positive de F1 est celle des fauche tardives (FAUC4) avec la plupart des dicotylédones : *Geranium sylvaticum, Chaerophyllum hirsutum* pour les stations fraîches ou *Rhinanthus minor, Anthriscus sylvestris* dans des conditions hydriques moins marquées. La partie positive de l'axe F2 traduit essentiellement des différences de régime hydrique : *Gallium mollugo, Arrhenatherum elatius* dans les zones les

Figure 3-7 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs".
Prairies de fauche de l'étage montagnard externe.
Morphologie potentielle des espèces

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Morphologie des espèces : (les groupes morphologiques en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



plus sèches. La partie négative de F2 intègre la liaison entre stade de coupe et régime hydrique : *Poa pratensis, Taraxacum officinale* sont liées à la fois aux fauches précoces (FAUC2) et à un régime hydrique mésophile (MESOH), ainsi qu'à de fortes fertilisations (FERT4).

La fertilisation est surtout visible sur l'axe F3. Les fortes fertilisations (FERT4) sont projetées à l'extrémité positive avec comme espèces : *Anthriscus sylvestris, Veronica chamaedrys, Ranunculus repens, Taraxacum officinale, Rumex acetosa*. Les fertilisations faibles (FERT2) sont dans la partie négative de F3 avec comme espèces : *Agrostis capillaris, Anthoxanthum odoratum, Holcus mollis.*

3 - Morphologie potentielle des espèces

Le plan F1XF2 de l'AFC (figure 3-7), confirme à l'échelle de grands groupes d'espèces, le contraste, déjà remarqué avec les abondances spécifiques, entre les graminées et les dicotylédones. Sur la partie négative de F1, les fauches précoces (FAUC2) et les pâtures avant fauche (FAUC1), sont associées aux graminées, aux grosses légumineuses (*Trifolium repens et pratense*) et aux grosses rosettes (*Taraxacum officinale, Plantago lanceolata*). Les fauches tardives (FAUC4) particulièrement riches en grosses dicotylédones dans les milieux frais (FRAIS) sont à l'extrémité positive de F1.

Sur l'axe F2, très lié à la fertilisation, les petites légumineuses (*Lathyrus pratensis, Lotus corniculatus*) sont proches des fertilisations faibles à moyennes (FERT2), alors que grosses rosettes et grandes graminées à feuilles moyennes (*Poa pratensis, Poa trivialis*) sont liées aux fortes fertilisations (FERT4) et aux fauches précoces (FAUC2). Ce sont principalement les diverses catégories de dicotylédones et de légumineuses qui permettent un diagnostic sur le niveau trophique.

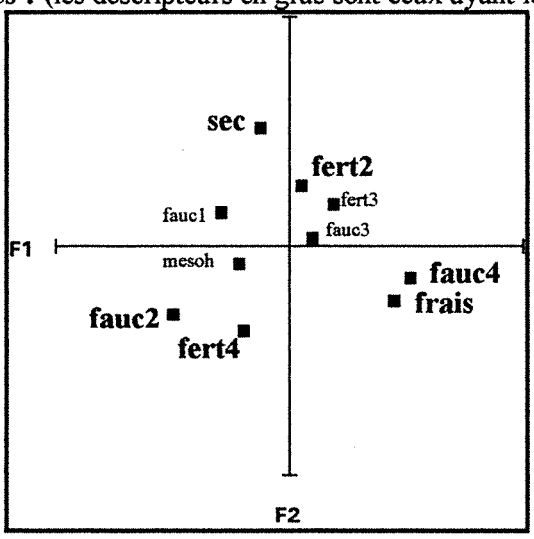
Les espèces de graminées à feuilles larges (*Dactylis, Festuca pratensis*) contribuent à l'axe F1 mais ne contribuent pas à l'axe F2. Sur l'axe F1, c'est le stade de fauche qui régle le rapport entre graminées et dicotylédones. Le taux des graminées à feuilles larges varie donc avec le stade de fauche et cela se traduit par une contribution significative à l'axe F1. Inversement, sur l'axe F2 lié à la fertilisation, les graminées à feuilles larges n'ont pas une contribution significative, car elles se rencontrent sur une gamme assez large de régime trophique. Parmi l'ensemble des catégories morphologiques de graminées, seules les grandes graminées à feuilles moyennes (*Poa trivialis, Poa pratensis*) contribuent à l'axe F2, en étant indicatrice d'un niveau élevé de fertilisation (FERT4) et d'une fauche précoce (FAUC2). Les autres catégories ne présentent pas de liaison avec les variations de niveau trophique. La morphologie potentielle des graminées, même établie sur des critères de taille, n'est pas un bon indicateur des conditions trophiques.

L'inertie de l'axe F3 est due principalement au régime hydrique. Cet axe confirme la relation entre petites légumineuses et milieu sec (SEC).

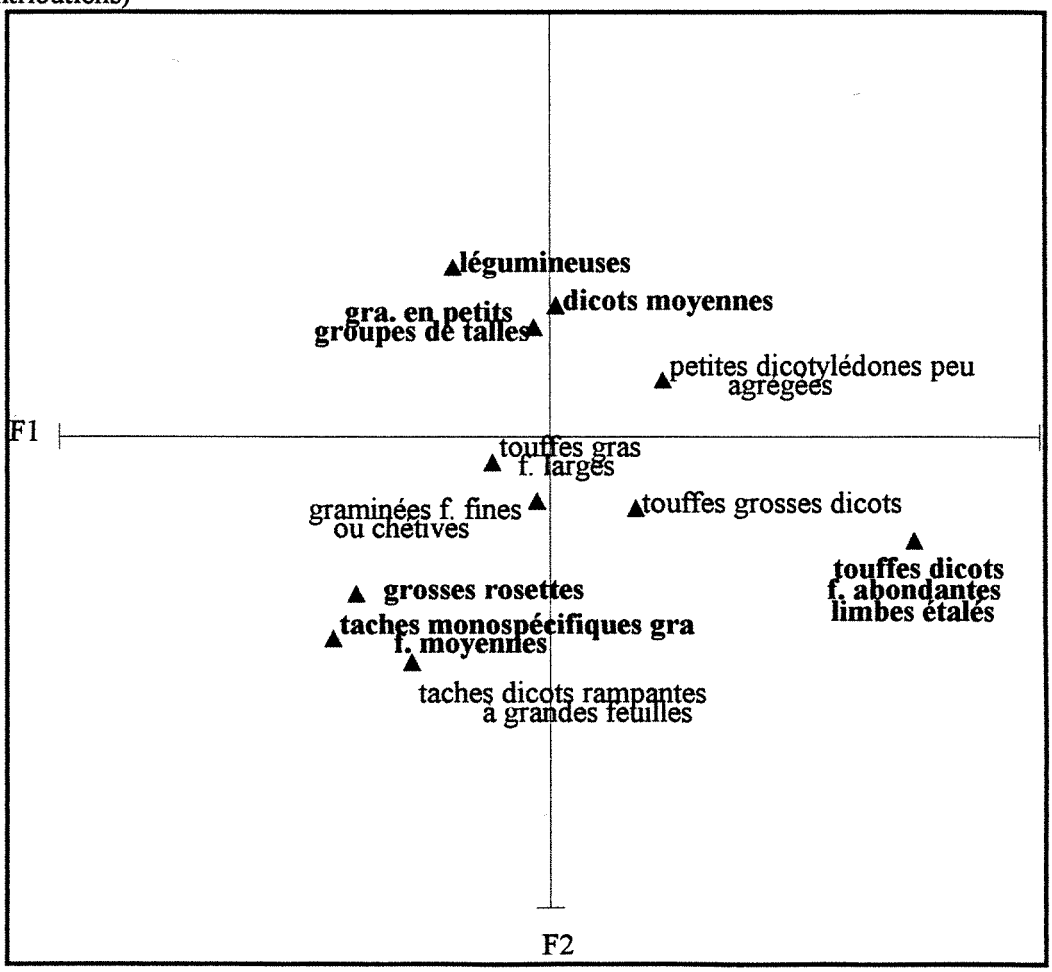
Les onze catégories de morphologie potentielle des espèces sont donc fortement liées aux descripteurs écologiques. Elles permettent un diagnostic très similaire à celui fait sur la base des abondances spécifiques.

Figure 3-8 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs".
Prairies de fauche de l'étage montagnard externe.
Morpho-structure des individus

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Morpho-structure des individus : (les groupes morpho-structuraux en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



4 - Groupes morpho-structuraux d'individus

Les groupes morpho-structuraux d'individus (figure 3-8, ou figure A-6, annexe 6 pour l'approche détaillée) sont également très liés aux descripteurs écologiques. A l'extrémité positive de F1, les fauches tardives (FAUC4) concentrent la majorité des catégories de dicotylédones : en touffes à feuilles abondantes et limbes étalés, en taches à feuilles moyennes et abondantes, de petite taille et à tiges isolées et les ombellifères en touffes . Sur la partie négative de l'axe F1, nous trouvons les fauches précoces (FAUC2) avec les différentes catégories de graminées et les rosettes.

L'axe F2, essentiellement lié au régime hydrique, porte dans sa partie positive les stations sèches (SEC) avec les touffes d'*Arrhenatherum elatius*, les touffes de dicotylédones de taille moyenne (*Centaurea jacea*, *Gallium mollugo*), les légumineuses. Dans la partie négative de F2, les stations fraîches (FRAIS) sont caractérisées par les touffes de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalés.

L'axe F3 permet d'analyser l'effet de la fertilisation. Pour la morpho-structure détaillée, les fertilisations faibles (FERT2), à l'extrémité négative de l'axe, sont associées aux dicotylédones à tiges peu groupées et feuilles abondantes peu groupées (en particulier les formes peu vigoureuses et non en touffes de *Geranium sylvaticum*), aux petites rosettes et aux graminées à feuilles fines ou chétives. A l'extrémité positive de F3, les fortes fertilisations (FERT4) sont caractérisées par les taches de dicotylédones rampantes à grandes feuilles (*Ranunculus repens*, *Aegopodium podagraria*), les touffes de *Rumex obtusifolius* et d'ombellifères. Les touffes de graminées à feuilles larges sont ,quant à elles, liées à une fertilisation moyenne à forte (FERT3).

D) SYNTHESE : ETATS DE VEGETATION INDICATEURS DES CONDITIONS ECOLOGIQUES DES PRAIRIES DE FAUCHE

A l'échelle régionale des Alpes du Nord, donc pour une gamme large de conditions, les hiérarchies des facteurs de variation de la végétation diffèrent selon le mode d'observation de celle-ci. Dans l'étage montagnard des Alpes externes, dans un cadre bioclimatique et phytosociologique homogène, les approches botaniques et morpho-structurales de la végétation ont des déterminismes écologiques proches.

En changeant la gamme de variations des conditions écologiques nous modifions la nature des processus étudiés (ALLEN, 1987). Nous faisons varier, en particulier, l'impact des facteurs, liés au zonage bioclimatique des Alpes du Nord, dans la différenciation des compositions floristiques. L'analyse comparée des résultats obtenus pour ces deux échelles montre que la nature et les conditions d'un diagnostic de terrain sont très différentes suivant les méthodes d'observation de la végétation :

- **le diagnostic floristique, surtout celui fait sur les présences, nécessite un relevé exhaustif des espèces, alors que le diagnostic morpho-structural se fait sur la base d'états de végétation peu nombreux et représentant un volume important de la végétation.** De plus, nous constatons, comme d'autres auteurs (PLANTUREUX, 1983 ; FILY, 1990 ; GRANGER, 1992) que la liste des espèces présentes est peu en relation avec les pratiques agricoles,

- **les états morpho-structuraux des individus, définis sur la base de connaissances des facteurs de variation de la valeur d'usage agricole d'une part, sur un état observé de l'appareil aérien d'autre part, permettent une interprétation agronomique et écologique plus directe des phénomènes.**

L'état morpho-structural d'un individu traduit l'expression, pour un niveau donné des facteurs écologiques, d'une stratégie d'adaptation aux conditions de l'environnement. Ainsi, une sociabilité en taches monospécifiques d'individus appartenant à des espèces ayant une stratégie d'expansion latérale et d'investissement dans la croissance, traduit des conditions de niveau trophique élevé et des périodes durant lesquelles il y a, ou il y a eu récemment, ouverture du couvert végétal (piétinement, brûlures par la fertilisation, étouffement par la compétition en période de forte croissance, ...). Plusieurs espèces ont une telle stratégie, par exemple *Ranunculus repens*, *Aegopodium podagraria*, *Agropyron repens*, *Poa trivialis* qui sont des "competitive-ruderals" (GRIME, 1979). Sous l'influence des conditions écologiques, les modifications morphologiques et structurales de ces espèces sont convergentes.

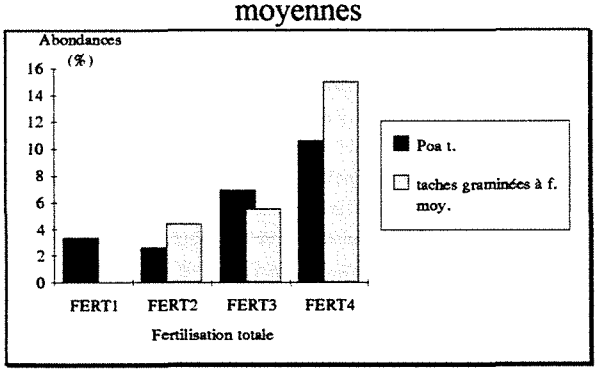
L'origine de la variabilité morphologique et structurale des individus peut relever soit de modifications plastiques des phénotypes, soit être à des degrés variables, le résultat d'adaptations génotypiques (BARBAULT, 1980). Les deux processus peuvent d'ailleurs agir simultanément (FILY, 1990). **L'approche morpho-structurale des individus prend en compte, de façon globale sans faire la part de l'un et de l'autre, les réactions plastiques des phénotypes et une éventuelle micro-différenciation génétique de populations. Son originalité réside dans la nature de la mesure qu'elle permet dans les communautés. C'est une mesure des performances de productivité des individus** (ALLEN et WYLETO, 1985), **combinée au type stratégique des espèces auquels ils appartiennent, ce qui autorise la prise en compte de facteurs agissant rapidement sur la croissance.** Nous obtenons donc une bonne relation entre catégories morpho-structurales et disponibilité en nutriments, en eau et pression de coupe. En cas de perturbation de l'environnement, le temps de latence des indicateurs morpho-structuraux devrait logiquement être plus faible que celui de la composition floristique. Pour appuyer cette hypothèse il serait intéressant de tester le diagnostic morpho-structural dans des prairies en évolution, par exemple à la suite de modifications de pratiques.

Les abondances des espèces ne font pas intervenir de façon directe et explicite le concept de stratégie et les performances des individus. Mais, pour une espèce, une valeur d'abondance est liée, plus ou moins précisément, à un type de sociabilité. Par exemple, des sociabilités monospécifiques sont souvent en relation avec des valeurs élevées de recouvrement ou d'abondance. L'abondance d'une espèce intègre partiellement, mais en termes probabilistes, sa sociabilité et sa morphologie.

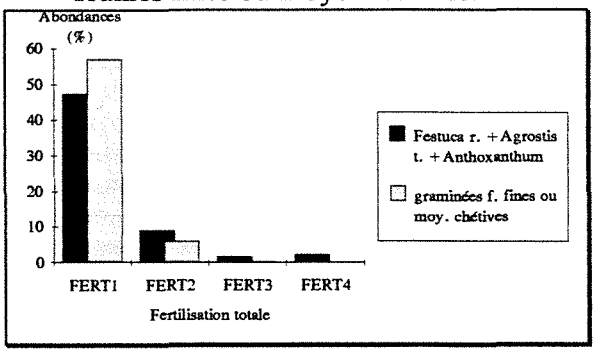
Pour un diagnostic pratique, c'est l'ensemble des individus présentant la même forme, toutes espèces de même stratégie adaptative confondues, qui a une valeur indicatrice des conditions écologiques. L'observation de quelques types de formes remplace la reconnaissance d'un grand nombre d'espèces. Le diagnostic écologique peut donc être réalisé sur des états morpho-structuraux de la végétation, visibles et abondants d'une part, représentatifs de la valeur d'usage d'autre part. Etats indicateurs des conditions écologiques et états dominants sont les mêmes, ce qui est rarement le cas dans une approche floristique (DELPECH, 1982 ; PLANTUREUX et al., 1987).

Figure 3-9 : Abondances moyennes, par classe de fertilisation, de différents états de végétation. Prairies de fauche de l'étage montagnard des Alpes du Nord externes.

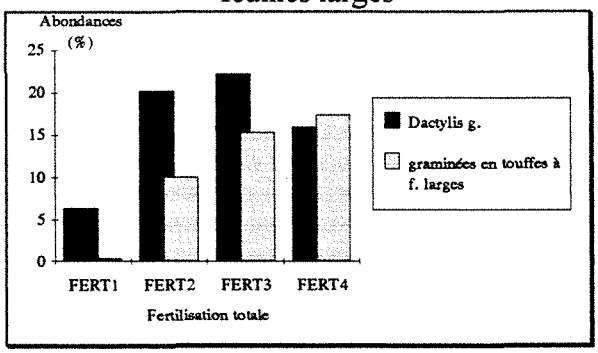
Poa trivialis et taches de graminées à feuilles moyennes



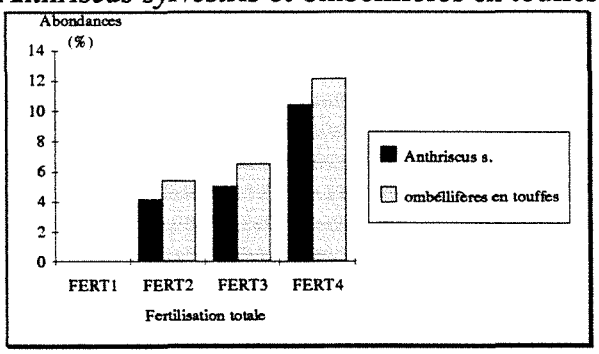
Festuca rubra + *Agrostis capillaris* + *Anthoxanthum odoratum* et graminées à feuilles fines ou moyennes chétives



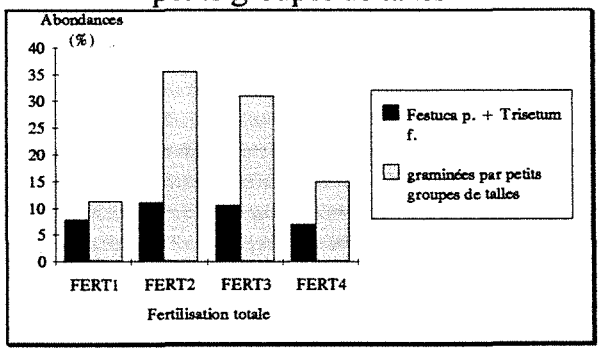
Dactylis glomerata et touffes de graminées à feuilles larges



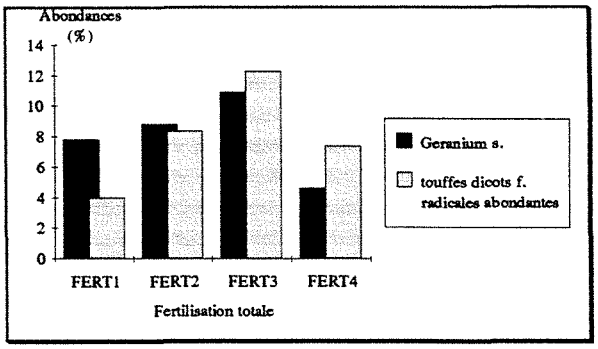
Anthriscus sylvestris et ombellifères en touffes



Festuca pratensis + *Trisetum flavescens* et graminées à feuilles moyennes et larges par petits groupes de talles



Geranium sylvaticum et touffes de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalés



La figure 3-9 permet d'illustrer cette conclusion pour le régime trophique. Cette figure regroupe l'ensemble des prairies de fauche de l'étage montagnard externe, y compris les prairies non fertilisées que nous n'avions pas considérées précédemment. Les histogrammes présentent la distribution, par classe de fertilisation, des abondances moyennes de différents états de végétation. Chacune des sous-figure permet une comparaison entre un état morpho-structural et une espèce ayant souvent, mais non systématiquement cet état.

L'abondance moyenne de *Poa trivialis* augmente avec le niveau trophique, sa dispersion est cependant plus forte que celle des taches monospécifiques de graminées à feuilles moyennes, dans lesquelles on retrouve *Poa trivialis*, mais aussi certains individus d'*Agrostis capillaris* et de *Holcus mollis*. Cette variabilité intraspécifique d'exigences trophiques se retrouve pour beaucoup des espèces de la figure 3-9 (*Dactylis*, *Festuca pratensis*, *Trisetum flavescens*, *Geranium sylvaticum*). Dans tous les cas, la prise en compte de leur sociabilité et leur regroupement avec les individus d'autres espèces de même morpho-structure améliorent la relation avec la fertilisation. Ce phénomène se vérifie également pour des espèces à spectre écologique plus réduit : *Anthriscus sylvestris*, *Agrostis capillaris*, *Festuca rubra*, *Anthoxanthum odoratum*.

Pour élargir le champ de nos références en matière d'approche comparée des relations entre conditions écologiques et états de végétation, nous allons présenter les résultats obtenus dans les prairies pâturées.

4 - EFFET DES FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LA VEGETATION DES PRAIRIES PATUREES DU MONTAGNARD EXTERNE

A) LIAISONS ENTRE DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES

Dans notre échantillon, il existe quelques liaisons significatives entre modalités de descripteurs écologiques (tableau A-21, annexe 8). Très logiquement, type d'utilisation et fertilisation totale ne sont pas indépendants:

- les types d'utilisation peu intensifs sont les moins fertilisés,
- les types d'utilisation intensifs sont plus fertilisés.

Le topoclimat thermique est un facteur qui influence également le type d'utilisation et le régime trophique :

- les fortes fertilisations et les rythmes intensifs sont plus fréquents dans des conditions thermiques favorables et un régime hydrique moyen, ni sec ni frais,
- les rythmes peu intensifs se concentrent dans les stations sèches,
- en altitude, dans les stations froides, les temps de repousses entre pâture sont plus courts, du fait de l'absence de parc extensifs,
- les variations de pH sont liées aux conditions climatiques, les pH sont plus faibles dans les stations froides, et plus élevés dans les stations chaudes et sèches.

Dans les analyses factorielles sur variables instrumentales (AFCVI) que nous avons pratiquées, quel que soit le mode de description de la végétation, nous avons toujours obtenu 21 valeurs

Tableau 3-17 : Valeur des paramètres des AFCVI pour les prairies pâturées du domaine externe des Alpes du Nord.

AFCVI avec 28 modalités pour 7 descripteurs écologiques.

	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION			
	présence des espèces	abondance des espèces	recouvrement des éléments structuraux	structure et architecture de la végétation
Parametres des AFC :				
Trace	3,42	6,24	8,99	7,56
Effectif	4269	12800	12800	543
Corrélations canoniques :				
F1	0,575	0,721	0,911	0,849
F2	0,442	0,609	0,871	0,760
Contributions à l'inertie :				
F1	9,7	8,3	9,2	9,5
F2	5,2	5,9	8,4	7,6
Parametres AFCVI/AFC :				
Rapport des corrélations canoniques pour F1	92,3	92,6	87,8	89,2
Rapport des traces:	32,8	29,8	32,3	32,5
Parametres des AFCVI :				
Trace	1,120	1,862	2,900	2,451
Corrélations canoniques :				
F1	0,531	0,668	0,800	0,757
F2	0,391	0,442	0,724	0,571
Contribution à l'inertie :				
F1	25,2	24,0	22,1	23,4
F2	13,7	10,5	18,0	13,3
Rapports de corrélation avec F1 :				
Topoclimat thermique	**0,440**	**0,357**	0,251	0,296
Régime hydrique	0,130	0,076	0,070	0,107
azote apporté	**0,786**	**0,893**	**0,864**	**0,759**
pH du sol	0,058	0,092	0,077	0,099
Type d'utilisation	**0,671**	**0,591**	**0,406**	**0,523**
Taux de consommation	0,174	0,206	**0,333**	0,245
Type de piétinement	0,253	0,279	0,287	**0,402**
Rapports de corrélation avec F2 :				
Topoclimat thermique	**0,508**	**0,388**	0,094	0,066
Régime hydrique	**0,605**	**0,459**	**0,302**	**0,302**
azote apporté	0,059	0,044	0,189	0,067
pH du sol	0,182	0,256	0,091	0,065
Type d'utilisation	**0,449**	**0,350**	**0,303**	**0,250**
Taux de consommation	0,085	0,042	**0,530**	**0,386**
Type de piétinement	0,016	0,007	0,025	0,099

propres d'axes non nulles (pour un maximum de 28 modalités -7 =21). Ce résultat indique donc, malgré ces liaisons entre descripteurs, une faible redondance entre modalités de variables écologiques différentes (LEBRETON et al., 1988a et 1988b).

B) CONTRASTES ENTRE STATIONS SUIVANT LE MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION

Le tableau 3-17 regroupe dans sa partie supérieure, les principaux paramètres des AFC réalisés pour les différents modes de description de la végétation. La trace, qui représente l'inertie totale des tableaux états de végétation/relevés, augmente lorsque l'on passe des mesures floristiques aux mesures sur la structure et l'architecture de la végétation. Cet indicateur et les corrélations canoniques de F1 et F2, beaucoup plus fortes dans les méthodes structurales traduisent des liens entre végétation et stations plus marqués. Les contrastes de végétation entre stations pâturées sont plus forts pour les recouvrements et l'architecture des éléments structuraux, que pour les abondances et les présences des espèces.

Dans le tableau 3-17, les paramètres des AFCVI montrent que les variations d'états de végétation sont expliquées correctement par les descripteurs écologiques retenus. Les corrélations canoniques de F1 et de F2 sont particulièrement élevées pour les méthodes structurales, traduisant ainsi la dépendance forte entre de tels états de végétation et les conditions écologiques. Pour les méthodes floristiques, les corrélations canoniques des axes F1 et F2 des AFCVI sont nettement moins bonnes. Les AFC floristiques ayant une inertie (trace) plus faible et des corrélations canoniques par axes plus faibles, le taux d'explication par les descripteurs écologiques est à peu près équivalent pour les différentes méthodes d'observation de la végétation :

- le rapport des traces entre l'AFCVI et l'AFC (somme des valeurs propres de l'AFCVI/ somme des valeurs propres de l'AFC), qui traduit le taux d'explication de l'ensemble des changements de végétation, est de l'ordre de 30%, valeur que l'on peut considérer, d'après la bibliographie, comme correcte mais sans plus (LEBRETON et al., 1988b ; GRANGER, 1992),
- les rapports de corrélations de F1 entre l'AFCVI et l'AFC sont environ de 90%, ce qui indique que les variables écologiques expliquent une très grande partie des principaux contrastes de végétation.

En conclusion, le taux d'explication des variations de végétation par les descripteurs écologiques est satisfaisant et varie peu avec le mode de description de celle-ci. Par contre, les contrastes entre stations pâturées et entre états de végétation sont beaucoup plus forts pour les méthodes structurales que pour les méthodes floristiques. Dans les méthodes floristiques, il y a davantage d'états variant peu ou pas avec les stations et les conditions écologiques que dans les méthodes structurales.

C) FACTEURS INFLUENÇANT LA VEGETATION DES PRAIRIES PATUREES

Le tableau 3-17 présente également, dans sa partie inférieure, les rapports de corrélation des descripteurs écologiques avec les axes F1 et F2 des AFCVI. Celles-ci ont été pratiquées avec 28 modalités pour 7 descripteurs écologiques.

Les relations entre végétations et descripteurs écologiques sont différentes suivant le mode de description de la végétation :

1. **pour les présences des espèces**, azote apporté et type d'utilisation (variables liées), topoclimat thermique et régime hydrique sont corrélés au plan F1XF2,
2. **pour les abondances des espèces**, les descripteurs importants sont proches de ceux des présences. L'azote apporté a cependant un rapport de corrélation plus fort et nettement supérieur à celui des autres variables remarquables (type d'utilisation, topoclimat thermique et régime hydrique),
3. **pour le recouvrement des éléments structuraux**, la variable azote apporté est très importante, avant le type d'utilisation, le taux de consommation et le régime hydrique, alors que le topoclimat thermique a un rôle mineur,
4. **dans la prise en compte conjointe de la structure et de l'architecture**, de nombreuses variables interviennent, l'azote apporté, le type d'utilisation, le type de piétinement, le taux de consommation et le régime hydrique.

Plutôt que de chercher à comprendre ces différences de hiérarchies en faisant des interprétations sur les axes lointains des AFCVI, nous avons utilisé la technique des analyses sous contraintes linéaires (SABATIER et al., 1989 ; LEBRETON et al., 1991) afin de connaître la contribution de chacune des variables écologiques à l'explication des variations de végétation.

Pour cela nous avons, sur la base des résultats du tableau 3-17, retenu les deux variables écologiques les plus corrélées aux axes F1 et F2. Nous avons ensuite refait des AFCVI sur la part de la variation de végétation non expliquée par ces variables, c'est à dire après ajustement de ces variables. Nous avons procédé en trois étapes en tenant compte des différences qui existent entre méthodes floristiques et méthodes structurales.

Pour les présences et les abondances des espèces, c'est l' azote apporté et le régime hydrique qui sont les premiers facteurs de différenciation et nous avons retenu les étapes suivantes :

1. réalisation d'une AFCVI avec azote apporté et régime hydrique comme variables explicatives, afin de mesurer leur contribution aux variations de végétation,
2. réalisation d'une AFCVI avec taux de consommation, type de piétinement et topoclimat thermique afin de mesurer leur contribution aux variations de végétation, sur la part non expliquée par l'azote apporté et le régime trophique. C'est une AFCVI sous contraintes, l'effet du taux de consommation, du type de piétinement et du topoclimat est mesuré en sachant azote apporté et régime hydrique,
3. enfin réalisation d'une AFCVI sous-contraintes, avec type d'utilisation et pH du sol en sachant les cinq variables précédentes.

Tableau 3-18 : AFCVI sous contraintes dans les pâtures des Alpes du Nord. Part de l'inertie expliquée par les différents niveaux de contraintes.

somme des valeurs propres AFCVI/somme des valeurs propres AFCVI avec l'ensemble des descripteurs écologiques	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION			
	présence des espèces	abondance des espèces	recouvrement des éléments structuraux	structure et architecture de la végétation
(1) Rapports des traces :				
azote apporté et régime hydrique	54	50	-	-
azote apporté et taux consommation	-	-	52	48
(2)Rapports des traces sachant (1):				
Taux de consommation, type de piétinement et topoclimat thermique	25	28-	-	-
Rég. hydrique et type piétinement	-		19	24
(3)Rapports des traces sachant (1) et (2):				
Type d'utilisation et pH du sol	21	23	-	-
Type d'utilisation, pH sol, et topoclimat thermique	-	-	29	29
Rapports des traces (1)+(2)+(3)	100	100	100	100

Pour le recouvrement des éléments structuraux et la description de structure et d'architecture conjointes, l'azote apporté est toujours un élément important, mais le taux de consommation devient prépondérant sur le régime hydrique. Nous avons procédé dans l'ordre suivant :

1. AFCVI avec azote apporté et taux de consommation,
2. AFCVI sous contraintes avec régime hydrique et type de piétinement, sachant azote apporté et taux de consommation,
3. AFCVI sous contraintes avec type d'utilisation, pH du sol et topoclimat thermique, sachant les quatre variables précédentes.

Nous n'avons pas utilisé la variable type d'utilisation en association avec l'azote apporté compte tenu d'une certaine redondance entre leurs modalités extrêmes.

Les résultats de ces AFCVI sous contraintes (tableau 3-18, 3-19 et A-22 annexe 6) confirment et quantifient ceux de l'AFCVI réalisée sans contrainte avec tous les descripteurs écologiques.

Le niveau trophique est le facteur essentiel de différenciation de la végétation, quel que soit son mode de description (tableau 3-19). L'azote apporté, indicateur du régime trophique explique de l'ordre de 30% de la trace des AFCVI globales avec tous les descripteurs écologiques.

Les approches floristiques sont également très sensibles aux conditions hydriques, qui interviennent pour environ 20% de la trace des AFCVI globales, régime trophique et hydrique expliquant 54% de cette trace pour les présences et 50% pour les abondances.

Le type d'utilisation de la station, dont l'influence est étudiée sur les résidus non expliqués, en particulier par le régime trophique, est ensuite le troisième critère de différenciation des présences et des abondances, avant le taux de consommation et le régime thermique.

Recouvrement des éléments structuraux et architecture ont des déterminismes voisins, ce qui est logique compte tenu des parentés entre ces modes d'observation de la végétation. Taux de consommation et type d'utilisation deviennent des critères de différenciation plus importants que le régime hydrique. Enfin, le piétinement a une influence assez importante sur l'architecture.

D) ETATS DE VEGETATION INDICATEURS DES CONDITIONS ECOLOGIQUES

Les AFCVI sous contraintes permettent une lecture précise des relations entre les variables écologiques et les états de végétation. Nous avons constaté des hiérarchies différentes suivant le mode de description de la végétation. Pour comprendre ces variations d'impact des conditions écologiques, il est nécessaire de détailler les relations entre les différents états de végétation et les modalités des descripteurs écologiques.

Dans une telle analyse, tous les états ne sont pas équivalents : certains sont peu fréquents, d'autres sont d'observation ou d'identification difficiles, d'autres encore rendent peu compte de différences de valeur d'usage agricole. Dans ce paragraphe, nous ne faisons donc pas qu'une lecture des correspondances entre descripteurs écologiques et états de végétation. Nous jugeons également si, suivant le mode de description de la végétation, les variations induites

Tableau 3-19 : Classement des descripteurs écologiques par ordre d'influence décroissant sur les états de végétation dans les pâtures des Alpes du Nord

Rang des descripteurs écologiques :	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION			
	présence des espèces	abondance des espèces	recouvrement des éléments structuraux	structure et architecture de la végétation
1	**azote apporté**	**azote apporté**	**azote apporté**	**azote apporté**
%trace AFCVI	**34**	**33**	**33**	**32**
2	**Régime hydrique**	**Régime hydrique**	**Taux de consommation**	**Taux de consommation**
%trace AFCVI	**22**	**18**	**23**	**19**
3	**Type d'utilisation**	**Type d'utilisation**	**Type d'utilisation**	**Type d'utilisation**
%trace AFCVI	**15**	**16**	**16**	**18**
4	**Topoclimat thermique**	**Taux de consommation**	**Régime hydrique**	**Régime hydrique**
%trace AFCVI	**11**	**13**	**14**	**16**
5	**Taux de consommation**	Topoclimat thermique	Topoclimat thermique	**Type de piétinement**
%trace AFCVI	**10**	9	7	**10**
6	Type de piétinement	Type de piétinement	pH du sol	Topoclimat thermique
%trace AFCVI	6	6	7	7
7	pH du sol	pH du sol	Type de piétinement	pH du sol
%trace AFCVI	6	6	6	7

En gras, descripteurs écologiques contribuant à 10% et plus de la trace de l'AFCVI à 28 modalités

Les chiffres indiquent la part de la trace des AFCVI (à 28 modalités et 7 variables) expliquée par le descripteur écologique. Les valeurs utilisées correspondent à la valeur obtenue lorsque l'on considère le descripteur seul à son étape d'intégration dans les AFCVI.

Par exemple, pour les présences des espèces, la valeur retenue pour le topoclimat thermique correspond à la variation expliquée lorsque l'on introduit cette variable, en sachant azote apporté et régime hydrique. La part expliquée par la prise en compte de plusieurs descripteurs n'est pas égale à la somme des variations expliquées par chaque descripteur pris isolément. En effet, une variable apporte souvent un peu d'information des autres variables. Ainsi, pour les présences, nous avons 33,5 % de la trace générale pour l'azote apporté et 22,3 % pour le régime hydrique, ces deux descripteurs pris ensemble correspondent à 53,7 % de la trace. Le régime hydrique, sachant azote apporté contribue à 53,7%-3,5%=20% de la trace globale (tableau A-22, annexe 6). Il s'agit de variations de faible ampleur qui ne modifient pas l'ordre hiérarchique des facteurs.

par les conditions écologiques concernent une part importante de son volume ou seulement des indicateurs peu abondants.

1 - Présences des espèces

L'AFCVI réalisée avec azote apporté et régime hydrique comme variables explicatives (figure A-7, annexe 6) permet de mettre en évidence les espèces dont la présence est en relation avec ces descripteurs. L'axe F1 ordonne les niveaux de fertilisation des valeurs faibles à l'extrémité positive, aux valeurs élevées à l'extrémité négative. L'axe F2 ordonne le régime hydrique, des conditions les plus sèches à l'extrémité positive, aux conditions fraîches en négatif. Sur ces deux axes, les variances conditionnelles des espèces varient de 0,08 à 1,6 (CHESSEL et al., 1982). Nous ne considérons que les espèces ayant une variance conditionnelle inférieure à 0,550. Leur amplitude d'habitat par rapport aux axes est faible, elles ont une valeur indicatrice des conditions écologiques.

Sur 156 espèces utilisées dans l'analyse, 48 ont une valeur indicatrice satisfaisante en matière de niveau trophique et 29 en matière de régime hydrique (tableau 3-20). Plus de 40% de ces espèces (20 sur 48 pour le régime trophique et 13 sur 29 pour le régime hydrique) ont une fréquence inférieure à 10 %. Dans le meilleur des cas, une espèce n'est présente qu'une fois sur deux dans la modalité de régime trophique ou hydrique à laquelle elle est liée. Pour ces deux variables, il y a en effet cinq modalités de fréquence équivalente, soit 20% des stations. Une caractérisation des conditions écologiques par les présences nécessite, dans les pâtures comme dans les prairies de fauche, un relevé complet. De plus ces espèces indicatrices sont souvent petites, de repérage et même d'identification difficile.

2 - Abondances des espèces

L'axe F1 de l'AFCVI, avec azote apporté et régime hydrique comme variables explicatives (figure A-8, annexe 6), ordonne les niveaux de fertilisation des valeurs faibles, à l'extrémité positive, aux valeurs élevées, à l'extrémité négative. L'axe F2 ordonne le régime hydrique, des conditions les plus sèches à l'extrémité négative, aux conditions fraîches en positif.

A la différence des présences, il y a pour les abondances un plus petit nombre d'espèces ayant une variance conditionnelle inférieure à 0,550 et donc une faible amplitude d'habitat sur F1 et sur F2 (tableau 3-21). Pour les abondances, les variances sur F1 et F2 varient de 0,04 à 1,6. Sur 89 espèces utilisées dans l'analyse, 47 ont une valeur indicatrice satisfaisante du niveau trophique et 28 du régime hydrique.

Plus de 40% de ces espèces (21 sur 47 pour le régime trophique et 13 sur 28 pour le régime hydrique) ont une abondance moyenne faible, inférieure à 4% dans les relevés où elles sont présentes. Néanmoins certaines espèces dominantes, ayant de fortes abondances moyennes, ont une valeur indicatrice. Il s'agit, pour l'axe F1, par ordre de niveau trophique croissant de : *Bromus erectus, Chaerophyllum aureum, Festuca rubra, Geranium sylvaticum, Poa trivialis, Chaerophyllum hirsutum, Phleum pratense, Agropyron repens, Aegopodium podagraria, Lolium multiflorum.* Pour le régime hydrique, sur l'axe F2, nous avons par ordre de fraîcheur croissante : *Salvia pratensis, Bromus erectus, Aegopodium podagraria, Agropyron repens, Chaerophyllum hirsutum, Poa annua, Chaerophyllum aureum.*

Tableau 3-20 : Liste des espèces dont la présence dans les pâtures des Alpes du Nord est liée au régime trophique ou au régime hydrique

Régime trophique

Coordonnées sur F1 des espèces de variance sur F1 < 0,550

Les coordonnées sur F1 sont représentatives du niveau trophique :

F1 : valeurs positives = azote apporté faible à nul, valeurs négatives = azote apporté élevé.

ESPECES	fréquence %	F1
fréquence > =10%		
Polygala vulgaris	10	1,186
Thymus puleioides	15	1,144
Euphrasia sp	18	1,129
Gentiana lutea	15	0,899
Sanguisorba minor	24	0,828
Hypericum quadrangulum	14	0,805
Pimpinella major	23	0,765
Trollius europaeus	13	0,704
Chareophyllum villarsii	20	0,679
Bromus erectus	19	0,614
Briza media	15	0,614
Knautia arvensis	22	0,601
Tragopogon pratensis	30	0,588
Centaurea montana	13	0,588
Silene vulgaris	14	0,434
Vicia sepium	32	0,373
Deschampsia caespitosa	14	-0,041
Rumex acetosa	14	-0,367
Rumex obtusifolius	55	-0,684
Poa annua	28	-0,763
Poa pratensis	44	-0,840
Lolium perenne	48	-0,850
Myosotis sylvatica	15	-0,888
Ranunculus repens	39	-0,904
Urtica dioica	20	-0,908
Polygonum Persicaria	17	-0,954
Geranium molle	10	-0,983
Agropyron repens	23	-1,100
fréquence <10%		
Cirsium oleraceum	5	1,232
Trifolium badium	9	1,152
Hieracium sp.	9	1,120
Salvia pratensis	6	0,991
Ranunculus nemorosus	9	0,931
Chaerophyllum aureum	9	0,596
Onobrychis viciifolia.	9	0,592
Daucus carota	7	0,535
Veronica officinalis	5	0,312
Rhinanthus minor aggr.	6	0,273
Phleum alpinum	9	0,118
Malva moschata	6	-0,158
Ranunculus Ficaria	5	-0,322
Holcus mollis	9	-0,465
Convolvulus arvensis	7	-0,776
Lapsana communis	6	-0,906
Chenopodium album	9	-0,924
Sonchus asper	6	-1,115
Lolium multiflorum	7	-1,122
Capsella Bursa-pastoris	9	-1,146

Régime hydrique

Coordonnées sur F2 des espèces de variance sur F2 < 0.550

Les coordonnées sur F2 sont représentatives du régime hydrique :

F2 : valeurs positives = très sec, valeurs négatives = très frais

ESPECES	fréquence %	F2
fréquence > =10%		
Myosotis sylvatica Hoffm.	15	0,265
Geranium molle	10	0,217
Aegopodium podagraria	24	0,061
Polygonum Persicaria	17	-0,019
Ranunculus repens	39	-0,031
Urtica dioica	20	-0,035
Rumex obtusifolius	55	-0,119
Poa annua	28	-0,191
Filipendula ulmaria	13	-0,512
Chaerophyllum hirsutum	17	-0,569
Deschampsia caespitosa	14	-0,722
Veratrum album	13	-0,736
Polygonum bistorta	10	-0,827
Trollius europaeus	13	-0,946
Hypericum quadrangulum	14	-0,974
Centaurea montana	13	-1,065
fréquence <10%		
Salvia pratensis	6	1,570
Daucus carota	7	1,531
Holcus mollis	9	0,356
Chenopodium album	9	0,291
Sonchus asper	6	0,048
Ranunculus Ficaria	5	0,008
Hieracium sp.	9	0,002
Malva moschata	6	-0,037
Polygonum aviculare	6	-0,094
Equisetum sp.	9	-0,272
Crepis biennis	6	-0,406
Phleum alpinum	9	-0,901
Rumex alpinus	5	-1,045

Tableau 3-21 : Liste des espèces dont l 'abondance dans les pâtures des Alpes du Nord est liée au régime trophique ou au régime hydrique

Régime trophique

Coordonnées sur F1 des espèces de variance sur F1 < 0.550
Les coordonnées sur F1 sont représentatives du niveau trophique :
F1 : valeurs positives = azote apporté faible à nul, valeurs négatives = azote apporté élevé

ESPECES	Abond-ance moyenne (%)	F1
Abondance moyenne > =4%		
Thymus puleioides	8,0	1,552
carex sp	5,6	1,497
Hypericum quadrangulum	4,3	1,496
Salvia pratensis	4,0	1,270
Bromus erectus	9,8	1,113
Juncus conglomeratus	5,0	0,996
Briza media	4,0	0,905
Chaerophyllum villarsii	5,0	0,866
Chaerophyllum aureum	8,2	0,673
Festuca rubra	11,9	0,661
Geranium sylvaticum	7,5	0,372
Geranium molle	5,5	-0,048
Anthriscus sylvestris	6,4	-0,241
Heracleum sphondylium	5,4	-0,283
Poa trivialis	7,7	-0,767
Poa annua	6,6	-0,832
Chaerophyllum hirsutum	9,9	-0,848
Rumex obtusifolius	6,0	-0,864
Poa pratensis	6,0	-0,888
Phleum pratense	7,4	-0,899
Lolium perenne	4,6	-0,925
Ranunculus repens	4,8	-0,983
Rumex alpinus	5,3	-1,005
Agropyron repens	7,1	-1,033
Aegopodium podagraria	8,3	-1,117
Lolium multiflorum	20,6	-1,129
Abondance moyenne <4%		
Brachypodium pinnatum	3,8	1,665
Gentiana lutea	3,2	1,511
Lotus corniculatus	3,5	1,443
Trollius europaeus	2,6	1,430
Prunella vulgaris	3,1	1,248
Daucus carota	2,6	1,230
Sanguisorba minor	3,3	1,202
Euphrasia sp	2,6	1,123
Pimpinella major	1,8	1,109
mousses sp	2,6	1,052
Anthoxanthum odoratum	2,5	0,972
Lathyrus pratensis	1,6	0,965
Holcus lanatus	3,0	0,301
Trisetum flavescens	2,4	0,256
Phleum alpinum	2,0	0,055
Holcus mollis	2,4	-0,024
Arrhenatherum elatius	2,4	-0,028
Carum carvi	3,7	-0,150
Urtica dioica	1,8	-0,682

Régime hydrique

Coordonnées sur F2 pour les espèces de variance sur F2 < 0.550
Les coordonnées sur F2 sont représentatives du régime hydrique :
F2 : valeurs positives = très frais, valeurs négatives= très sec

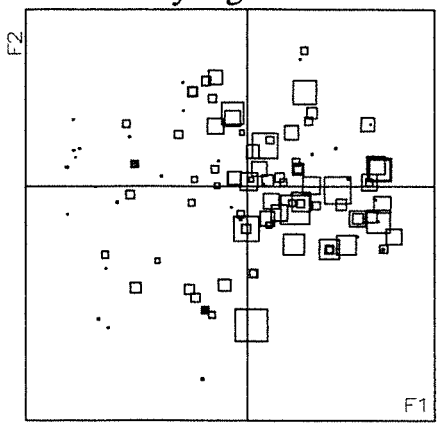
ESPECES	Abond-ance moyenne (%)	F2
Abondance moyenne > =4%		
Salvia pratensis	4,0	-1,855
Bromus erectus	9,8	-1,386
Aegopodium podagraria	8,3	-0,975
Agropyron repens	7,1	-0,327
Poa pratensis	6,0	-0,177
Ranunculus repens	4,8	-0,083
Rumex obtusifolius	6,0	-0,079
Polygonum bistorta	5,4	0,220
Chaerophyllum hirsutum	9,9	0,302
Poa annua	6,6	0,313
Rumex alpinus	5,3	0,397
Hypericum quadrangulum	4,3	0,458
Anthriscus sylvestris	6,4	0,513
Juncus conglomeratus	5,0	0,546
Chaerophyllum aureum	8,2	0,961
Abondance moyenne <4%		
Sanguisorba minor	3,3	-1,279
Brachypodium pinnatum	3,8	-0,874
Gentiana lutea	3,2	-0,778
Euphrasia sp	2,6	-0,162
Urtica dioica	1,8	0,138
Galium mollugo	3,0	0,243
Carum carvi	3,7	0,383
Lathyrus pratensis	1,6	0,421
Trollius europaeus	2,6	0,442
Veratrum album	3,9	0,522
Alchemilla xantochlora	3,3	0,573
Astrantia major	3,7	0,787
Phleum alpinum	2,0	1,189

L'abondance moyenne d'une espèce est calculée non pas sur l'ensemble des stations de l'échantillon mais dans les relevés où elle est présente avec une note d'abondance non nulle.

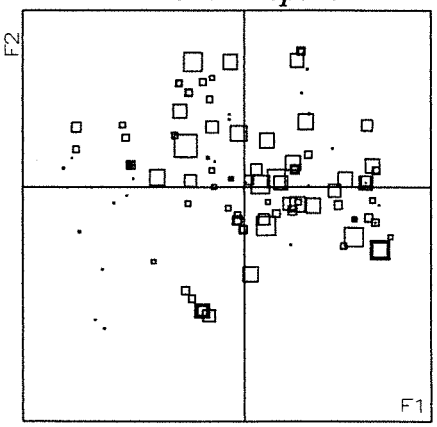
Figure 3-10 : Sous-nuage de quelques espèces dans le plan F1XF2 des relevés Pâtures des Alpes du Nord. (AFCVI à 28 modalités).

AFCVI sur les abondances des espèces.
La surface des carrés est proportionnelle à l'abondance de l'espèce.

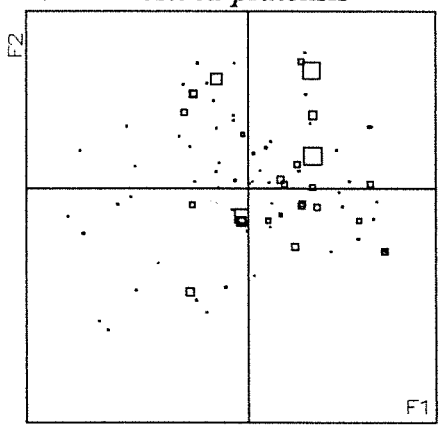
Dactylis glomerata



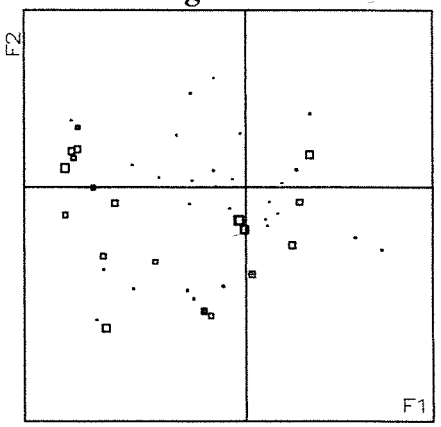
Trifolium repens



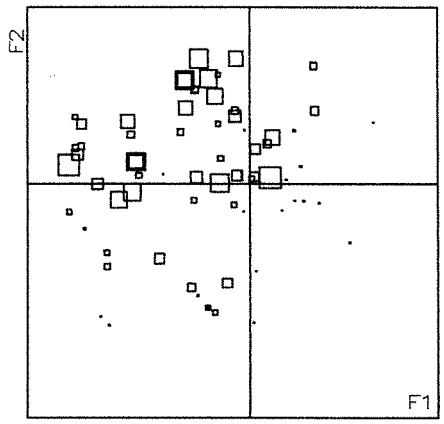
Festuca pratensis



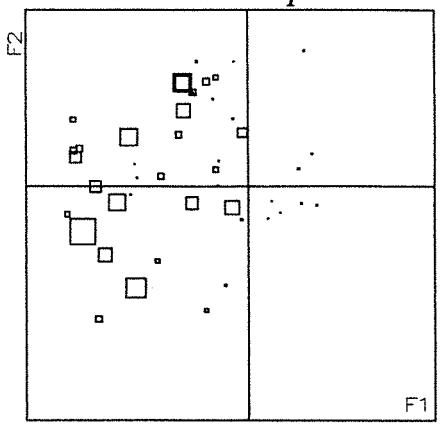
Plantago lanceolata



Festuca rubra



Leontodon hispidus



F1 ordonne les niveaux trophiques par ordre croissant, des valeurs négatives aux valeurs positives.
F2, oppose les régimes hydriques, de sec en négatif à frais en positif.f

L'abondance de certaines espèces d'identification et de repérage faciles a une valeur indicatrice. Néanmoins les variations des espèces les plus abondantes, ne sont pas expliquées de façon précise par les descripteurs écologiques : *Dactylis, Festuca pratensis, Agrostis capillaris, Trifolium repens, Taraxacum officinale, Ranunculus acris, Plantago lanceolata, Leontodon hispidus* (figure 3-10).

3 - Recouvrement des éléments structuraux

La figure 3-11 présente le plan F1XF2 de l'AFCVI réalisée avec azote apporté et taux de consommation comme variables explicatives. Les états de végétation en caractères gras sont ceux ayant une variance faible (<0,550) sur au moins l'un des deux axes. Les variances sur F1 et F2 varient de 0,00 à 1,5.

L'axe F1 ordonne les niveaux de fertilisation des niveaux faibles à l'extrémité positive, aux niveaux élevés à l'extrémité négative. L'axe F2 sépare les taux de consommation élevés à l'extrémité négative, des taux faibles à moyen pour les valeurs positives.

Pour 28 états de végétation distingués, 22 ont une valeur indicatrice satisfaisante en matière de niveau trophique (tableau 3-22) et 16 en matière de taux de consommation (tableau 3-23). La grande majorité de ces éléments structuraux a un recouvrement relatif supérieur ou égal à 10%. Il s'agit donc d'états de végétation liés aux conditions écologiques, ayant une forte influence sur la valeur d'usage du fait de leur forte contribution à la biomasse et déterminant la physionomie générale de la végétation.

4 - Structure et architecture de la végétation

Dans ce mode de description de la végétation, seuls les éléments structuraux principaux des stations sont considérés sous forme d'une note de présence : par exemple, plus de 20% de tache de *Ranunculus acris.* Des informations sur l'architecture du couvert sont adjointes à cette description (tableau 3-8).

Dans le plan F1XF2 de l'AFCVI, avec azote apporté et taux de consommation comme variables explicatives, l'axe F1 ordonne les niveaux de fertilisation des niveaux faibles à l'extrémité positive, aux niveaux élevés à l'extrémité négative (figure A-9, annexe 6). L'axe F2 sépare les taux de consommation élevés à l'extrémité négative, des taux faibles à moyen pour les valeurs positives. Les variances des états de végétation sur F1 et F2 varient de 0,01 à 2,2.

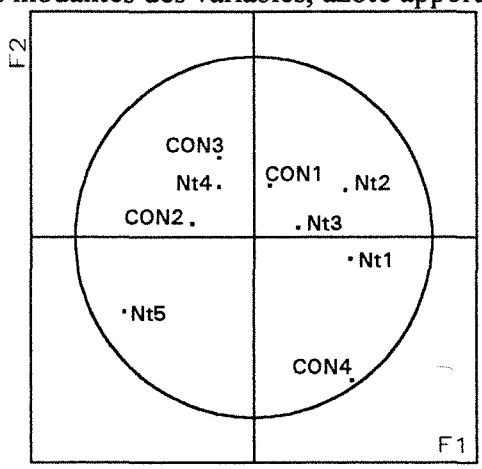
Le tableau 3-24 présente les états architecturaux liés au régime trophique.

Les critères architecturaux, permettent un diagnostic rapide sur le régime trophique. En effet, leur estimation sur le terrain est visuelle, toutes espèces confondues. La largeur des feuilles de graminées et le mode d'agrégation des talles se répartissent le long du gradient trophique. Nous avons par ordre de conditions trophiques croissantes : feuilles fines, feuilles fines et larges chétives, feuilles fines et touffes à feuilles larges, feuilles moyennes et larges en tapis, feuilles larges groupées et feuilles larges en touffes. Nous voyons cependant que le déterminisme de la forme en touffes ne relève pas seulement d'un niveau de nutrition élevé, mais qu'elle est aussi liée à un taux de consommation moyen à faible (tableau 3-25).

Figure 3-11 : Variables écologiques et états de végétation dans l'AFCVI réalisée avec azote apporté et taux de consommation.Pâtures des Alpes du Nord.

Recouvrement des éléments structuraux

Cercle de corrélation des modalités des variables, azote apporté et taux de consommation



Etats de végétation : les éléments structuraux en gras sont ceux ayant une valeur indicatrice (variance <0,550 sur au moins un des deux axes)

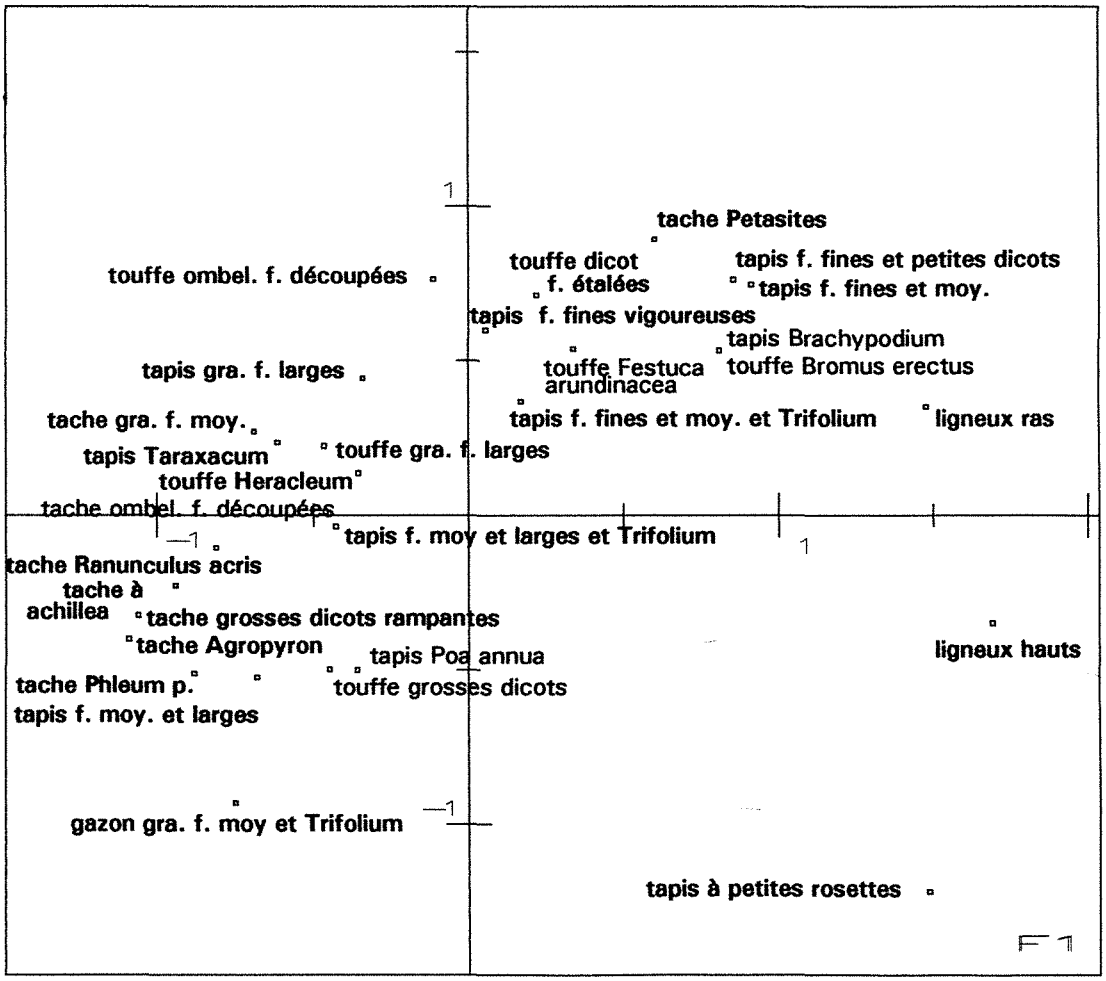


Tableau 3-22 : Liste des éléments structuraux dont le recouvrement dans les pâtures des Alpes du Nord est lié au régime trophique

ELEMENT STRUCTURAL	Recouvrement moyen (%)	F1
Recouvrement >=10%		
tapis à petites rosettes	72,7	1,484
ligneux ras	12,2	1,478
tapis f. fines et moy.	45,1	0,913
tapis f. fines et petites dicots	44,5	0,854
touffe dicots f. étalées	10,3	0,220
tapis f. fines et moy. et *Trifolium*	61,6	0,169
tapis gra. f. fines vigoureuses	53,6	0,056
touffe ombel. f. découpées	26,5	-0,113
touffe gra. f. larges	30,3	-0,340
tapis gra. f. larges	30,3	-0,340
tapis f. moy. et larges et *Trifolium*	48,0	-0,465
tapis à *Taraxacum officinale*	32,5	-0,615
tapis f. moy. et larges	41,8	-0,682
tache gra. f. moy.	15,5	-0,692
gazon gra. f. moy et *Trifolium*	37,4	-0,751
tache *Ranunculus acris*	12,7	-0,811
touffe *Phleum pratense*	14,2	-0,881
tache grosses dicots rampantes	14,2	-1,060
tache *Agropyron repens*	21,6	-1,091
Recouvrement <10%		
ligneux hauts	3,0	1,689
tache *Petasites sp.*	9,5	0,517
tache à *Achillea millefolium*	9,7	-0,994

Coordonnées sur F1 des éléments de variance sur F1 <0.550.

Les coordonnées sur F1 sont représentatives du niveau trophique : F1 : valeurs positives = azote apporté faible à nul, valeurs négatives = azote apporté élevé

Le recouvrement moyen d'un élément structural est calculé, non pas sur l'ensemble des stations de l'échantillon, mais dans les relevés où il présente un recouvrement non nul.

Tableau 3-23 : Liste des éléments structuraux dont le recouvrement dans les pâtures des Alpes du Nord est lié au taux de consommation

ELEMENT STRUCTURAL	Recouvrement moyen (%)	F2
Recouvrement >=10%		
tapis f. fines et petites dicots	44,5	0,763
touffe dicots f. étalées	10,3	0,712
tapis gra. f. fines vigoureuses	53,6	0,598
touffe gra. f. larges	30,3	0,442
tapis gra. f. larges	30,3	0,442
tache gra. f. moy.	15,5	0,271
tapis à *Taraxacum officinale*	32,5	0,234
tache *Ranunculus a.*	12,7	-0,106
tache grosses dicots rampantes	14,2	-0,324
tache *Agropyron repens*	21,6	-0,401
touffe *Phleum pratense*	14,2	-0,512
gazon gra f. moy. et *Trifolium*	37,4	-0,932
tapis à petites rosettes	72,7	-1,218
Recouvrement <10%		
tache *Petasites sp.*	9,5	0,935
touffe *Heracleum*	6,9	0,136
tache à *Achillea millefolium*	9,7	-0,231

Coordonnées sur F2 des éléments de variance sur F2 <0.550

Les coordonnées sur F2 sont représentatives du taux de consommation : F2 : valeurs positives = taux de consommation faible à moyen, valeurs négatives= taux de consommation élevé

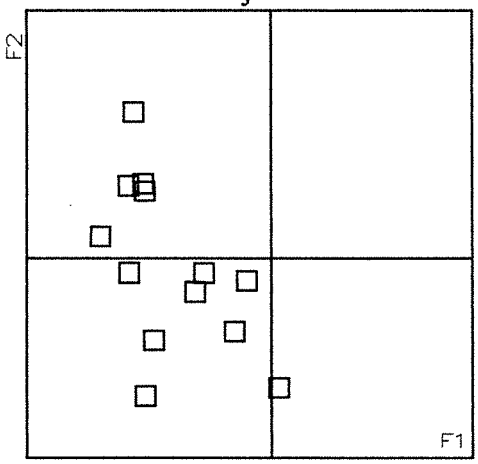
Le recouvrement moyen d'un élément structural est calculé, non pas sur l'ensemble des stations de l'échantillon, mais dans les relevés où il présente un recouvrement non nul.

Figure 3-12 : Sous-nuage des réactions de la végétation dans les zones influencées par les déjections. Plan F1XF2 des relevés.
(AFCVI à 28 modalités, structure et architectures conjointes).
Pâtures des Alpes du Nord.

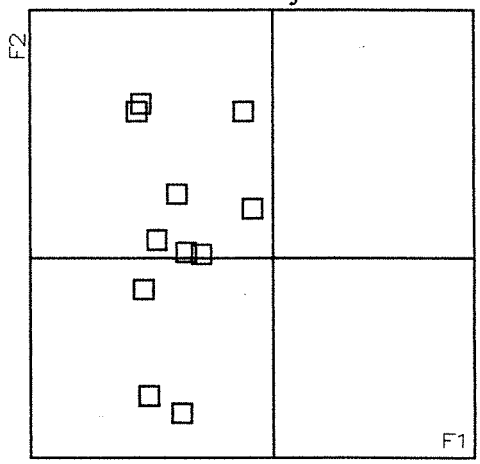
Ces réactions sont variables suivant le régime trophique :

F1 ordonne les niveaux trophiques par ordre croissant des valeurs négatives aux valeurs positives.
Un carré indique une station présentant l'état de végétation concerné.

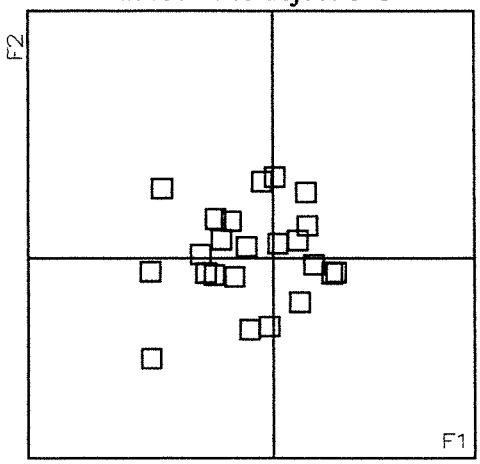
Feuilles plus vertes et plus longues autour des déjections



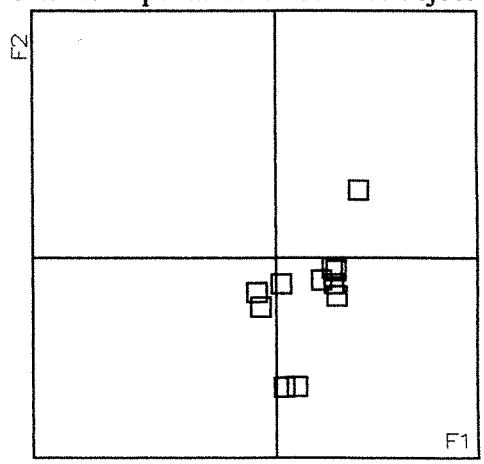
Graminées à feuilles larges en strate supérieure et à talles un peu groupées autour des déjections



Graminées à feuilles larges en toufffes autour des déjections



Touffes et taches monospécifiques avec mortalité importante autour des déjections



La réaction de la végétation dans les zones influencées par les déjections est un bon indicateur des conditions trophiques. Nous avons par ordre de niveau trophique croissant : zones stimulées à feuilles plus vertes et plus longues, à feuilles larges en strate supérieure sortant par petits groupes de talles, à touffes de diverses espèces de graminées, à sénescence et extension d'espèces en petites taches (*Ranunculus acris*, *Taraxacum officinale*). Ces résultats sont illustrés par la figure 3-12. C'est une représentation du plan F1XF2 de l'AFCVI globale à 28 modalités. L'axe F1 ordonne les niveaux trophiques par ordre croissant des valeurs négatives à gauche, aux valeurs positives à droite. Les modalités décrivant les modifications de végétation dans les zones influencées par les déjections sont également ordonnées de gauche à droite.

Ce diagnostic repose sur le principe que, des différences de réaction de la végétation à un fort apport de nutriments et aux brûlures occasionnées par les déjections, peuvent traduire une situation initiale différente. Ces modifications variables autour des déjections s'expliquent par la présence initiale d'espèces ayant des stratégies différentes et par un niveau de nutrition atteint, plus ou moins fort, suivant la situation. Nous pouvons, en quelque sorte, assimiler ces zones stimulées par les déjections, au témoin fertilisé de façon non limitante, que proposent SALETTE et HUCHE (1991) pour faire ensuite un diagnostic de nutrition minérale par analyse du végétal.

L'axe F2 (tableau 3-25), rend compte du taux de consommation. Il montre en particulier que les végétations à dominante de touffes sont liées à des taux de consommation faibles à moyens. Mais, ce sont surtout les éléments structuraux utilisés conjointement dans cette analyse qui ont une faible amplitude d'habitat sur cet axe.

Les données d'architecture que nous avons sélectionnées apportent, par des observations globales de la végétation, un simple "coup d'oeil", des indications sur les conditions écologiques. Nous avons traité ici du régime trophique, l'architecture rend également compte d'autre facteurs. Des touffes proéminentes, une organisation linéaire des touffes sont, par exemple, très liées à un fort taux de piétinement (figure A-10 et A-11, annexe 6).

Pour le recouvrement relatif des éléments structuraux la prise en compte, soit de leur recouvrement réel mesuré par comptage, soit de la présence d'un recouvrement supérieur à un seuil, ne modifie pas la nature des résultats. Pour cette raison, nous n'avons pas mentionné dans ce paragraphe les résultats concernant les états structuraux associés aux données d'architecture. Cette similitude a une conséquence pratique : un recouvrement supérieur à un seuil peut facilement être estimé visuellement.

E) ECOLOGIE COMPAREE DES ELEMENTS STRUCTURAUX ET DES ESPECES

La figure 3-13 présente la répartition des espèces d'une part, des éléments structuraux d'autre part, en fonction des conditions écologiques des stations. La projection, sur le plan F1XF2 des AFCVI globales à 28 modalités, des différentes modalités des variables écologiques dans les stations permet de faire les constatations suivantes :

1. sur l'axe F1, qui est un gradient de niveau trophique, les doses d'azote apporté augmentent de l'extrémité négative de F1 aux valeurs positives,

Tableau 3-24 : Liste des états architecturaux lié au régime trophique dans les pâtures des Alpes du Nord

Coordonnées sur F1 des états de variance sur F1 < 0.550
Les coordonnées sur F1 sont représentatives du régime trophique :
F1 : valeurs positives = azote apporté faible à nul, valeurs négatives = azote apporté élevé

	fréquence %	F1
Description architecturale		
f. fines	5	1,421
f. fines et larges chétives	26	1,198
stimulé +vert	12	1,088
stimulé à f. groupées	9	0,849
f. fines et touffes	9	0,418
stimulé à touffes	20	0,119
touffes partout	16	-0,219
f. moy. et larges en tapis	23	-0,390
f. larges groupées	5	-0,626
stimulé à sénescence	10	-0,681
f. larges touffes	31	-0,772

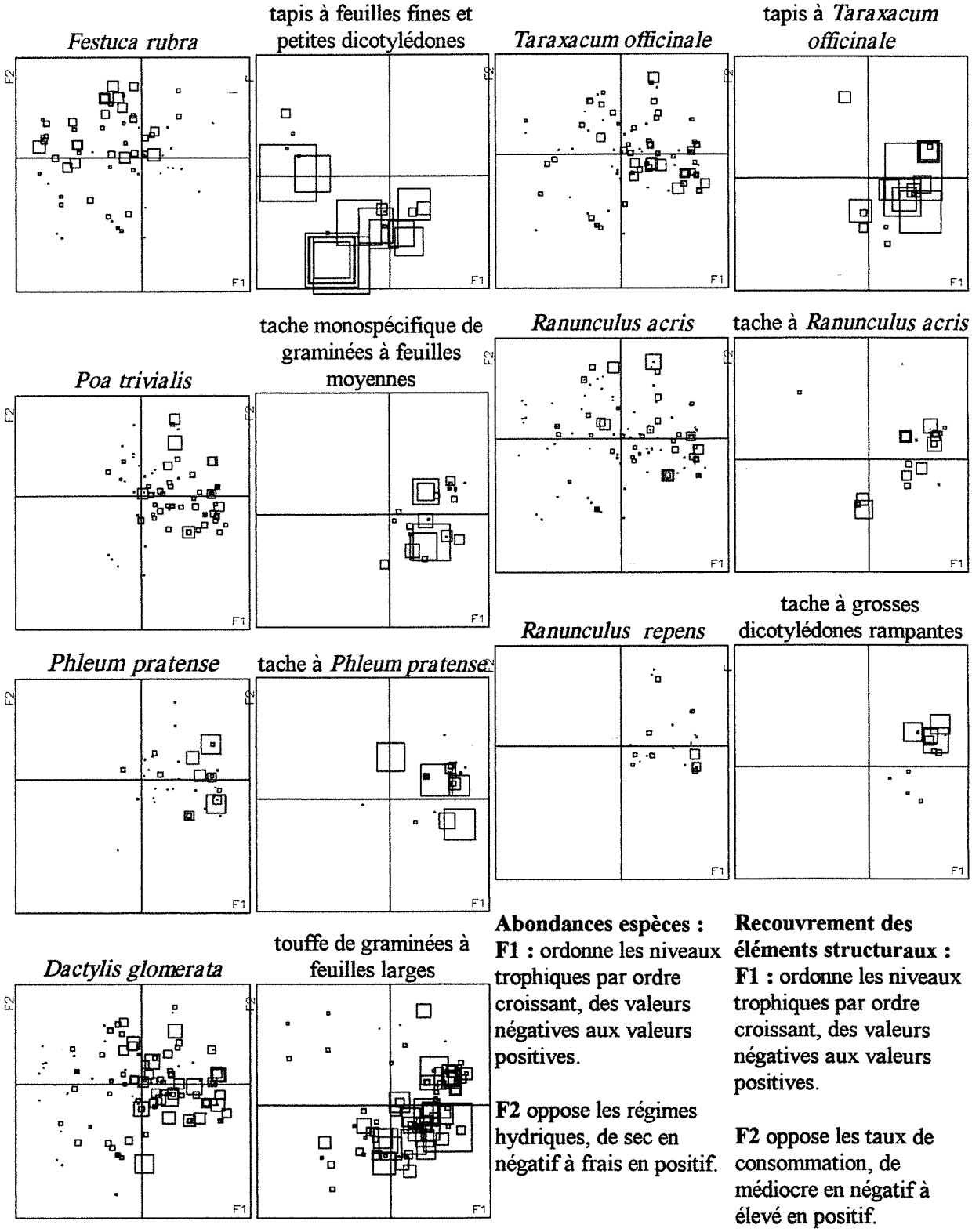
Tableau 3-25 : Liste des états architecturaux lié au taux de consommation dans les pâtures des Alpes du Nord

Coordonnées sur F2 des états de variance sur F2 < 0.550
Les coordonnées sur F2 sont représentatives du taux de consommation :
F2 : valeurs positives = taux de consommation faible à moyen,
valeurs négatives= taux de consommation élevé

	fréquence %	F2
Description architecturale		
touffes groupées	30	0,190
f. larges groupées	5	0,175
f. larges touffes	31	0,133
touffes proéminentes	15	0,026

Figure 3-13 : Sous-nuage de quelques espèces et éléments structuraux dans le plan F1XF2 des relevés. Pâtures des Alpes du Nord. (AFCVI à 28 modalités)

AFCVI sur les abondances des espèces et les recouvrements relatifs des éléments structuraux
Le côté de chaque carré est proportionnel à l'abondance ou au recouvrement.



Abondances espèces :
F1 : ordonne les niveaux trophiques par ordre croissant, des valeurs négatives aux valeurs positives.

F2 oppose les régimes hydriques, de sec en négatif à frais en positif.

Recouvrement des éléments structuraux :
F1 : ordonne les niveaux trophiques par ordre croissant, des valeurs négatives aux valeurs positives.

F2 oppose les taux de consommation, de médiocre en négatif à élevé en positif.

Tableau 3-26 : Déterminismes écologiques des éléments structuraux dans les prairies pâturées

GRANDS TYPES D'ELEMENTS STRUCTURAUX	Disponibilité en nutriments et en eau	Taux de consommation	Ouverture du milieu et piétinement
TOUFFES MONOSPECIFIQUES	Elevée	Moyen	Moyens
TACHES MONOSPECIFIQUES	Elevée	Faible	Elevés
TAPIS PLURI-SPECIFIQUES (interaction entre disponibilité en nutriments et taux de consommation)	Faible	Moyen	Faibles
	ou		
	Elevée	Elevé	Moyens

ELEMENT STRUCTURAL (recouvrement relatif pour lequel l'écologie est donnée)	Niveau trophique	Taux de consom-mation	Rythme d'utilisa-tion	Régime hydrique	Piétine-ment
TOUFFES MONOSPECIFIQUES					
de graminées à f. larges (>30%)			Variable	Variable	
de *Festuca arundinacea* (>5%)			Variable	Variable	
de grosses dicots (>10%)					
d'*Heracleum sphondylium* (>10%)					
de dicots à f. étalées (>20%)					
de *Bromus e.* ou tapis *Brachypodium* (>10%)					
TACHES MONOSPECIFIQUES					
de graminées à f. moyennes (>10%)				Variable	
de grosses dicots rampantes (>10%)					
de *Ranunculus acris* (>10%)					
d'ombellifères à f. découpées (>10%)			Variable		
TAPIS PLURI-SPECIFIQUES					
gazon gra. f. moy et *Trifolium* (>30%)				Variable	
à gra. à f. moy. et larges et *Trifolium* (>30%)			Variable	Variable	
à graminées à f. larges (>20%)					
à *Taraxacum officinale.* (>30%)					
à graminées à f. moy. et larges (>30%)			Variable		
à gra. à f. fines et moy. et *Trifolium* (>30%)				Variable	
à graminées à f. fines vigoureuses (>30%)			Variable		
à petites rosettes (>30%)			Variable	Variable	
à graminées à f. fines et moy. (>30%)				Variable	
à graminées f. fines et petites dicots. (>30%)					

Légende	Niveau trophique	Taux de consomma-tion	Rythme d'utilisation	Régime hydrique	Piétine-ment
	faible	faible	extensif	sec	faible
	moyen	moyen	moyen	moyen	-
	élevé	élevé	intensif	moyen à frais	moyen
	très élevé	très élevé	très intensif	frais	élevé

2. pour les abondances des espèces, l'axe F2 oppose les régimes hydriques, avec les stations mésophiles à fraîches en positif et mésophiles à sèches en négatif. Le régime hydrique est lié aux conditions thermiques, les stations froides étant sur la partie positive de F2,
3. pour les recouvrements des éléments structuraux, l'axe F2 oppose les taux de consommation, médiocres à moyens en négatif et ils sont élevés dans la partie positive de l'axe.

La projection sur ces plans F1XF2 de carrés proportionnels à l'abondance des espèces ou au recouvrement des éléments structuraux dans les différentes stations permet de visualiser leur amplitude écologique. **Les espèces ont, systématiquement, des amplitudes écologiques plus fortes que les éléments structuraux** (dispersion des carrés plus grande) **et sont moins représentées dans les stations où on les rencontre** (carrés plus petits). On retrouve, pour les prairies pâturées les constatations faites dans les prairies de fauche de l'étage montagnard externe.

F) SYNTHESE : GRANDS TYPES D'ELEMENTS STRUCTURAUX ET DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES

Dans les paragraphes précédents, nous avons analysé les déterminismes écologiques des différents éléments structuraux. Ceux-ci se regroupent en trois grands types de structure très distinctes (figure 3-3) :

- les touffes monospécifiques,
- les taches monospécifiques,
- les tapis plurispécifiques.

L'objectif de ce paragraphe est de montrer qu'il existe une relative homogénéité dans les déterminismes écologiques de chacun de ces grands types de structure. Pour cela, nous avons regroupé dans le tableau 3-26 les résultats des AFCVI concernant l'écologie des principaux éléments structuraux des prairies pâturées.

Ce tableau montre les tendances suivantes :

- **les touffes monospécifiques,** graminées et dicotylédones confondues, se rencontrent pour des niveaux trophiques élevées, des taux de consommation faibles à moyens. Elles sont souvent associées à un piétinement notable,

- **les taches monospécifiques** sont liées à un régime trophique élevé, à un taux de consommation faible et à des perturbations importantes du couvert végétal, en particulier par le piétinement. L'extension de ces taches n'est cependant pas forcément liée aux seules ouvertures accidentelles de végétation. Par exemple, les taches de graminées à feuilles moyennes (*Poa trivialis*, *Agrostis capillaris*) dans les prairies de fauche, colonisent les interstices entre les touffes, qui à certaines périodes ne sont pas ombrés par les feuilles de ces dernières,

- **les tapis plurispécifiques** sont caractérisés par une combinaison entre niveau de nutrition et taux de consommation. En effet l'existence d'un tapis est soumise, en conditions de nutrition élevée, à un taux de consommation assez important, pour limiter l'extension des touffes, mais également à un piétinement pas trop fort, qui entrainerait l'apparition de

taches. Dans les régimes trophiques plus pauvres, les tapis se maintiennent pour des taux de consommation plus faibles.

Certains éléments structuraux ont un comportement qui diffère, au moins en première analyse, de ces tendances générales :

- pour les touffes de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalées (*Geranium sylvaticum*, ...) il y a remplacement d'un niveau azoté élevé par un régime hydrique frais. La sociabilité en touffes est cependant d'autant plus marquée que le niveau trophique est élevé,

- les touffes de *Bromus erectus*, sont liées à un taux de consommation faible, mais pas à un régime trophique élevé. Pour cette espèce, qui forme des petites touffes en conditions de nutrition peu favorables nous observons cependant des touffes plus grosses lorsque la nutrition s'améliorees conditions s'améliore (page 47, deuxième partie),
- les taches d'ombellifères à feuilles découpées (*Chaerophyllum hirsutum*) se distinguent des autres taches monospécifiques. Liées aux milieux frais, leur stratégie en taches semble plus le fait d'une croissance rapide à des périodes où les autres espèces sont peu actives qu'à une ouverture accidentelle,
- lorsque la nutrition est faible et la consommation forte, les graminées ne peuvent plus se maintenir et adapter leur port à une forte défoliation, il y a développement d'un tapis à petites rosettes.

Les trois grands types d'éléments structuraux que nous avons retenus prennent en compte différents niveaux dans l'organisation hiérarchique des communautés (BRISKE, 1989) :

- les performances en terme de productivité des individus,
- l'expression morphologique et structurale de stratégies adaptatives aux conditions de l'environnement communes à plusieurs espèces,
- la nature des relations dans la communauté, ségrégation interspécifique par agrégation des individus de même espèce, mélange d'individus d'espèces différentes, ...

Un type d'élément structural rend donc compte de façon très générale d'un mode de vie des végétaux. Or, le "choix" d'un mode de vie n'est pas indépendant des conditions de l'environnement, les solutions efficaces pour exploiter un milieu étant en nombre limité (BARBAULT, 1992). Ceci explique qu'il existe des parentés de déterminismes écologiques entre éléments structuraux appartenant au même grand type.

Tableau 3-28 : Principaux résultats de la troisième partie.

Ecologie de quelques éléments structuraux à dominante de graminées. Conséquences sur la morphologie des organes et la valeur d'usage

ELEMENTS STRUCTURAUX	DETERMINISMES ECOLOGIQUES	MODE DE VIE DE LA VEGETATION	MORPHOLOGIE DE LA VEGETATION	CONSEQUENCES AGRONOMIQUES
Tapis de graminées à feuilles fines ou moyennes chétives (*Festuca rubra, Dactylis, Agrostis capillaris).*	• Ressources faibles en nutriments et/ou en eau. • Rythme non intensif	• Stress trophique. • Compétition faible pour la lumière. • Ombrage des strates supérieures faible.	• Peu d'organes sénescents. • Taux de tiges faible. • Diversité spécifique importante. • Phénologies étalées.	• Croissance lente. • Faible production. • Chute lente de la valeur nutritive durant le 1er cycle. • En pâture, apparition tardive du gaspillage, peu de tri.
Tapis régulier de graminées à feuilles larges et moyennes (*Dactylis, Festuca pratensis, Trisetum flavescens*) riche en légumineuses.	• Ressources moyennes en nutriments et en eau. • Fauche habituelle moyenne, ni précoce, ni tardive.	• Peu de stress trophique. • Compétition faible pour la lumière. • Ombrage par les strates inférieures moyen.	• Peu d'organes sénescents. • Taux de tiges moyen. • Diversité spécifique importante. • Phénologies étalées.	• Croissance moyenne. • Production moyenne. • Chute assez lente de la valeur nutritive durant le 1er cycle. • Peu de tri au pâturage et apparition assez tardive du gaspillage.
Touffes de graminées à feuilles larges (*Dactylis, Festuca pratensis*).	• Ressources élevées en nutriments et/ou en eau. • Fauche habituelle précoce à moyenne. • Rythme non intensif. • Eventuellement piétinement.	• Compétition forte pour la lumière. • Ombrage par les strates supérieures fort. • Expansion verticale de la végétation. • Sociabilité forte des individus d'une même espèce.	• Beaucoup d'organes sénescents. • Taux de tiges élevé. • Faible diversité spécifique. • Phénologies groupées.	• Croissance rapide. • Forte production. • Chute rapide de la valeur nutritive durant le 1er cycle. • En pâture, apparition rapide du gaspillage et possibilités de tris importantes.
Taches monospécifiques à graminées à feuilles moyennes (*Poa trivialis, Agrostis capillaris*).	• Ressources élevées en nutriments et/ou en eau. • Ouverture fréquente du milieu (piétinement, brûlures de végétation, ...)	• Compétition forte pour l'espace. • Stratégie d'expansion latérale, soit dans les trous de végétation, soit saisonnière.	• Beaucoup d'organes sénescents. • Développement important des stolons et rhizomes.	• Croissance forte. • Valeur nutritive peu connue. • Peu appétent au pâturage.

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA TROISIEME PARTIE

Cette partie est consacrée à l'étude des relations entre les facteurs écologiques et la végétation. Celle-ci a été caractérisée selon différentes méthodes, reposant soit simplement sur la composition floristique, soit sur la variabilité intraspécifique de morphologie et de sociabilité des individus. Dans les prairies de fauche et les prairies pâturées des Alpes du Nord, nous avons montré que la méthode utilisée influe sur la nature des relations entre facteurs écologiques et végétation :

- **les présences des espèces** rendent bien compte des conditions de milieu (étage bioclimatique et régime hydrique), mais elles nécessitent la réalisation d'un relevé complet et une bonne connaissance de la flore,
- **les abondances des espèces** sont sensibles au régime hydrique et trophique ainsi qu'à l'étage bioclimatique. Certaines espèces abondantes ont une valeur indicatrice, mais beaucoup d'entre elles sont peu liées aux conditions écologiques,
- **la morphologie potentielle des espèces** apporte, malgré toute la simplicité des états de végétation retenus, des informations sur les conditions écologiques,
- **les méthodes structurales** (morpho-structure des individus, recouvrement des éléments structuraux, architecture) permettent un diagnostic écologique précis, sur des états de végétation peu nombreux. Ceux-ci constituent la masse de la végétation et ont des conséquences importantes sur sa valeur d'usage.

Ces différences de relations entre modes de description de la végétation et facteurs de l'environnnement traduisent des changements d'échelle dans les niveaux d'organisation des communautés et dans les processus mis en évidence (ALLEN et STARR, 1982 ; BRISKE, 1989). Sous l'influence de perturbations, les changements morphologiques et structuraux sont susceptibles d'être plus rapides que ceux des présences et des abondances spécifiques. **La morpho-structure des individus et le recouvrement des éléments structuraux sont des mesures des performances de productivité des individus, combinées au type stratégique des espèces auxquelles ils appartiennent.** Leurs variations sont directement sous l'influence des facteurs affectant la croissance des végétaux : disponibilité en nutriments, en eau et pression de défoliation.

Prendre en compte la variabilité intraspécifique aurait pu amener à multiplier le nombre d'états de végétation enregistrés. Nous ne nous somme pas référé à l'espèce mais au concept de stratégie adaptative : l'existence d'un nombre limité de stratégies se traduit par des réactions convergentes de différentes espèces soumises aux mêmes conditions écologiques. Ceci explique qu'à un grand type d'élément structural (touffe, tache, tapis) correspondent des caractéristiques écologiques et agronomiques communes (tableau 3-28).

Ce résultats permettent de proposer quelques adaptations aux relevés de végétation pratiqués lors d'enquêtes dans les prairies permanentes (tableau 3-29).

Le tableau 3-27 présente les facteurs de variation de la végétation des prairies de fauche de l'étage montagnard des Alpes externes. Mais, dans la végétation, certains états ont une influence particulière sur la valeur d'usage agricole. Nous en tenons compte, dans la quatrième partie, pour réaliser un outil de diagnostic de l'aptitude des prairies aux différentes fonctions.

Tableau 3-27 : Principaux résultats de la troisième partie.

Les facteurs de variation de la végétation dans les prairies de fauche de l'étage montagnard externe

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	EFFET PRINCIPAL SUR LA VEGETATION
PRESSION DE COUPE : STADE HABITUEL DE FAUCHE	• règle l'équilibre entre les graminées et les dicotylédones
REGIME TROPHIQUE : FERTILISATION EN PARTICULIER ORGANIQUE	• modifie la sociabilité des graminées : 1. stations très fertilisées : feuilles larges en touffes (*Dactylis*,*Festuca pratensis*) et taches monospécifiques (*Poa trivialis*, *Agrostis capillaris*), 2. stations non fertilisées : à feuilles fines ou moyennes chétives (*Festuca rubra*, *Agrostis capillaris*, *Dactylis*) 3. stations moyennes : tapis régulier à feuilles moyennes et larges diversifé (*Festuca pratensis*, *Trisetum flavescens*, *Dactylis*) • les fortes fertilisations favorisent certaines grosses dicotylédones à port en touffes : *Anthriscus sylvestris*, *Rumex obtusifolius*, *Geranium sylvaticum* ...
REGIME HYDRIQUE : FRAICHEUR DU CONTEXTE PEDOCLIMATIQUE	• accentue les effets favorables d'une forte fertilisation et d'une fauche tardive sur l'abondance des touffes de dicotylédones : *Anthriscus sylvestris*, *Geranium sylvaticum*, *Chaerophyllum hirsutum*, ...

Tableau 3-29 : Principaux résultats de la troisième partie.
Quels relevés de végétation pratiquer en enquête dans les prairies permanentes ?

NOUS PROPOSONS TROIS TYPES DE RELEVES DE VEGETATION : **1. LE RELEVE FLORISTIQUE ADAPTE,** **2. LE RELEVE MORPHO-STRUCTURAL,** **3. LE RELEVE STRUCTURAL GENERALISE.**
La mise en oeuvre de ces relevés doit se raisonner par rapport à un objectif et des hypothèses qui vont permettre de construire la liste des états de végétation à prendre en compte.
Dans le relevé floristique adapté, il y a réalisation de mesures qui permettent de caractériser de façon moyenne les espèces (taille, port, vigueur, phénologie, organes de multiplication végétative ...)
Ces informations servent ensuite à construire des groupes d'espèces, par exemple : • pour des objectifs agronomiques : groupes d'espèces sur la base de critères morphologiques influant sur la valeur d'usage, • pour une étude de la dynamique et du fonctionnement des communautés : groupes d'espèces sur la base de stratégies adaptatives aux conditions de l'environnement.
Dans le relevé morpho-structural, des informations sur les individus sont enregistrées (sociabilité, vigueur, port, taille ...). Elles permettent de distinguer des variations intraspécifiques et/ou des ressemblances entre espèces.
Ces informations servent ensuite à construire des groupes d'individus, par exemple : • pour des objectifs agronomiques : groupes d'individus sur la base de critères structuraux et morphologiques ayant une influence sur la valeur d'usage, • pour une étude de la dynamique et du fonctionnement des communautés : groupes d'individus, respectant la notion d'espèce, ou toutes espèces confondues, ayant mis en place un même type de réponse aux conditions de leur environnement.
Le relevé structural généralisé consiste à identifier les différents éléments structuraux de la végétation. Il permet de tenir compte des relations de voisinage entre individus.
La définition des éléments structuraux est à adapter aux objectifs, par exemple : • pour des objectifs agronomiques : éléments structuraux traduisant des différences d'appétibilité, éléments structuraux traduisant des différences dans les conditions de croissance et donc les taux de sénescence et d'épiaison, La définition et la validation de tels éléments peut reposer sur une approche expérimentale menée en parallèle : observations du comportement des animaux au pâturage, suivis de croissance. • pour une étude de la dynamique et du fonctionnement des communautés : relations de voisinage entre éléments structuraux de différentes tailles pouvant aller jusqu'à l'individu, éléments structuraux étudiés comme une réponse aux conditions de l'environnement et interprétés en relation avec les stratégies des espèces qui les composent.

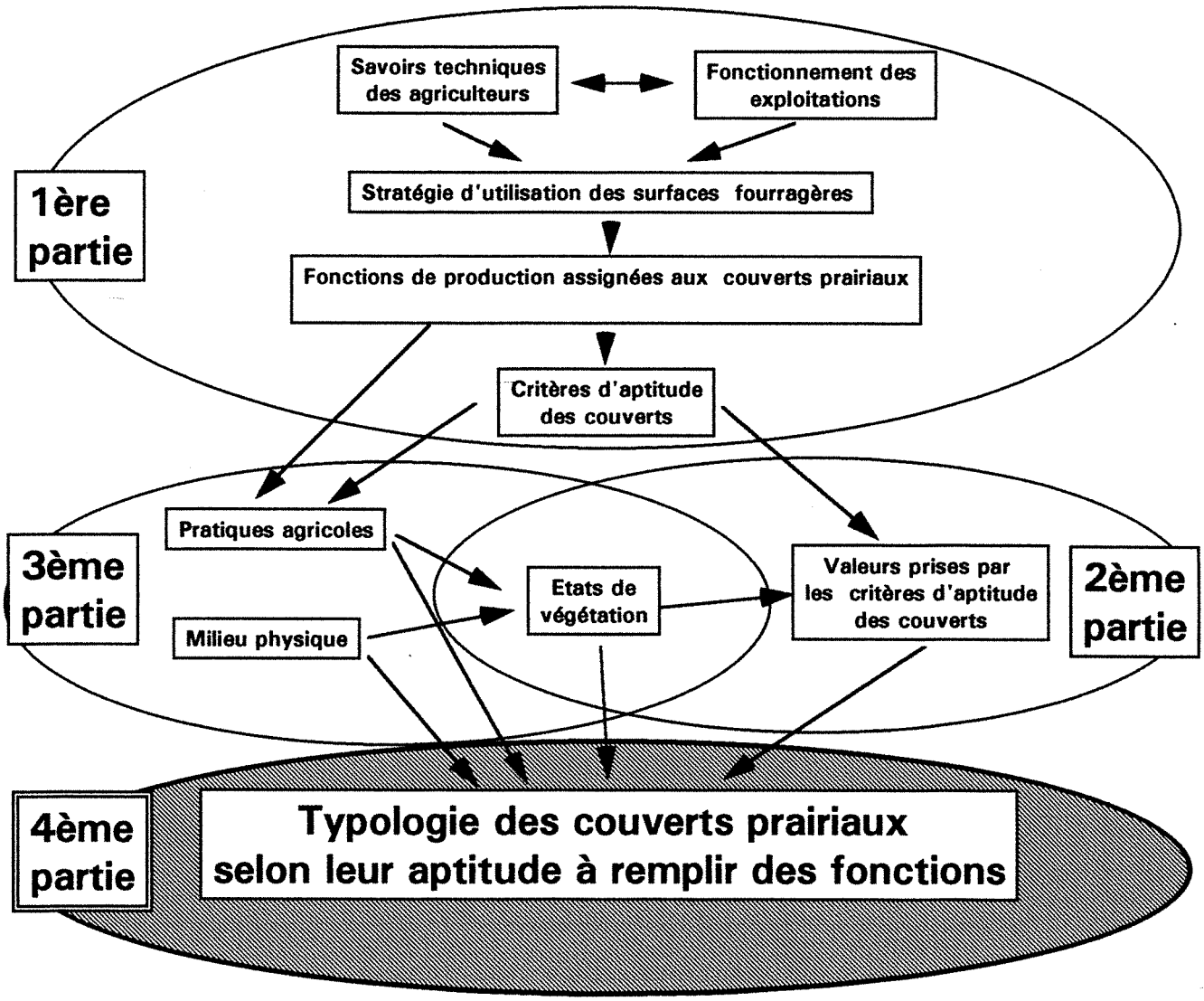
Figure 4-1 : **Quatrième partie : Réalisation d'une typologie des valeurs d'usage agricole**

Une méthode :

Construire une typologie sur la base d'états de végétation indicateurs de l'écologie et des aptitudes agricoles et non pas sur la base d'une classification automatique de relevés floristiques

Travailler dans un groupe associant chercheurs et agents du développement pour préciser les informations utiles et la forme de l'outil

Dans une démarche hiérarchisée :



QUATRIEME PARTIE

REALISATION D'UNE TYPOLOGIE DES VALEURS D'USAGE AGRICOLE

INTRODUCTION

L'objectif de cette partie est de montrer comment les informations présentées tout au long de ce texte ont été organisées pour produire, avec les acteurs concernés, un outil de diagnostic adaptés à leurs besoins. Nous menons cette présentation autour de la typologie de la valeur d'usage des prairies de fauche des Alpes du Nord.

Des techniciens du développement ont participé à ce travail. Leur action, au sein d'un groupe de travail avec des chercheurs, a concerné l'ensemble du processus : identification des problèmes, formulation d'une problématique, production des connaissances, organisation sous forme d'outil et définition d'une stratégie de communication. Dans les parties précédentes de ce texte, nous avons privilégié la présentation des fondements théoriques qui nous permettent de pratiquer un diagnostic des couverts prairiaux selon leurs aptitudes à différents usages : définition des fonctions des parcelles dans les exploitations, relations entre facteurs écologiques, états de végétation et valeur d'usage. Nous avons donc peu évoqué ce groupe de travail, qui nous a aidé dans la construction et la formalisation de notre point de vue sur les prairies et leurs usages.

Dans cette quatrième partie, nous faisons plus souvent référence à ces conditions, associant recherche et développement et nous avons retenu le plan suivant :

1. un premier chapitre de matériel et méthodes présente les utilisations pour lesquelles nous avons conçu l'outil de diagnostic sur les prairies. Nous y expliquons également les raisons qui nous ont fait retenir un modèle typologique et le mode de construction de celui-ci,
2. le deuxième chapitre, de résultats, est une présentation détaillée de la typologie de la valeur d'usage agricole des prairies de fauche des Alpes du Nord,
3. enfin une discussion conclut cette partie. Nous y développons une analyse des apports de ce modèle typologique pour l'explication des processus biotechniques et de sa place dans le champ des connaissances des acteurs.

I - MATERIEL ET METHODES

Les informations utilisées pour construire la typologie des prairies de fauche relèvent de différents domaines :

- des fonctions des prairies dans les exploitations agricoles,
- des savoirs techniques des acteurs et de leurs besoins en connaissances,
- des conditions de milieu et des pratiques agricoles influant sur la valeur d'usage,
- des états de végétation indicateurs des conditions écologiques et/ou faisant varier la valeur d'usage.

Cependant, dans ses principes, cette typologie tient compte aussi d'autres exigences que la seule organisation optimale de ces trois niveaux. Conçue avec les acteurs du développement agricole elle a été élaborée pour des utilisations précises.

1 - UNE TYPOLOGIE CONÇUE POUR DES UTILISATIONS PRECISES

A) LES RAPPORTS ENTRE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

Dans le Groupement d'Intérêt Scientifique (G.I.S.) des Alpes du Nord les rapports entre recherche et développement sont organisés selon un partenariat maintenant les rôles et les fonctions de chacun. Les programmes ne se font pas en marge des structures professionnelles du développement agricole, mais avec leur participation. Notre intervention dans le conseil et l'animation auprès des agriculteurs n'est pas directe, elle passe par les agents du développement agricole. L'organisation du GIS, avec différents groupes permet une prise de décision et des concertations associant des acteurs de la recherche et du développement, de l'élaboration des actions jusqu'à leur appropriation par l'ensemble des techniciens du développement.

C'est de cette structuration des relations entre recherche et développement que découlent les utilisations pour lesquelles la typologie a été conçue :

- permettre le diagnostic et le conseil dans le cadre de l'appui technique individuel, c'est à dire dans une situation de dialogue entre technicien et agriculteur,
- servir de base de connaissances pour proposer des journées d'animation et de formation aux agriculteurs ou aux élèves de l'enseignement agricole. Cette deuxième utilisation a nécessité, en outre, un autre type de présentation des informations et la mise au point de supports adaptés (montages audiovisuels, documents écrits) que nous ne présentons pas ici.

B) BESOINS DU DEVELOPPEMENT EN REFERENCES FOURRRAGERES

Avant la réalisation de nos travaux, les techniciens du développement avaient recours à un diagnostic botanique simplifié. Celui-ci leur imposait cependant un relevé de végétation assez complet et la prise en compte de nombreuses espèces. Dans la pratique, la lourdeur de ce diagnostic, son décalage par rapport aux savoirs des agriculteurs, la difficulté ensuite de l'interpréter, par manque de références agronomiques, limitait son utilisation. Pour la pratique du conseil, les techniciens se référaient à leurs savoir-faire, leurs connaissances générales en agronomie et à différentes références disponibles. Il leur était difficile de se repérer dans l'hétérogénéité des prairies des Alpes et d'adapter leurs conseils aux différents objectifs des exploitations. Ceci se traduisait souvent par un conseil normatif de conduite des prairies conçu dans une logique d'intensification de la production et ne tenant pas compte de la diversité des situations.

Nous présentons un extrait d'un article écrit par les techniciens du développement qui participent au groupe de travail sur les prairies (HAUWUY et al.,1991). C'est un texte de 1991. Il ne reflète ni la situation au début de nos travaux, ni la situation actuelle en 1993. C'est aussi un texte sous influence, celle des échanges entre recherche et développement. Cette culture commune explique les parentés entre notre discours et celui des techniciens, mais l'analyse qui est faite rend compte, de leurs besoins en connaissances sur la production fourragère et de leur mode de travail :

"Lorsque nous intervenons dans une exploitation pour un problème concernant les ressources fourragères, la question de l'agriculteur est encore bien souvent parcellaire et ponctuelle : cette prairie n'est pas belle, que faut-il faire ? De plus en plus, toutefois, nous avons à régler des questions plus globales de trésorerie fourragère ou de gestion de l'ensemble de la surface. Nous avons également des sollicitations en matière d'alimentation des animaux pour lesquelles une bonne connaissance de la valeur alimentaire des fourrages est indispensable. Il s'agit donc d'interventions diversifiées se tournant vers un conseil intégré dans l'exploitation. En effet, même pour le conseil technique parcellaire, nous ressentons bien souvent la nécessité de resituer dans l'exploitation la place et le rôle de la parcelle examinée.

En matière de connaissances et de références sur les productions fourragères, nos besoins suivent bien évidemment cette évolution. Face à un problème, avoir à notre disposition la fameuse "solution technique optimale" ne nous est que rarement utile. Il faut que nous puissions utiliser un outil de diagnostic nous permettant de :

- faire une analyse intégrée de la situation, c'est à dire situer une prairie, une sole ou l'ensemble de la surface d'une exploitation dans la diversité des conditions de milieu physique et de pratiques agricoles que l'on rencontre dans les prairies permanentes des Alpes du Nord,

- proposer une ou des solutions adaptées prenant en compte la fonction de la ou des parcelles dans l'exploitation, les contraintes et objectifs et même plus largement le fonctionnement de l'exploitation."

2 - UNE ELABORATION INTERACTIVE

A) LE GROUPE DE TRAVAIL SUR LES FOURRAGES

La réalisation du travail sur les prairies, à la suite d'une demande des agriculteurs, est le fruit d'une démarche interactive entre recherche et développement. Au début des travaux, l'ensemble des techniciens du développement ont exprimé, à l'occasion de plusieurs réunions, leurs problèmes en matière de conseil fourrager. Ensuite, un groupe de travail a assuré le suivi et pris les décisions nécessaires. Dans ce groupe, le rôle de chacun est préservé, chercheurs et agents du développement conservent leurs fonctions respectives, mais échangent des points de vue et prennent des décisions communes. Les représentants du développement sont trois, un pour chaque département. Ce sont les conseillers relais montagne : X. Folliet en Haute-Savoie, Ph. Moyroud en Isère et successivement J. Longueville, Agnès Hauwuy et Ph. Deloire en Savoie. Les chercheurs sont, B. Jeannin, (I.N.R.A. S.A.D. Versailles), agronome fourrager, J.M. Dorioz, (I.N.R.A. Science du sol, Thonon), pédologue et phytosociologue. Le groupe a également bénéficié, à certaines étapes, de la participation de B. Cristofini et D. Roybin, (I.N.R.A. S.A.D. Versailles) qui étudient le fonctionnement des exploitations. J'ai assuré la permanence nécessaire à la réalisation conjointe des travaux de recherche et de développement en tant qu'ingénieur du G.I.S. Alpes du Nord.

B) LE CHOIX D'UN MODELE TYPOLOGIQUE

C'est dans le cadre du groupe de travail sur les fourrages que la décision a été prise, au fur et à mesure de l'arrivée des résultats, de retenir un modèle de classification typologique. En effet, les connaissances que nous avons présentées dans les parties précédentes de ce texte, sont soit sous la forme de modèles statistiques (régressions linéaires, analyses factorielles, ...) soit sous forme de références (tableaux de chiffres, de moyennes, ...). Les données sont nombreuses et relèvent de plusieurs thèmes : production, valeur nutritive du fourrage vert, vitesse de séchage et modifications durant la récolte, ... Cette forme de présentation des informations n'est pas facilement utilisable sur le terrain. Le choix d'un modèle typologique se justifie donc par la possibilité d'organiser sous une forme synthétique ces différentes informations. Pouvoir "classer des prairies", se repérer dans leur diversité, en situant chacune d'elles dans un modèle de fonctionnement a été aussi une des raisons de ce choix.

C) DES ACTIONS DE DIFFUSION AVANT LA FIN DU TRAVAIL DE RECHERCHE

Le groupe de travail, s'est régulièrement ouvert à d'autres techniciens du développement lors de visites de terrain. Ensuite, avant même la fin des travaux de recherche, dès qu'une première ébauche de typologie a été disponible, ces rencontres se sont organisées dans le cadre de stages annuels de formation. L'ensemble des techniciens du développement, mais aussi les enseignants de la formation initiale et professionnelle concernés par la production fourragère participent à ces sessions de 2 à 4 jours. La première année de stage, l'objectif était surtout de recueillir des avis critiques sur l'ébauche de typologie. Les principales remarques ont porté sur sa facilité d'utilisation : critères de détermination des types et nombre de types. Des enrichissements sur la rénovation de prairies ont également été souhaités.

Nous avons tenu compte de ces remarques et adapté l'outil. Pour les informations manquantes nous avons mis en place des travaux complémentaires. Les sessions de formation se sont ensuite attachées à explorer les différentes possibilités d'utilisation de la typologie. La réalisation de ces sessions a été d'abord essentiellement le fait des chercheurs et de moi-même qui assurions la conception méthodologique et la réalisation de la typologie. Ensuite, et cela d'autant plus que les thèmes abordés se rapprochaient de la pratique du conseil, les conseillers relais montagne ont réalisé interventions et visites de terrain. Aujourd'hui, ils prennent l'initiative et réalisent eux-mêmes les stages de formation, pour les autres agents du développement. Ils interviennent également dans l'animation de groupes d'agriculteurs ou dans leur formation initiale sur le thème de la production fourragère en montagne.

Ces conditions originales de travail, nous ont stimulé dans une construction typologique qui diffère des méthodes habituelles.

3 - PRINCIPES DE CONSTRUCTION METHODOLOGIQUE

A) POINT BIBLIOGRAPHIQUE

Les typologies de prairies réalisées à des fins agronomiques sont pour la plupart des typologies de composition floristique (ZANGIACOMI, 1979 ; DIETL, 1981 ; VERTES, 1983 ; PLANTUREUX, 1985 ; BALENT, 1987 ; PEETERS, 1989 ; VOLAIRE, 1989 ; GRANGER, 1992). Leur élaboration repose sur l'analyse, généralement par classification ascendante hiérarchique (CAH), d'un tableau croisé relevé/espèces, ou des coordonnées des relevés sur les premiers axes d'une analyse factorielle des correspondances (AFC) de ce tableau. Il s'agit d'une méthode de travail utilisant les concepts de la phytosociologie et intégrant, au départ tout au moins, un de ses objectifs : la classification des communautés végétales par la mise en évidence de combinaisons caractéristiques d'espèces (GUINOCHET, 1973).

La méthode phytosociologique détermine des catégories de groupements végétaux sur la base d'homogénéités dans la liste totale des espèces présentes dans les relevés. Les typologies à fins agronomiques ne se limitent généralement pas à une caractérisation de la seule liste des espèces, mais prennent aussi en compte leur volume ou leur recouvrement relatif. L'objectif est de mieux rendre compte de la production et de la valeur des prairies, mais aussi d'améliorer le diagnostic écologique, en particulier sur les pratiques agricoles (PLANTUREUX, 1983 ; FILY, 1990 ; GRANGER, 1992). Ces classifications floristiques descriptives sont généralement informées du point de vue des conditions écologiques et moins systématiquement en matière de caractéristiques agronomiques :

- les interprétations des AFC, souvent réalisées avant les classifications automatiques, permettent de déterminer les facteurs écologiques responsables des variations de composition floristique. Ce travail est parfois poussé jusqu'à la mise en évidence de relations dynamiques entre types, par modification des pratiques ou variation des conditions de milieu (PLANTUREUX, 1983 ; FOUCAULT (de) 1992 ; GRANGER, 1992),
- au delà du simple calcul de la valeur pastorale, il peut être pratiqué, sur un échantillon représentatif des différents types, des mesures de production et de valeur nutritive du

fourrage. Les valeurs obtenues sont ensuite affectées comme caractéristiques agronomiques de chaque type (VERTES, 1983 ; PLANTUREUX et al., 1992). Cette étape est souvent considérée comme délicate et non optimale, en particulier parce que les variations de production sous l'influence des facteurs trophiques et hydriques sont plus fortes et plus rapides que celles de la composition floristique (PEETERS et LAMBERT, 1990 ; PLANTUREUX et al.,1992).

La base floristique de ces typologies explique également la nature des critères proposés pour reconnaître les différents types : liste d'espèces discriminantes de chaque type ou espèces dominantes. Bien souvent, leur utilisation nécessite la connaissance d'au moins une cinquantaine d'espèces et un examen attentif de la végétation, voire un relevé simplifié (DELPECH, 1993).

B) UNE CONSTRUCTION DIRIGEE ET NON PAS UNE CLASSIFICATION AUTOMATIQUE

L'objectif est de proposer des types de couverts homogènes du point de vue de la valeur d'usage et des conditions écologiques influant sur elle. Le diagnostic écologique est essentiel pour donner une dimension dynamique à la typologie. Il met en évidence les pratiques agricoles sur lesquelles agir pour modifier les aptitudes de la végétation.

Dans les classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) qui permettent de réaliser des typologies automatiques (LAPCHIN et BOLL, 1981), chaque objet, le relevé en l'occurence, est caractérisé par un nombre élevé de variables : les états de végétation, présences ou abondance des espèces. Il est également possible d'utiliser les coordonnées du relevé sur les premiers axes d'une AFC. Ces coordonnées sont en fait la partie utilisable, car interprétable, du tableau initial et contiennent une information presque aussi importante (BALENT, 1987). Les classifications automatiques permettent de distinguer des groupes, par calcul des proximités entre objets, en évitant de faire des hypothèses sur le rôle des variables (BOUROCHE et SAPORTA, 1980 ; CHANDON et PINSON, 1981 ; JAMBU, 1989). Chaque variable a le même poids. L'objectif de ces analyses est de distinguer des groupes aussi homogènes que possible par rapport à l'ensemble des variables.

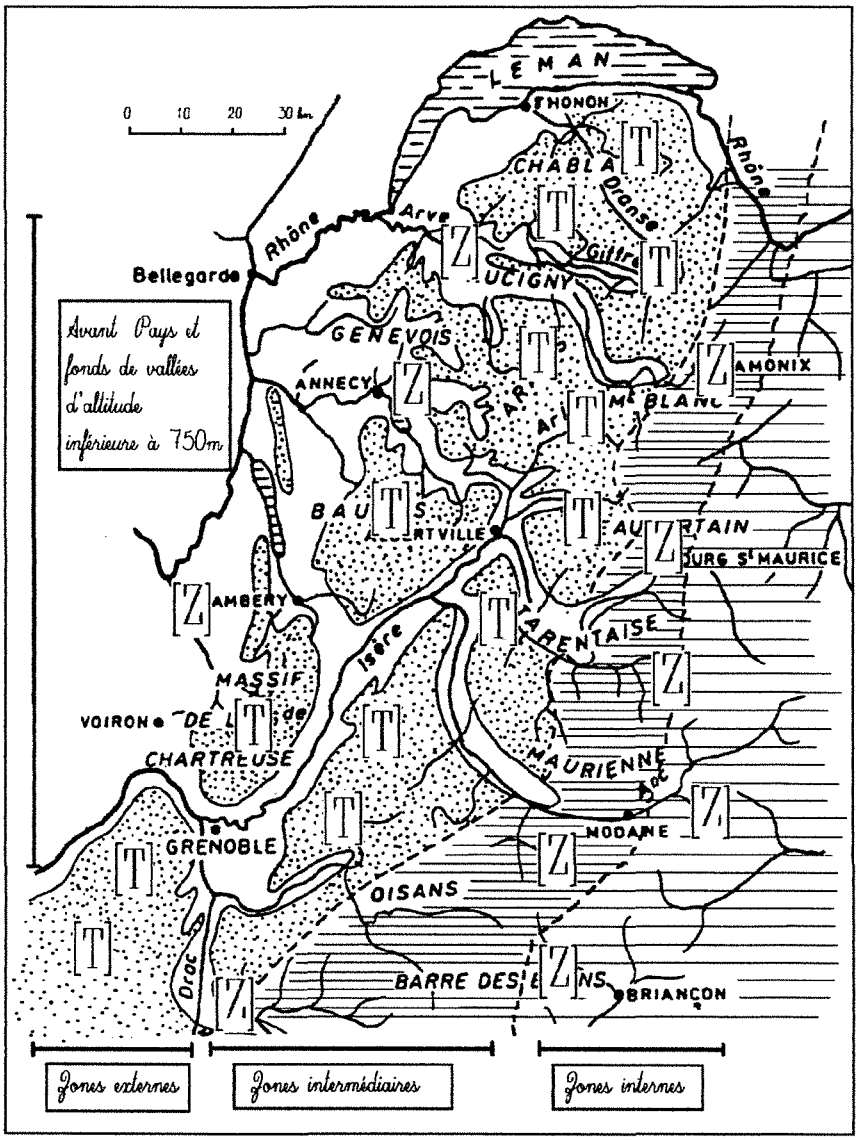
1- Présentation de la méthode mise au point

Nous n'avons pas utilisé les classifications ascendantes hiérarchiques pour réaliser la typologie des prairies de fauche. En effet, nous avons plus que des hypothèses sur les facteurs de variation de la valeur d'usage et sur les relations entre états de végétation et conditions écologiques. La deuxième et la troisième partie de ce travail nous ont permis de montrer les états de végétation et les descripteurs écologiques les plus importants. Nous utilisons donc ces connaissances pour construire une typologie et privilégier certains descripteurs et états de végétation essentiels pour notre objectif. **Il ne s'agit donc pas d'une typologie de végétation mais d'une typologie de l'ensemble constitué par les facteurs écologiques, les états de végétation et leurs effets sur la valeur d'usage des prairies.**

La méthode que nous avons élaborée consiste à retenir des états de végétation, pouvant relever de différents modes de description de la végétation, mais permettant un diagnostic des conditions écologiques influant sur les critères de la valeur d'usage, ou ayant un effet direct

Figure 4-2 : Secteurs de test de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord externes

T : test de la typologie
Z : recherche des limites de la zone de validité



sur ceux-ci. Elle consiste donc, par un diagnostic sur des critères multiples, à combiner la valeur informative de plusieurs modes d'observation de la végétation : abondance de certaines espèces, morphologie et structure de la végétation, en particulier des graminées.

Un des avantages d'une telle méthode réside dans le fait que les états de végétation ayant servi à l'élaboration de la typologie, en nombre restreint, sont les mêmes que ceux qui sont ensuite utilisés pour réaliser une clef de reconnaissance des types prairiaux. La méthode de classification des stations de l'échantillon de construction est donc la même que celle proposée pour l'utilisation ultérieure sur le terrain. Ceci limite les risques de différences de classement, pour une même station, suivant que l'on utilise un algorithme automatique ou une clef d'espèces indicatrices issue de celle-ci et ne prenant en compte qu'une partie de l'information initiale.

2 - Echantillonnage des stations

Le mode d'élaboration de la typologie a fait intervenir plusieurs échantillons complémentaires de prairies:

- les prairies sur lesquelles nous avons analysé les facteurs de variation de la valeur d'usage. Les résultats sont présentés dans le quatrième chapitre de la deuxième partie,
- un échantillon de prairies dans lesquelles nous avons étudié, dans la troisième partie, les relations entre les descripteurs écologiques et les états de végétation. Pour les prairies de fauche de l'étage montagnard des Alpes du Nord externes cet échantillon contient 50 stations,
- un échantillon de test de 350 stations réparties sur l'ensemble de l'étage montagnard des Alpes du Nord (figure 4-2).

L'objectif de ce test a été d'évaluer la représentativité des résultats issus des échantillons plus restreints. Pour cela, nous avons observé rapidement sur ces 350 stations les principales caractéristiques de la végétation et des conditions écologiques : espèces dominantes, structure de la végétation et des individus des espèces dominantes, situation topographique, fraîcheur du pédo-climat sur la base d'espèces indicatrices et de l'environnement forestier. Nous avons peu d'informations sur les pratiques agricoles, si ce n'est que nous nous sommes assurés d'être sur des prairies de fauche en réalisant des observations tardives en fin de premier cycle ou sur des repousses jeunes présentant encore un aspect lié à la fauche.

Ce test a peu modifié les types initiaux élaborés sur l'échantillon restreint de 50 stations. Il nous a permis de préciser les combinaisons les plus fréquentes parmi les états de végétation que nous avions retenus comme indicateurs de la valeur d'usage. Parmi les 350 prairies observées, 96% d'entre elles ont pu être classé dans un type de végétation. Les stations non classées sont hétérogènes et ne constituent pas un autre type.

Ce travail a aussi permis de préciser l'extension biogéographique de la validité de la typologie. Notre hypothèse était qu'elle concernait l'ensemble de l'étage montagnard des Alpes du Nord, en particulier les prairies de l'alliance du *Triseto-Polygonion bistroti*. Pour le vérifier nous avons fait des observations en limite de l'étage montagnard (figure 4-2). Nous avons pu ainsi préciser la limite inférieure de la zone de validité ainsi que sa limite Est, avec les prairies des vallées internes.

Tableau 4-1 : Les différents éléments qui interviennent dans la structure de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord externes

PRINCIPAUX FACTEURS DE VARIATION DE LA VALEUR D'USAGE
DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES : (agissent surtout de façon indirecte sur les aptitudes par le biais de modifications des états des couverts)
AYANT UNE CERTAINE STABILITE INTERANNUELLE : (leur influence directe sur la valeur d'usage a été étudiée dans la 2ème partie, les relations avec les états de végétation font l'objet de la 3ème partie) **Pression de coupe :** stade habituel de fauche **Régime trophique :** fertilisation, en particulier organique **Régime hydrique :** fraîcheur du pédoclimat
SOUMIS A DES VARIATIONS SAISONNIERES ET INTERANNUELLES : (leur influence sur la valeur d'usage a été étudiée dans la 2ème partie) **Régime hydrique :** précipitations **Régime thermique :** températures
ETATS DE VEGETATION : (déterminés par les conditions écologiques, ils agissent directement sur les aptitudes des couverts)
AYANT UNE CERTAINE STABILITE STATIONNELLE : (états dont les déterminismes écologiques ont été décrits dans la 3ème partie) **Taux de dicotylédones non légumineuses et taux de légumineuses** **Structure :** sociabilité des individus (touffes, taches, tapis) en relation avec les stratégies adaptatives des espèces
EVOLUANT DURANT LA SAISON DE VEGETATION : **Phénologie** (déterminismes relevant du topoclimat thermique, (FLEURY, 1985) **Morphologie :** sénescence, taux de tiges, taille (déterminismes écologiques et relations avec la structure ont été décrits dans la 2ème partie)
FONCTIONS DES SURFACES ET CRITERES D'APTITUDE DES PRAIRIES
Présentation d'une information complète, mais synthétique, par type de prairie sans recours à une note de valeur globale. **Ces informations sont organisées de façon à permettre de juger l'aptitude d'une prairie par rapport à des objectifs différents**
MODES DE RAISONNEMENT ET SAVOIRS TECHNIQUES DES ACTEURS
Le principe du diagnostic s'apparente à celui pratiqué par les agriculteurs qui observent différents états de végétation : certaines espèces abondantes, la structure et la morphologie, **Codification d'un vocabulaire pour décrire ces états**
Validation scientifique des indicateurs de morphologie et de structure qui renvoient à des modèles morphogénétiques établis pour certaines espèces des prairies temporaires (LEMAIRE, 1991)
Prise en compte du mode de travail des techniciens du développement : **Utilisation d'indicateurs nouveaux** (morphologie, structure), **mais aussi de repères habituels compatibles avec les outils disponibles** (stades phénologiques, taux de dicotylédones, tables de valeur alimentaire des fourrages réalisées sur un modèle éprouvé (ANDRIEU et al., 1988), **Mise au point d'un diagnostic rapide et complet**

La présentation de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord illustre les solutions que nous avons retenues, dans le fond et la forme, pour permettre un diagnostic agronomique des prairies, par rapport à une diversité de fonctions et par des acteurs ayant d'autres formes de savoirs.

II - RESULTATS

1 - LA STRUCTURE DE LA TYPOLOGIE

La structure de la typologie des prairies de fauche ne s'explique qu'en partie par les résultats agronomiques concernant l'effet des facteurs écologiques sur les états et la valeur d'usage des végétations. Les fonctions des prairies dans les exploitations, les besoins et les savoirs techniques des acteurs interviennent aussi dans la structure et le mode de présentation de la typologie (tableau 4-1).

A) FACTEURS DE VARIATION DE LA VALEUR D'USAGE

Le tableau 4-1 présente les états de végétation et les descripteurs écologiques influant sur la valeur d'usage. Un petit nombre de facteurs écologiques et d'états de végétation sont impliqués dans les variations d'aptitude des prairies. Les descripteurs écologiques ayant une forte influence sur les états et les aptitudes des couverts rendent compte de la disponibilité en nutriments (fertilisation), en eau (contexte pédo-climatique et précipitations), en énergie (températures) et de pression de coupe (stade habituel de fauche). Il s'agit de quatre facteurs écologiques ayant habituellement un fort impact sur la différenciation des végétations (LEMEE, 1967 ; HARPER, 1978 ; BARBAULT 1992).

Le niveau taxinomique utile n'est pas celui de l'espèce. En effet, les seules références à la systématique végétale que nous avons pu relier aux critères de la valeur d'usage sont les volumes de dicotylédones non légumineuses et de légumineuses. La structure de la végétation, en particulier le taux de touffes, est un facteur de variation de la valeur d'usage d'observation aisée et qui a une assez forte stabilité saisonnière. La phénologie traduit de façon particulièrement facile à appréhender les variations instantanées des couverts, alors que les critères morphologiques sont plus difficiles à mesurer. Mais, la structure de la végétation rend compte du type d'évolution saisonnière des taux de tiges et de la sénescence (chapitre 3, partie II).

Tableau 4-2 : Comment utiliser la typologie ?

Tableau extrait des *"Fiches du technicien des Alpes du Nord. Prairies de fauche et pâtures"*. G.I.S. Alpes du Nord, 1987.

Pour émettre un diagnostic sur une prairie de fauche ou sur l'ensemble des prairies d'une exploitation, il faut passer par les étapes suivantes :

Etape 1 - *Fiche N° 2*

Est-on oui ou non dans la zone de validité des prairies de fauche des Alpes du Nord humides :
Très rapidement, cette étape peut être supprimée par les observateurs un peu habitués sauf dans les situations extrêmes, à savoir pente sud très forte (plus de 40 %), sol visiblement superficiel (moins de 20 cm), altitude inférieure à 800 mètres ou supérieure à 1 600 mètres.
En cas de réponse négative, se reporter, soit aux données sur les prairies submontagnardes pour les stations les plus basses, soit aux données sur les Alpes internes, quand les résultats seront disponibles.

Etape 2 - *Fiches N° 3 et 4*

Détermination du type prairial : Il convient de s'assurer au préalable qu'il s'agit bien de prairies de fauche et non de pâturages. La fiche N° 4 contient les photos des quelques plantes utilisées dans la clé de détermination de la fiche N° 3.

Etape 3 - *Fiches N° 6 à 14*

Utilisation des données correspondant au type prairial : Ces fiches contiennent pour chaque type prairial, de nombreux renseignements sur sa valeur d'utilisation agricole :

- **photographie** permettant de bien visualiser "l'allure" de ces prairies et aussi de confirmer la détermination faite avec la clef de détermination des types prairiaux (Fiche N° 3),
- présentation des **facteurs écologiques** (pratiques agricoles et milieu physique) responsables de la végétation actuelle,
- description des **caractères de la végétation**
- **appréciation agricole globale** sur le rendement, la valeur nutritive, l'aptitude au séchage et l'appétence,
- **sensibilité à certaines pratiques** agricoles un peu extrêmes (pâturage en conditions humides, excès ponctuels de lisier...)
- **itinéraires d'évolution** (pratiques agricoles à mettre en œuvre pour passer d'un type prairial à un autre).

Enfin, les fiches N°15 et suivantes contiennent les tableaux de la valeur alimentaire des fourrages verts et des foins des différents types prairiaux. Leur utilisation nécessite, pour le premier cycle, la connaissance, par observation ou enquête, du stade du dactyle à la fauche (Fiche N° 5).

B) UN OUTIL QUI DOIT PERMETTRE LE DIALOGUE

La typologie des prairies concerne les techniciens du développement dans leur activité de conseil, c'est à dire dans une situation d'échanges avec les agriculteurs. Notre objectif n'est pas de reproduire les représentations qu'ont les agriculteurs et les techniciens du développement du fonctionnement des prairies (HUBERT, 1991). Il nous semble cependant qu'ils ne sont pas les seuls à devoir s'adapter dans un processus de production de connaissances. Dans la deuxième partie, nous avons présenté les savoirs techniques des agriculteurs sur les prairies. Ces savoirs, différents des savoirs scientifiques organisés dans des champs disciplinaires, ont un sens agronomique. Nous en avons montré la pertinence lors de l'étude des facteurs de variation de la valeur d'usage. Leur mode de diagnostic, multi-critères s'est construit dans une logique d'utilisation des prairies. Les connaissances des agriculteurs sur le fonctionnement des prairies ne sont cependant ni complètes, ni homogènes de l'un à l'autre. Elles sont différentes de celles des agronomes et de celles des membres du groupe qui a piloté cette action. Ils ignorent ou sous-estiment certains processus. Ceci justifie pleinement d'associer une formation des groupes d'agriculteurs à la mise à disposition d'un outil pour le conseil individuel.

Auparavant, notre objectif est de réaliser un outil de diagnostic de l'aptitude des prairies à différentes utilisations. Il est donc logique et naturel de faire intervenir dans sa conception non seulement nos résultats agronomiques mais aussi le vocabulaire et les modes de raisonnement mis en oeuvre par les agriculteurs (tableau 4-1). Nous avons également tenu compte des conditions de travail et des autres outils à la disposition des techniciens du développement : nécessité d'un diagnostic rapide, utilisation des tables de valeur alimentaire (ANDRIEU et al., 1988), ...Le nombre de types, l'organisation de la clef de reconnaissance, le vocabulaire utilisé, les indicateurs d'identification sur le terrain, les informations agronomiques présentées, la gamme des solutions techniques proposées, tiennent aussi compte des acteurs et de leurs besoins.

2 - PRESENTATION DE LA TYPOLOGIE DES PRAIRIES DE FAUCHE

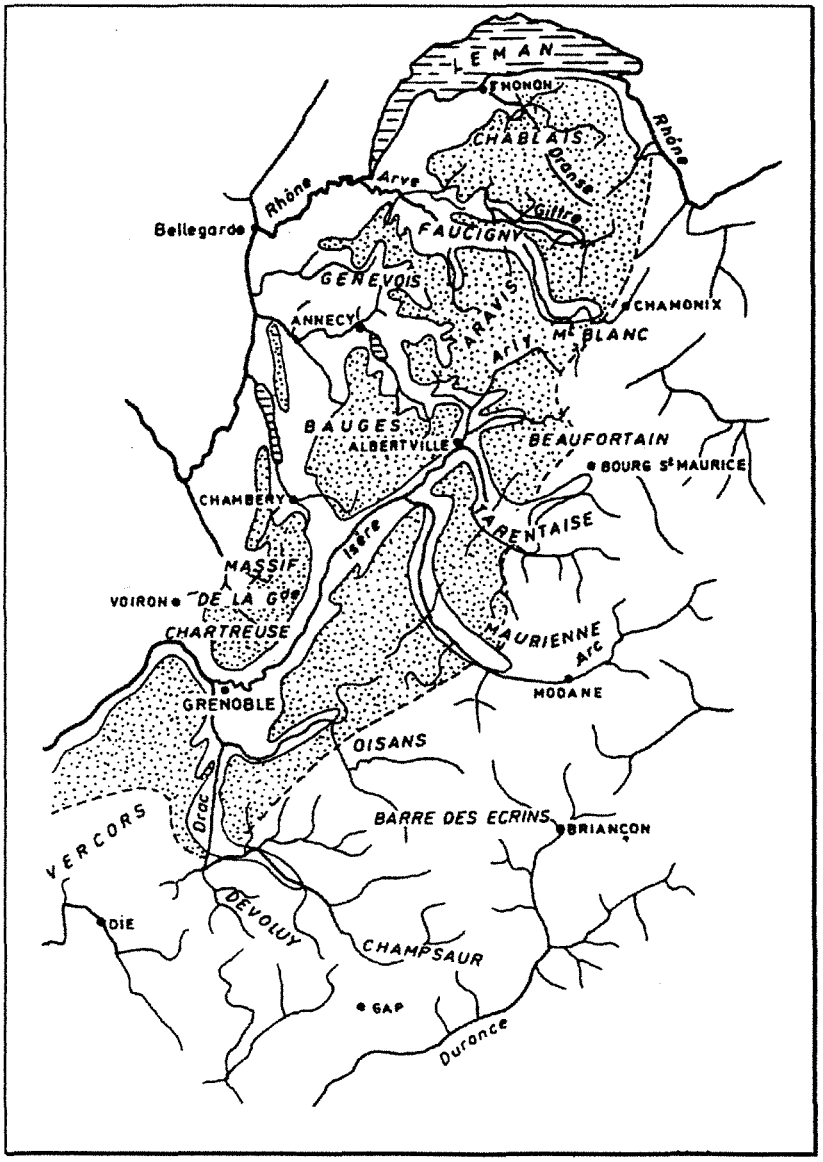
La typologie proposée est fondée sur trois repères :

- **une zone de validité** indique les limites d'application des différents connaissances ayant servi à la construction du modèle typologique,
- **la clef de reconnaissance des types de prairies** permet de situer une prairie dans la dynamique interannuelle des végétations sous l'effet des pratiques agricoles et des variations du milieu physique,
- **un indicateur d'état instantané**, la phénologie de *Dactylis*, rend compte des variations saisonnières de la valeur d'usage. La phénologie de *Dactylis* est utilisée dans les tables de valeur nutritive des fourrages.

Tableau 4-3 : Les variations des facteurs explicatifs du taux de dicotylédones non légumineuses suivant la région bioclimatique :

REGION BIOCLIMATIQUE	ABONDANCE MOYENNE DES DICOTYLEDONES NON LEGUMINEUSES (%)	EQUATION DE REGRESSION ENTRE TAUX DE DICOTYLEDONES ET DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES	COEFFICIENT DE CORRELATION MULTIPLE
ETAGE SUBMONTAGNARD	12,2	DICOTS% = 18,9-0,0674*FERTILISATION	0,456
ETAGE MONTAGNARD EXTERNE	39,6	DICOTS% = -10,5 +0,140*FERTILISATION +0,546*STADE DE FAUCHE +1,250* PEDOCLIMAT	0,765
ETAGE MONTAGNARD INTERNE	37,8	DICOTS % = toutes les variables sont non significatives au seuil 10% du test de F	NS

Figure 4-3 : Zone de validité de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord externes (en grisé)



La zone de validité recouvre l'étage montagnard des Alpes du nord externes caractérisé par :

- l'abondance des précipitations en été,
- la fraîcheur des températures,
- des sols assurant une bonne fourniture en eau et au plus un peu acidifiés (pH supérieur à 5,5, rarement égal à5),
- dans les exploitations, production laitière bovine avec alimentation hivernale à base de foin,
- récolte des foins sur prairies permanentes, pas ou peu de prairies temporaires et de cultures fourragères.

Carte extraite des "*Fiches du technicien des Alpes du Nord. Prairies de fauche et pâtures*". G.I.S. Alpes du Nord, 1987.

Les informations agronomiques sont organisées de façon à permettre deux types de lecture :

- **des fiches d'information par types de prairies** donnent une description des critères fourragers de la valeur d'usage et des possibilités d'évolution,
- **des tableaux synthétiques** émettent un jugement d'aptitude des types de prairies et proposent des solutions, soit d'amélioration de la conduite, soit de pratiques de rénovation en rapport avec la fonction de la prairie dans l'exploitation.

Sur le terrain l'utilisation de la typologie se fait en trois étapes (tableau 4-2) :

- est-on oui ou non dans la zone de validité ?
- détermination du type prairial,
- utilisation des données correspondant au type prairial.

A) LA ZONE DE VALIDITE

La zone de validité de cette typologie est la zone dans laquelle les classements hiérarchiques des facteurs de variation de la valeur d'usage sont les mêmes. Le tableau 4-3, montre pour le taux de dicotylédones non légumineuses les changements dans les facteurs explicatifs suivant la région bioclimatique. A l'étage montagnard des Alpes externes, le taux de dicotylédones est très fortement lié à la fertilisation et au stade de fauche. A l'étage submontagnard, les dicotylédones sont beaucoup moins abondantes. Dans le montagnard des vallées internes, fertilisation, stade de fauche et pédoclimat n'expliquent pas de façon satisfaisante les variations de dicotylédones.

La zone de validité est un secteur géographique ayant une relative homogénéité macroclimatique et pédologique (figure 4-3). Elle recouvre l'étage montagnard des Alpes du Nord externes. La majorité des exploitations agricoles de ce secteur se sont orientées vers une production laitière avec une alimentation hivernale à base de foin. Ces foins sont soit achetés, soit récoltés sur des prairies permanentes. Prairies temporaires et cultures fourragères sont rares. Il existe donc aussi sur cette zone une variation limitée des pratiques et des fonctions qui nous a permis d'en faire l'inventaire.

Savoir si on se trouve dans la zone de validité de la typologie est la première étape de son utilisation. Très rapidement, elle peut être supprimée par les observateurs un peu habitués et travaillant dans un même secteur. Cette réponse s'obtient par observation de la carte de la figure 4-3. Dans les situations limites, à savoir pente sud très forte (plus de 40%), sol visiblement superficiel (moins de 20cm), altitude inférieure à 800 mètres ou supérieure à 1600m l'échelle de la carte ne permet pas le diagnostic. Il faut utiliser des repères de terrain, par référence à la situation topographique (tableau 4-4) ou aux forêts voisines (tableau 4-5).

B) LA CLEF DE RECONNAISSANCE DES TYPES DE PRAIRIES DE FAUCHE

1 - Choix d'états de végétation pertinents

Dans la troisième partie, nous avons identifié des états de végétation indicateurs des conditions écologiques. Une présentation synthétique de ces états est effectuée dans le tableau 4-6. Ils ne sont pas tous pertinents pour élaborer une clef de reconnaissance. Nous avons privilégié ceux

Tableau 4-4 :
Comment vérifier l'appartenance d'une prairie à la zone de validité ?
1 Méthode des repères topographiques

Cette méthode est simple et fiable. Il suffit de vérifier si l'on est dans les limites topographiques des prairies de montagne des Alpes du Nord. Pour cela, il faut tenir compte de l'orientation, de la pente, de l'ouverture de la vallée et de l'altitude. Par exemple, une prairie orientée nord, avec une pente supérieure à 30%, dans une vallée large, est dans la zone de validité à partir de 700m et jusqu'à 1600 m environ.

Orientation	N.E. à N.O.				N.E. à S.E. et S.O. à N.O. et fond de vallée				S.E. à S.O.			
Pente	<30 %		>30 %		<30 %		>30 %		<30 %		>30 %	
Ouverture de la vallée	étroi -te	large	étroi -te	large	étroi -te	large	étroi -te	large	étroi -te	large	étroi -te	large
Limite altitudinale inférieure (en mètres)	700	800	600	700	700	800	700	900	800	900	900	1000
Limite altitudinale supérieure (en mètres)	1600 à 1700											

Tableau 4-5 :
Comment vérifier l'appartenance d'une prairie à la zone de validité ?
2 Méthode par l'environnement forestier

En raison de sa pérennité, la forêt est souvent un très bon indicateur des caractéristiques du climat local. Le tableau donne l'environnement forestier des différents groupes de prairies.

GROUPE DE PRAIRIES	ENVIRONNEMENT FORESTIER
Prairies collinéennes à submontagnardes	Chênaie à charme (avec ou sans châtaignier) ou hêtraie charmaie, noyer abondant.
Prairies montagnardes (étudiées ici)	Hêtraie ou hêtraie sapinière avec présence dans les nuances plus chaudes de quelques frênes, sycomores, cerisiers et même noyers.
Prairies subalpines	Pessière (épicéas) d'altitude, bosquets d'aunes vets, parfois pins cembros (pas de sapins).

Tableaux extraits des "*Fiches du technicien des Alpes du Nord. Prairies de fauche et pâtures*". G.I.S. Alpes du Nord, 1987.

Tableau 4-6: Etats de végétation indicateurs du niveau des facteurs écologiques dans les prairies de fauche des Alpes du Nord externe

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION	
	ABONDANCE DES ESPECES	MORPHO-STRUCTURE DES INDIVIDUS
Pression de coupe : Fauche précoce	*Poa trivialis, Poa pratensis, Taraxacum officinale, Trifolium repens*	grosses rosettes, taches de graminées à feuilles moyennes
Pression de coupe : Fauche tardive	*Geranium sylvaticum, Chaerophyllum hirsutum, Rhinanthus minor, Anthriscus sylvestris*	touffes et taches de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalés. touffes d'ombéllifères, petites dicotylédones peu agrégées
Régime trophique : Fertilisation faible	*Rhinanthus minor, Festuca rubra, Anthoxanthum odoratum*	graminées à feuilles fines ou moyennes chétives, petites dicotylédones peu agrégées
Régime trophique : Fertilisation moyenne	peu mise en évidence	graminées à feuilles moyennes ou larges par petits groupes de talles, dicotylédones moyennes
Régime trophique : Fertilisation élevée	*Poa trivialis, Agropyron repens, Anthriscus sylvestris, Rumex obtusifolius*	graminées à feuilles larges en touffes , taches de graminées à feuilles moyennes, grosses rosettes, touffes d'ombellifères et de *Rumex obtusifolius*
Régime hydrique : Sec	*Arrhenatherum elatius, Galium mollugo, Plantago lanceolata, Lathyrus pratensis, Trifolium pratense*	touffes d'*Arrhenatherum elatius*, dicotylédones moyennes en touffes ou à tiges isolées, légumineuses petites et grosses
Régime hydrique : Frais	*Geranium sylvaticum, Chaerophyllum hirsutum*	touffes et taches de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalés

Figure 4-4 : CLEF DE RECONNAISSANCE DES TYPES DE PRAIRIES DE FAUCHE DES ALPES DU NORD EXTERNES

ABONDANCE DES DICOTYLEDONES NON LEGUMINEUSES (% DU VOLUME DE VEGETATION)	PHYSIONOMIE DES GRAMINEES DOMINANTES	PRINCIPALES DICOTYLEDONES DOMINANTES ET PEU PRESENTES	N° DU TYPE
PEU **0 à 30%**	**feuilles larges,touffes,** (dactyle, paturin commun)	pissenlit, rumex à feuilles obtuses, peu ou pas de trèfle blanc.	FP1
		trèfle blanc (au moins 10% dans le 1er cycle, 20% dans les autres), pisselit, rumex à feuilles obtuses	FP2
	feuilles larges et moyennes, tapis régulier (dactyle, trisète, fétuque des prés)	très diverses (pissenlit, aegopode podagraire, ...) légumineuses variées.	FP3
	feuilles fines ou feuilles larges clairsemées et chétives (fétuque rouge, agrostis ténu, flouve, dactyle)	léontodon hispide, souvent rhinanthe en premier cycle, légumineuses variées, peu ou pas de géranium.	FP4
MOYEN **20 à 60%** Si dans le regain le pissenlit est la dicotylédone la plus abondante retourner à la case "PEU" 0 à 30%	**feuilles larges,touffes,** (dactyle, paturin commun)	ombellifères à feuilles découpées, renoncules, parfois trèfle blanc, peu ou pas de géranium.	FM1-B1
	feuilles larges et moyennes, tapis régulier, (dactyle, trisète, fétuque des prés)	géranium dominant seul à ombellifères à feuilles découpées aussi abondantes que le géranium	FM3
		ombellifères à f. découpées, plantain lancéolé, gaillet mou, nombreuses espèces peu abondantes (en particulier légumineuses), peu ou pas de géranium.	FM4
	feuilles fines ou feuilles larges clairsemées et chétives, (fétuque rouge, agrostis ténu, flouve, dactyle)	géranium seul ou avec ombellifères à feuilles découpées et/ou rhinanthe.	FM6
BEAU COUP **50 à 90%**	**feuilles larges,touffes,** (dactyle, paturin commun)	ombellifères à feuilles découpées, renoncules, parfois trèfle blanc, peu ou pas de géranium.	FM1-B1
		géranium dominant seul à ombellifères à feuilles découpées aussi abondantes que le géranium.	FB2
	feuilles larges et moyennes, tapis régulier, (dactyle, trisète, fétuque des prés)	géranium dominant seul à ombellifères à feuilles découpées aussi abondantes que le géranium.	FB2

Clef extraite des "*Fiches du technicien des Alpes du Nord. Prairies de fauche et pâtures*". G.I.S. Alpes du Nord, 1987.

ayant une double valeur indicatrice des conditions écologiques et de la valeur d'usage. Nous avons également préféré des indicateurs faisant déjà parti des savoirs techniques des techniciens du développement ou des agriculteurs. Les états que nous avons retenus, en plus de leur validation scientifique, présentent les caractéristiques suivantes :

- pérennité saisonnière pour la détermination des types,
- facilité d'identification,
- complémentarité et enrichissement des savoirs techniques des acteurs, du fait de la combinaison d'indicateurs nouveaux de fonctionnement des prairies et de repères plus habituels.

2 - Les indicateurs de la clef

La clef de reconnaissance des types de prairies est organisée selon une structure faisant intervenir trois niveaux de description de la végétation. Les indicateurs utilisés sont les suivants (figure 4-4) :

- **le pourcentage de dicotylédones non légumineuses** à estimer visuellement en trois classes (peu, moyen, beaucoup) intègre surtout comme déterminants écologiques les interactions entre précocité de fauche et fertilisation,
- **la physionomie des graminées** (en touffes à feuilles larges, en tapis régulier ou à feuilles fines ou chétives) rend compte du niveau trophique et plus secondairement de la fraîcheur du milieu (régime hydrique). De tels indicateurs sont utilisés, sous une forme moins codifiée, par certains agriculteurs pour décrire la diversité de l'ensemble des espèces de graminées (la "*fenasse*"),
- **enfin, le nom de quelques dicotylédones** soit abondantes, soit au contraire absentes (moins de dix espèces ou groupes d'espèces ayant une physionomie marquante comme *Geranium sylvaticum*, les ombellifères à feuilles découpées, *Taraxacum officinale*, *Trifolium repens*) précise les interactions, en affinant l'évaluation du contexte pédoclimatique, ou en mettant en évidence l'action de facteurs localement importants (piétinement de la pâture d'automne, nombre de coupes, ouverture, ...).

C) LES INFORMATIONS PAR TYPE DE PRAIRIE

La reconnaissance d'un type de prairie permet de faire un double diagnostic :

- la quantification des différents critères de la valeur d'usage par la prise en compte conjuguée du type de prairie et de l'état instantané (phénologie de *Dactylis*),
- les possibilités et modalités d'évolution vers un autre type, donc vers d'autres aptitudes, soit par modifications dans les pratiques, soit par l'emploi de techniques de rénovation (désherbage, sursemis, ...).

Prairies de fauche

Alpes du Nord humides

FICHE N° 11 03/1988

Figure 4-5 :

Type prairial FM3 à "GERANIUM ET GRAMINEES EN TAPIS REGULIER"

1 Eléments de reconnaissance

— Dicotylédones non légumineuses : 20 à 60 % du volume de la végétation.

— Graminées à feuilles larges et moyennes en tapis régulier (dactyle, trisète, fétuque des prés).

— Dicotylédones dominantes : du géranium dominant seul à ombellifères à feuilles découpées (anthrisque, chérophylle hirsute) aussi abondantes que le géranium.



Photographie au stade "foin" *(après l'épiaison des graminées)*

2 Déterminants écologiques

Type prairial très fréquent à toutes altitudes surtout sur les versants Nord à Est et Nord à Ouest.

La végétation de ce type prairial est le résultat de pratiques agricoles peu intensives dans un contexte pédoclimatique moyen à frais :

— Date habituelle de fauche tardive : fructification à dissémination du dactyle.

— Fertilisation organique faible à moyenne : 10 à 30 tonnes de lisier par hectare et par an.

3 Caractères de la végétation

— Prairies à nombre moyen d'espèces : 26 à 40 espèces. 5 à 8 espèces constituent 85 % du volume de la végétation.

— Premier cycle riche en tiges et pauvre en feuilles ; organes morts abondants seulement à partir de la fructification du dactyle.

— Couvert végétal continu, couvrant bien le sol sauf sous les touffes de géranium où le sol apparaît.

Figure 4-6 :

Type FM3 à "GERANIUM ET GRAMINEES EN TAPIS REGULIER"

4 Appréciation globale

	Rendements	Moyens
	Chute valeur nutritive	Moyenne
	Difficultés de récolte	Fortes
	Stade limite de fauche	Epiaison
	Appétence	Moyenne



Rendements moyens :

— 2,7 à 4 tonnes de MS/ha au stade pleine épiaison du dactyle.
— A ce stade, 75 % du rendement maximum du premier cycle en MS et 85 % du rendement en UFL sont déjà obtenus.
— 1,5 à 2,5 tonnes de MS/ha pour un regain de 6 à 8 semaines sans sécheresse.
— Repousses moyennement sensibles au déficit hydrique estival : rendement 2 à 3 fois plus faible si l'été est sec.



Chute moyennement rapide de la valeur nutritive en vert durant le premier cycle :

— Au stade début épiaison du dactyle :
UFL = 0,85, PDIN = 101g/kg MS (*).
— Au stade mi-fructification du dactyle : UFL = 0,69, PDIN = 49g/kg MS (*).
— En 40 jours, la baisse est donc de 0,16 UFL et de 52g de PDIN par kg de MS (*).



Fortes difficultés de récolte :

— Fourrage difficile à sécher : 3 jours de beau temps pour sécher le foin au sol à l'épiaison du dactyle (2 passages de pirouette par jour). Durant la fenaison, pertes de valeur nutritive importantes (*).



Stade limite de fauche pour faire un foin de bonne qualité : épiaison du dactyle :

— Foin réalisé par beau temps, au stade début épiaison : UFL = 0,75, PDIN = 82g/kg MS (*).
— Foin réalisé par beau temps, au stade mi-floraison : UFL = 0,67, PDIN = 50g/kg MS (*).



Appétence moyenne :

— Refus moyennement abondants dans le foin : tiges d'ombellifères et de géranium.
— Au pâturage, les repousses sont appétentes, sauf les touffes de géranium qui sont refusées.

5 Sensibilité à certaines pratiques agricoles un peu extrêmes

– Risque moyen d'ouverture de la végétation par le pâturage en conditions humides : couvert végetal continu, bien implanté sauf sous les touffes de géranium et d'ombellifères .

– Le contexte pédoclimatique dans lequel se rencontrent ces prairies est moyennement à très favorable à l'extension des dicotylédones sous l'effet de fauches tardives ou d'excès de lisier.

Itinéraires d'évolution

– Evolution en 4 à 7 ans vers un type à graminées à tapis régulier (FP3) par la pratique d'une fauche précoce (avant ou juste au début de la floraison du dactyle). Si on associe à cela une augmentation de la fertilisation, évolution vers un type à dactyle en touffes (FP1).
– Le pâturage de printemps suivi de 2 fauches et d'1 pâture ou d'1 fauche et de 2 pâtures entraîne la régression du géranium au profit des graminées, du trèfle blanc et du pissenlit, 3 à 4 ans sont nécessaires. Eviter le pâturage en conditions humides. La fauche des refus est souvent indispensable, le géranium étant mal consommé au pâturage.
- Evolution possible vers une prairie à dactyle en touffes (Type FP1) par le désherbage sélectif. Cet état est temporaire, on ne peut espérer le maintenir qu'en pratiquant une fauche précoce.

* Se reporter aux Tables de valeurs alimentaires des différents types, Fiche N° 15

Prairies de fauche

Alpes du Nord humides

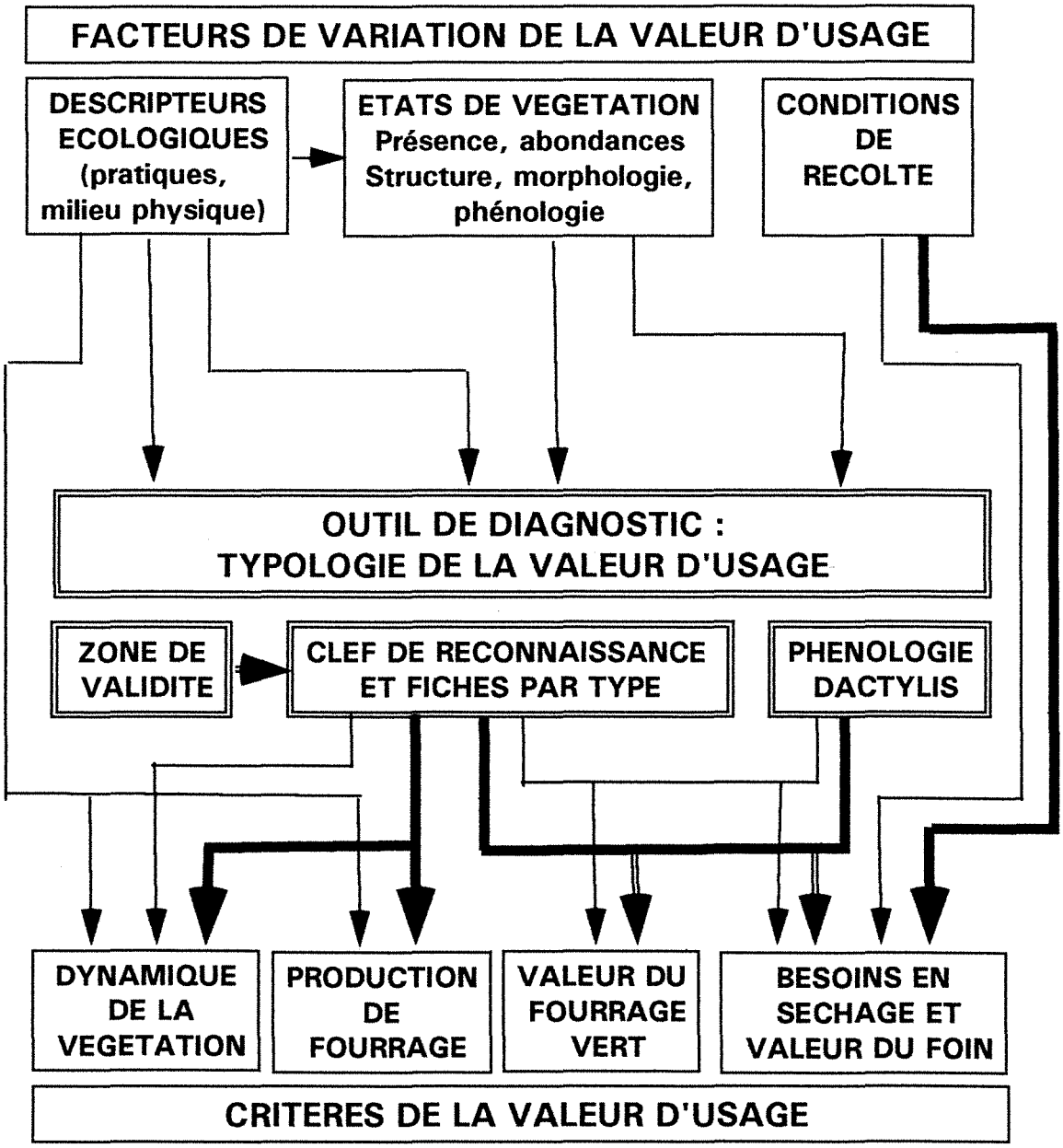
FICHE N° 15 g 03/1988

Figure 4-7 :

VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES du Type FM3 à "GERANIUM ET GRAMINEES EN TAPIS REGULIER"

CYCLE, STADE ET CONDITIONS DE RECOLTE	Rendement en MS (t/ha)	MS (g/kg)	Valeur énergétique (par kg MS)		Valeur azotée (g/kg MS)				Valeur d'encombrement			Constituants (g/kg MS)			DMO (%)
			UFL	UFV	MAD	PDIA	PDIN	PDIE	UEM	UEL	UEB	MAT	CB	MM	
Premier cycle :															
début épiaison dactyle															
vert	1,9 à 3,0	160	0,85	0,78	114	36	101	89				161	223	100	70,9
– foin, beau temps	1,5 à 2,5	850	0,75	0,67	82	35	82	83				131	278	94	64,5
– foin, pluie	1,3 à 2,1	850	0,68	0,59	73	32	76	77				122	299	95	59,5
pleine épiaison dactyle															
vert	2,7 à 3,9	180	0,81	0,74	87	30	83	82				132	256	90	68,1
– foin, beau temps	2,1 à 3,2	850	0,72	0,63	58	27	65	75				104	306	86	61,9
– foin, pluie	1,9 à 2,7	850	0,65	0,55	49	25	59	69				95	326	87	57,1
mi-floraison dactyle															
vert	3,4 à 4,7	210	0,76	0,68	57	22	63	73				100	293	80	64,2
– foin, beau temps	2,7 à 3,9	850	0,67	0,57	38	21	50	68				81	333	78	58,6
– foin, pluie	2,3 à 3,2	850	0,60	0,50	28	19	45	62				72	354	80	53,9
mi-fructification dactyle															
vert	3,7 à 5,0	260	0,69	0,60	37	18	49	65				78	318	80	59,6
– foin, beau temps	2,9 à 4,1	850	0,61	0,51	26	18	42	61				68	350	78	54,8
– foin, pluie	2,6 à 3,5	850	0,56	0,45	17	16	37	56				59	370	80	50,5
Repousses feuillues :															
regain 6 à 7 semaines															
vert	1,5 à 2,5	250	0,82	0,76	95	32	89	83				142	144	100	68,5
– foin, beau temps	1,2 à 2,1	850	0,74	0,66	79	33	78	80				126	169	101	63,3
– foin, pluie	1,0 à 1,7	850	0,68	0,59	69	31	73	75				117	194	96	58,9
regain 7 à 8 semaines															
vert	1,5 à 2,5	250	0,82	0,76	92	31	87	83				139	132	100	68,5
– foin, beau temps	1,2 à 2,1	850	0,74	0,66	76	32	77	80				123	152	101	63,3
– foin, pluie	1,0 à 1,7	850	0,68	059	66	30	71	75				114	177	96	58,9
3ème cycle 5 à 6 semaines															
vert	1,0 à 2,0	200	0,82	0,76	118	38	106	87				169	170	120	68,5
– foin, beau temps	0,8 à 1,6	850	0,73	0,64	103	40	95	86				153	203	117	63,3
– foin, pluie	0,7 à 1,4	850	0,67	0,57	93	38	90	81				144	228	112	58,9

Figure 4-8 : **Méthode de prévision et mode de diagostic de la valeur d'usage agricole dans la typologie des prairies de fauche**



Diagnostic permis par l'utilisation de la typologie des prairies de fauche

Relations utilisées et quantifiées pour prévoir les variations d'aptitude des couverts

Ces informations sont présentées sur des fiches par type de prairie selon le plan suivant :

- facteurs écologiques (pratiques agricoles actuelles et antérieures, et conditions de milieu physique) expliquant l'état actuel de la végétation (figure 4-5),
- appréciation globale sur la valeur d'usage : rendement, évolution de la valeur nutritive, aptitude au séchage et à la fenaison, appétence (figure 4-6),
- sensibilité à certaines pratiques un peu extrêmes (pâturage d'automne en conditions humides, excès de lisier, ...) et itinéraires d'évolution (figure 4-6),
- tables de la valeur nutritive des fourrages produits sur pied et après la fenaison (figure 4-7). Les valeurs d'encombrement des foins (UEM, UEL et UEB) ne sont pas indiquées dans ces tables antérieures aux mesures d'ingestibilité en ferme (HAUWUY et al., 1992 et 1993). Les équations de prévision de la valeur nutritive du type FM3 "à géranium et graminées en tapis régulier" que nous présentons en exemple sont dans l'annexe 7.

Les méthodes de prévision que nous avons utilisées pour réaliser cet outil font appel à un enchaînement assez complexe de protocoles qui ont nécessité la mesure de nombreuses variables : pratiques agricoles, facteurs du milieu, états de végétation, analyses de fourrages, ...). Leurs interprétations ont été l'objet de la deuxième et de la troisième partie de ce texte. Par contre, le mode de diagnostic global que nous proposons, fait essentiellement référence à la notion visuelle de type physionomique de prairie (figure 4-8). Il se fait à l'aide de critères simples : reconnaissance visuelle du type de prairie, prise en compte de la phénologie de *Dactylis* et des conditions de récolte pour estimer la valeur du foin.

D) FONCTIONS DES PRAIRIES ET SOLUTIONS TECHNIQUES

Le positionnement d'un type de prairie par rapport aux critères de la valeur d'usage, permet de juger de son aptitude aux différentes fonctions (tableau 4-7).

Le type à graminées à feuilles larges en touffes, par exemple, se caractérise par une production élevée, une bonne récoltabilité et une bonne valeur nutritive en début de cycle. Mais, la chute de la valeur nutritive est ensuite rapide, du fait d'un taux important de tiges et d'une forte sénescence. Ce type a une bonne aptitude à la fonction "du foin dans la grange", pour laquelle la quantité de foin produite est le critère essentiel. Son aptitude est également bonne, pour la fonction "du foin pour le lait sinon rien". Dans cette fonction, les objectifs de quantité et de qualité de fourrage sec sont associés. L'agriculteur accepte de plus un coût et un risque élevés, et pratique en particulier une fauche précoce. Il peut ainsi utiliser ce type de prairie selon un rythme compatible avec ses objectifs de production et la vitesse de croissance de l'herbe.

Dans la fonction "un bon petit foin de pays", la quantité est secondaire, il y a un objectif de qualité correcte, sans plus, avec réduction maximale du nombre des opérations et des risques. Une végétation, à forte potentialité de croissance comme ce type à feuilles larges a une aptitude médiocre : lors de la fauche, qui est tardive pour limiter les risques et pour d'autres raisons également liées au rôle fonctionnel de ces prairies, la végétation sénescente et couchée, a une valeur nutritive très faible. D'autres types de végétation, ont des caractéristiques agronomiques plus adaptées à cette fonction : les types à graminées à feuilles fines (types FP4 et FM6 dans la clef figure 4-4).

Tableau 4-7 : Aptitudes aux fonctions parcellaires de quelques types de prairies de fauche

LES TYPES DE PRAIRIES SE DIFFERENCIENT SELON LES CRITERES DE LA VALEUR D'USAGE				
Type de prairie	**CRITERES DE LA VALEUR D'USAGE**			
	Biomasse	**qualités alimentaires**	**Récolta-bilité**	**Dynamique de la végétation**
à graminées à feuilles larges en touffes	Elevée	Chute rapide valeur nutritive durant le 1er cycle	Bonne	Fertilisation plus élevée et fauche plus tardive : ➔ombellifères
à graminées à feuilles fines	Faible	Chute lente valeur nutritive durant le 1er cycle	Bonne	Fertilisation plus élevée : ➔ à graminées en tapis régulier puis à touffes
à ombellifères	Elevée	Chute rapide valeur nutritive durant le 1er cycle	Médiocre	Fauche précoce et réduction de la fertilisation : ➔ graminées en touffes
à géranium	Moyenne	Chute moyenne valeur nutritive durant le 1er cycle	Médiocre	Fauche précoce : ➔ graminées en touffes

DES TYPES DE VEGETATIONS AUX APTITUDES VARIABLES SUIVANT LA FONCTION			
Type de prairie	**FONCTION PARCELLAIRE**		
	Ffoin 1 : "du foin dans la grange "	**Ffoin 2 : "un bon petit foin de pays"**	**Ffoin 5 : "du foin pour le lait sinon rien"**
à graminées à feuilles larges en touffes	Bonne aptitude	Aptitude médiocre	Bonne aptitude
à graminées à feuilles fines	Aptitude médiocre	Bonne aptitude	Aptitude médiocre
à ombellifères	Bonne aptitude	Aptitude médiocre	Aptitude médiocre
à géranium	Bonne aptitude	Aptitude médiocre	Aptitude médiocre

Tableau 4-8 : Fonctions parcellaires et aptitudes de quelques types de prairies de fauche. Conséquences en matière de conduite des prairies

SUIVANT LE TYPE DE VEGETATION ET LA FONCTION DE LA PARCELLE : DES DECISIONS DIFFERENTES EN MATIERE DE CONDUITE DES PRAIRIES			
Type de prairie	**FONCTION PARCELLAIRE**		
	Ffoin 1 : "du foin dans la grange "	**Ffoin 2 : "un bon petit foin de pays"**	**Ffoin 5 : "du foin pour le lait sinon rien"**
à graminées à feuilles larges en touffes	**à gérer :** éviter les fertilisations organiques excessives et les fauches très tardives	**à faire évoluer :** limiter fortement la fertilisation	**à gérer :** déprimage, fauche précoce, azote pour les repousses
à graminées à feuilles fines	**à faire évoluer :** augmenter la fertilisation et faire une fauche plus précoce	**à gérer :** apporter une faible fertilisation	**à faire évoluer :** augmenter la fertilisation, azote sur les repousses et faire une fauche plus précoce
à ombellifères	**à gérer :** réduire les fertilisations organiques et les fauches très tardives	**à faire évoluer :** arrêter quelques années les fertilisations organiques, limiter les fauches très tardives	**à faire évoluer :** réduire les fertilisations organiques, fauche précoce, rénovation :désherbage, pâturage de printemps
à géranium	**à gérer :** réduire les fertilisations organiques et les fauches très tardives	**à faire évoluer :** arrêter quelques années les fertilisations organiques, limiter les fauches très tardives	**à faire évoluer :** réduire les fertilisations organiques, fauche précoce, rénovation : déprimage mécanique, pâturage de printemps

Ce positionnement des types de prairies selon leur fonction dans l'exploitation, permet de proposer une gamme de solutions techniques. Celles-ci sont variables suivant la fonction parcellaire et le type de végétation (tableau 4-8). Lorsque la végétation est adaptée à la fonction, le conseil ne concerne qu'une léger ajustement de la gestion de la prairie. Dans d'autres situations, il est au contraire recommandé d'entamer un processus d'évolution du type prairial par un changement important dans les pratiques ou par le recours à différents itinéraires techniques de rénovation. Les informations du tableau 4-8 ne sont pas des prescriptions à appliquer sans discernement, quelles que soient les pratiques des exploitants. Ce sont des exemples de raisonnement.

Dans les tableaux 4-7 et 4-8, nous n'avons pas utilisé les types de prairies pour définir de façon normative un optimum agronomique de végétation et de pratiques. Nous avons montré comment il est possible de juger une prairie par rapport aux objectifs qui lui sont assignés par l'exploitant. Une analyse avec lui, de ses objectifs, des fonctions des prairies et de leur opportunité est un diagnostic à l'échelle de l'exploitation. Cela n'est pas réalisable par la typologie des prairies considérée de façon isolée. Son utilisation dans cette démarche plus large est cependant possible. L'expression d'informations techniques sur la production fourragère en liaison avec les fonctions des prairies dans l'exploitation en est la première étape. Il est aussi nécessaire d'expliciter les différents déterminants des pratiques et des fonctions parcellaires sur l'ensemble du territoire de l'exploitation. Dans la discussion qui suit, nous faisons quelques propositions de travaux dans ce sens.

III - DISCUSSION

1 - VALIDATION DE LA METHODE TYPOLOGIQUE UTILISEE

Nous validons la méthode typologique que nous avons mise au point, par référence aux résultats fournis par une classification ascendante hiérarchique. Pour cela, nous comparons, pour différentes partitions des stations en types, la variance expliquée des descripteurs écologiques et d'états de végétation influant sur la valeur d'usage (tableau 4-9). Les partitions comparées sont les suivantes :

- celle de la typologie construite, prenant en compte états de végétation et descripteurs écologiques influant sur la valeur d'usage,
- celles des classifications ascendantes hiérarchiques obtenues sur les présences, les abondances des espèces, les morphologies potentielles des espèces, et la morpho-structure des individus. L'algorithme de classification utilisé est celui des voisins réciproques avec comme critère d'agrégation le moment centré d'ordre deux (JUAN, 1982).

Du point de vue de la variance des descripteurs écologiques expliquée par les différentes partitions automatiques, les résultats sont assez peu différenciés suivant le mode de description de la végétation. Les valeurs les plus faibles concernent les présences des espèces et les modes

Tableau 4-9 : Variance des descripteurs écologiques et d'états de végétation expliquée par différentes partitions des stations en types.
Prairies de fauche des Alpes du Nord externes

Variance expliquée par la partition en % de la variance totale.
Partitions à 10 classes.

	TYPOLOGIES AUTOMATIQUES PAR CAH					TYPOLOGIE CONSTRUITE
	Présence des espèces	Abondance des espèces	Morpho-logie potentielle des espèces	Morpho-structure des individus	Morpho-structure détaillée des individus	
DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES						
pression de coupe : stade habituel de fauche	30	34	37	37	35	50
régime trophique : fertilisation	50	58	56	51	64	60
régime hydrique : pédo-climat	32	43	41	42	37	50
ENSEMBLE DES DESCRIPTEURS	**42**	**50**	**46**	**41**	**49**	**63**
PRINCIPAUX ETATS DE VEGETATION INFLUANT SUR LA VALEUR D'USAGE						
Taux de touffes	49	63	71	78	68	74
Taux de touffes de graminées	30	32	38	65	30	63
Taux de touffes de dicotylédones non légumineuses	41	61	82	83	63	72
Taux de dicotylédones non légumineuses	31	63	84	80	57	68
Taux de légumineuses	44	42	78	33	34	49
ENSEMBLE DE CES ETATS	**39**	**52**	**71**	**68**	**50**	**65**

Pour les descripteurs écologiques la variance totale retenue est celle expliquée par une CAH sur les descripteurs écologiques eux-mêmes.

de description très synthétiques ayant peu de classes : morpho-structure des individus et morphologie potentielle des espèces.

Pour les états de végétation influant sur la valeur d'usage la situation est inverse. Les modes de description de la végétation, ayant peu de classes, sont les plus en relation avec ces états. Cela s'explique par le fait que dans les partitions automatiques réalisées avec la morphologie potentielle des espèces ou la morpho-structure des individus, les catégories utilisées sont proches de celles dont nous avons relevé globalement l'influence sur la valeur d'usage : taux de dicotylédones et taux de touffes en particulier.

Ces résultats montrent la difficulté de concilier diagnostic des conditions écologiques et prise en compte d'états influant sur la valeur d'usage.

Pour chacun des descripteurs écologiques, nous retrouvons les résultats présentés dans la troisième partie : chaque mode d'observation de la végétation renvoie à un niveau de fonctionnement de la communauté végétale et est plus particulièrement affecté par un facteur écologique. La morpho-structure détaillée des individus, par exemple, rend mieux compte des conditions de régime trophique que les abondances des espèces, alors que celles-ci expliquent mieux les variations de régime hydrique.

La typologie des prairies de fauche permet donc, par un diagnostic sur des critères multiples, de combiner la valeur informative de chacun des modes d'observation de la végétation. Elle se différencie de l'ensemble des méthodes automatiques par une meilleure explication des descripteurs écologiques (63% de variance expliquée contre 50% dans le meilleur des cas pour les CAH) et par une bonne valeur explicative des principaux états de végétation influant sur la valeur d'usage.

2 - UNE APPROCHE GLOBALE ET DISCONTINUE EST-ELLE JUSTIFIEE ?

Un processus de classement permet de synthétiser de l'information et par la même d'avoir une vision globale de son environnement. Cette exigence d'ordre est à la base de toute pensée, "le classement, quel qu'il soit, possédant une vertu propre par rapport à l'absence de classement " (LEVI-STRAUSS, 1962). Mais, les méthodes et les moyens utilisés pour le classement peuvent être très différents.

Dans l'étude des communautés végétales, des débats anciens et passionnés ont opposés deux conceptions (GLEASON 1926, 1939 ; LENOBLE, 1926 cité par GOUNOT, 1969 ; WHITTAKER, 1967 ; GOUNOT, 1969) :

- pour les uns, il n'est pas possible de définir des unités de végétation. Il cherchent à mettre en évidence des similitudes entre des relevés de végétation organisés selon un *continuum*. Les changements de végétation sont progressifs et dus au fait que les espèces ont un comportement individualisé. Le classement des relevés se fait par *ordination* sur des gradients écologiques ,

Tableau 4-10 : Relations entre critères de la valeur d'usage du fourrage vert et différents modèles explicatifs.
Part de variation expliquée pour le premier cycle.

Critère Modèle explicatif *	Rendement en matière sèche ($t\ ha^{-1}$)	Teneur en matières azotées totales ($g\ kg\ MS^{-1}$)	Digestibilité de la matière organique (%)
Unique tous types confondus	**84**	91	81
Un par type prairial	78	**93**	**87**
nombre d'observations	324	336	206

* Dans le modèle unique une équation de régression multiple relie états de végétation (ou descripteurs écologiques pour le rendement) et variables à expliquer (rendement, MAT, DMO) pour l'ensemble de l'échantillon (annexe 4). Pour le même échantillon, dans le modèle par type prairial, pour chaque type une équation de régression lie stade de *Dactylis* et variables à expliquer. La distinction d'une population pour chaque type de prairie, intègre l'effet des états de végétation et des descripteurs écologiques sur les critères de la valeur d'usage.
Le gain de variation expliquée est significatif au seuil de 1% du test de F pour les valeurs en gras.

- pour les autres, les communautés végétales constituent des "quasi-organismes" (TANSLEY, 1935 cité par GOUNOT, 1969) dans lesquels des fortes relations de dépendance ou de compétition entraînent l'existence de limites nettes entre associations. Les stations peuvent être organisées en types au sein d'une *classification.*

La constitution de groupes d'individus similaires est une simplification de la réalité. Pour la compréhension de certains phénomènes écologiques, une analyse en terme de continuum peut être plus appropriée, par exemple, pour modéliser la dynamique de la végétation sous l'influence des facteurs écologiques (BALENT, 1987 ; VIVIER et BAUDRY, 1988). La perception de l'univers écologique, soit en terme d'unités discrètes, soit en terme de continuité relève du niveau de résolution dans l'étude d'un phénomène (KOLOSA et PICKETT, 1989). C'est donc un problème d'échelle d'analyse et de description à resituer par rapport aux processus étudiés. Les objectifs d'utilisation de la recherche interviennent aussi dans le choix d'un mode d'appréhension et de représentation des processus.

A) LES TYPES FOURNISSENT UNE INTERPRETATION DES PHENOMENES

Dans la deuxième partie, nous avons étudié les facteurs de variation de la valeur d'usage. Pour cela, nous avons fait une interprétation, toutes stations confondues, des relations entre états de végétation et valeur nutritive d'une part et entre descripteurs écologiques et rendement d'autre part. Sur le même échantillon, mais en considérant seulement le type auquel appartient chaque station et le stade de *Dactylis*, nous obtenons un taux d'explication supérieur, pour les variations de DMO et de MAT (tableau 4-10). **La caractérisation synthétique d'une station par son type de végétation permet donc une analyse plus performante de certains phénomènes qu'une approche analytique avec différents états de végétation** (taux de touffes, de dicotylédones, ...). La production de matière sèche, qui répond de façon continue aux variations de disponibilité en nutriments, en eau et en énergie indépendamment de la végétation, est très logiquement moins bien expliquée par une analyse sur les types de végétation que par les facteurs écologiques. La typologie apporte une contribution à la modélisation de la complexité, démontrant ainsi qu'ordination ou classification sont des modes de représentation des phénomènes. Leur pertinence ne se juge pas dans l'absolu, mais par rapport à leur efficacité qui est variable suivant le processus envisagé.

B) LES TYPES STRUCTURENT LA DIVERSITE

L'objectif d'une typologie est d'organiser, de classer en un nombre "raisonnable" de types un ensemble confus. Les catégories sont donc un moyen d'analyser la diversité en se référant à un nombre limité de situations. Les types ne réduisent pas la variabilité. Ils contiennent les hésitations et accélèrent son analyse : "Ces types (les types de prairies de fauche) deviennent des images repères faciles à intégrer dans nos modes de représentation de la réalité. Nous avons maintenant un véritable "coup d'oeil" d'ensemble sur les prairies qui s'apparente à celui que portent beaucoup d'agriculteurs" (HAUWUY et al., 1991). Cette économie intellectuelle dans le classement se retrouve aussi dans l'interprétation. Les types offrent la possibilité, par l'identification d'une prairie, d'enrichir les informations que l'on a sur elle : son appartenance à une classe permet d'évaluer ses caractéristiques et d'en prévoir le comportement.

L'analyse de la diversité à l'aide de catégories, n'est d'ailleurs pas contradictoire avec un diagnostic plus individualisé. Une prairie sera alors perçue et analysée par rapport aux éléments qui la différencient des autres de la même classe. Une prairie appartenant à un type à graminées à feuilles moyennes et larges en tapis régulier (type FP3) peut-être interprétée comme telle, c'est à dire, par exemple, susceptible d'évoluer vers un type à dactyle en touffes (type FP1) par augmentation de la fertilisation. Elle peut aussi être décrite plus finement suivant les personnes et les besoins : c'est un type à graminées à feuilles moyennes et larges particulièrement vigoureux dans lequel on voit quelques touffes. Ceci laisse supposer une évolution rapide et facile vers un type à dactyle en touffes. Le premier mode de raisonnement privilégie l'approche de la diversité entre les types, alors que le deuxième utilise les types pour analyser des variations individuelles intra-type. Mais, dans les deux cas, la notion de type est l'élément central sur lequel se fonde la compréhension du particulier.

La validation de notre modèle typologique, ne peut pas s'établir seulement en référence aux différentes théories concernant le classement des communautés végétales. Le point de vue que nous proposons sur les prairies et leurs utilisations doit également être analysé par rapport à son caractère opérationnel pour l'aide à la décision.

3 - TYPOLOGIE DES PRAIRIES ET AIDE A LA DECISION

A) UTILISATION DE LA TYPOLOGIE DANS LE CONSEIL AGRICOLE

C'est un outil d'emploi facile. Son apprentissage, du fait du point de vue sur les prairies et leur utilisation, que nous développons, ne peut se concevoir que sur le terrain. Au cours des stages avec les techniciens du développement nous avons utilisé cet outil dans différentes situations pédagogiques : approches parcellaires, possibilités d'évaluation de la valeur alimentaire de la ration de base, application au zonage bioclimatique d'un versant ou d'une vallée, diagnostic fourrager sur l'ensemble de la surface fauchée d'une exploitation avec comme objectif de faire des propositions de conduite des surfaces compatibles avec les besoins et les contraintes de l'agriculteur.

Ces tests ont été concluants, mais nous ont également amené à adapter l'outil et sa présentation pédagogique. Les tableaux croisés entre types de prairies et fonctions parcellaires sont un exemple de cette évolution. La typologie des prairies de fauche permet donc de faire face à deux besoins principaux dans la pratique du conseil :

- **analyser une situation**, c'est à dire situer, du point de vue de leur valeur d'usage agricole, une prairie ou l'ensemble de la surface d'une exploitation dans la diversité des conditions de milieu physique et de pratiques agricoles des Alpes du Nord
- **proposer une ou plusieurs solutions adaptées** prenant en compte la fonction de la ou des parcelles dans l'exploitation.

B) ENRICHISSEMENTS DU MODELE ACTUEL

La typologie actuelle est un cadre d'analyse de la diversité qui peut être enrichi par la prise en compte d'autres aspects thématiques, liés à la conduite des prairies. Elle contient en particulier des informations sur la dynamique des végétations. Il s'agit de données générales présentant les techniques et les modifications de pratiques à mettre en oeuvre pour passer d'un type à un autre. Ces connaissances ont été jugées un peu incomplètes par les techniciens du développement. Ils nous ont demandé de préciser, suivant les pratiques utilisées, les temps d'évolution entre types. Ils ont souhaité également connaître les effets de certains itinéraires et pratiques, rares dans les exploitations. Pour cela, sous la responsabilité des conseillers relais montagne et avec notre appui méthodologique, des sites expérimentaux d'évolution de la végétation ont été mis en place. Ces sites testent, pour différents types de prairies, des itinéraires techniques associant des modifications du rythme d'utilisation et de la fertilisation, à des interventions techniques ponctuelles : désherbage sursemis. Il s'agit d'essais dans lesquels les modes de fonctionnement des prairies mis en évidence lors de l'élaboration de la typologie jouent un triple rôle :

- ils restreignent la gamme des techniques à tester, beaucoup ayant déjà été étudiées par enquête,
- ils permettent de définir des itinéraires, sur des bases biologiques, en retenant les facteurs dont l'action sur la végétation a été établie,
- ils fournissent les conditions d'extrapolation des résultats.

Parallèlement, la connaissance des fonctions des prairies dans les exploitations permet de retenir des pratiques en rapport avec les objectifs des exploitants. Ainsi, un site mesure les effets d'un déprimage mécanique (fauche de l'herbe laissée ensuite sur le champ) sur la végétation et la production quantitative et qualitative de fourrages. Cette technique est adaptée à la fonction "le bon foin de Juillet". Elle concerne des exploitations qui ne peuvent recourir à une amélioration de la valeur du foin par une conduite intensive classique des prairies : fauche précoce, mutiplication des coupes, et donc prise de risques, augmentation du travail et des intrants. Le déprimage mécanique, pratiqué au printemps avant la montée en alpage, est peu exigeant en travail et ne modifie pas le fonctionnement de l'exploitation. L'hypothèse est que cette technique permet de ralentir la chute de la valeur nutritive sans pénaliser fortement la production au moment de la récolte. En effet, celle-ci se situe en Juillet, dans la phase descendante du rendement des prairies et le déprimage mécanique en retardant la croissance au printemps retarderait aussi la sénescence en début d'été. A terme, le déprimage mécanique devrait également avoir des effets sur le taux de dicotylédones.

D'autres enrichissements qui n'ont pas encore été réalisés nous ont été demandés, sur la fertilisation en particulier.

C) LA CONSTRUCTION DE LA TYPOLOGIE A MODIFIE LES MODES DE RAISONNEMENT DES ACTEURS

Les utilisations de la typologie des prairies de fauche peuvent être variables. Il est en effet possible de n'en retenir que les références techniques et de les appliquer à différents modes de raisonnement : référence normative à une conduite et une végétation constituant un optimum technique par exemple.

Mais, ce travail, a été conçu dès l'origine, dans une approche hiérarchisée, de l'exploitation vers la parcelle, pour utiliser les résultats dans le diagnostic en exploitation. La construction progressive de la typologie s'est traduite par une modification des modes de raisonnement et des connaissances des chercheurs et des techniciens du développement. La nécessité de référer, un conseil sur les surfaces, à un objectif dans l'exploitation nous a amené à reconsidérer les méthodes d'étude des prairies. Les modèles biotechniques qui en sont issus prennent en compte des variables peu utilisées en prairies permanentes, notamment la morphologie et la structure de la végétation. D'autres niveaux de fonctionnement des prairies apparaissent et mettent en évidence les limites du diagnostic botanique classique et à plus forte raison le jugement très caricatural qui assimile les dicotylédones à des mauvaises herbes. Le travail sur le terrain, montre aussi que les connaissances des agriculteurs constituent un savoir technique, ayant aussi sa validité et qui est pertinent avec les résultats du processus de recherche.

Cet élargissement dans la perception des phénomènes par les acteurs de la recherche, chercheurs et agents du développement, nous a conduit à formuler un outil de diagnostic. Celui-ci rend compte d'un point de vue sur les prairies et leurs utilisations. C'est un point de vue construit qui n'est pas nécessairement consensuel. Nous avons évité certaines ruptures avec le savoir des agriculteurs. Mais, nous n'avons pas cherché à adapter un discours à leur système de pensée pour mieux faire accepter une ou plusieurs innovations techniques que nous considérons comme un progrès. L'outil typologique permet d'élargir la gamme des solutions possibles en matière de conduite des prairies et donne ensuite des éléments pour faire un choix. **Le mode de raisonnement que nous proposons a sa spécificité et sa logique. En ce sens, il se traduit par des modifications dans les processus de raisonnement et de diagnostic des acteurs de la recherche-développement puis des utilisateurs de l'outil.**

Aujourd'hui, d'ailleurs il nous est de plus en plus fréquemment demandé de formuler une démarche permettant d'intégrer les diagnostics parcellaires des typologies de prairies dans le fonctionnement de l'exploitation agricole. Nous avons entrepris des travaux sur ce sujet.

D) FONCTIONS PARCELLAIRES ET FONCTIONNEMENT FOURRAGER DES EXPLOITATIONS

Nous avons utilisé le concept de fonction parcellaire pour caractériser les prairies selon leurs aptitudes à différentes fonctions. La typologie des prairies propose des solutions techniques en rapport avec ces fonctions. Elle ne permet pas d'analyser leur répartition, ni de s'interroger sur leur opportunité dans le cadre plus large du fonctionnement de l'exploitation.

Cela pose la question du lien entre différentes composantes de l'exploitation : les surfaces et leur caractérisation agronomique, le parcellaire et sa structuration, l'exploitation d'élevage vue sous l'angle de la gestion de la production fourragère et de son utilisation par les animaux. Etablir de tels liens suppose une analyse du fonctionnement fourrager des exploitations (JEANNIN et CRISTOFINI, 1990) en plusieurs étapes. Ce diagnostic nécessite tout d'abord une identification des objectifs de production de l'exploitation. Il peut s'agir, par exemple, d'un objectif d'intensification laitière avec production régulière de lait sur l'année et recherche de l'autonomie fourragère. La cohérence d'un tel projet ne peut pas se discuter dans le cadre d'une analyse réduite à la dimension fourragère de l'exploitation. Par contre, le concept de fonction parcellaire permet de formaliser, dans une optique de diagnostic fourrager, les relations entre objectifs de production, conduite du troupeau, organisation fonctionnelle du territoire, pratiques et états des différentes parcelles. Cela suppose :

- **la compréhension de l'agencement du territoire en fonctions parcellaires** et le jugement de la répartition des grands types d'affectation des surfaces, par rapport à la conduite du troupeau. Dans une optique de conseil fourrager nous avons privilégié les fonctions alimentaires des parcelles. Mais, pour l'analyse fonctionnelle d'un territoire ce sont l'ensemble des fonctions des parcelles qui doivent être caractérisées (contention, confort des animaux, gestion des déjections, ...) (GUERIN et BELLON, 1990),

- **l'analyse des dispositifs de régulation** mis en oeuvre en réponse aux variations inter-annuelles de la pousse de l'herbe, et/ou de la demande du troupeau. Il peut s'agir d'une adaptation temporaire des pratiques et des fonctions. Cela peut également concerner les pratiques d'élevage (constitution de lots d'animaux, reproduction, alimentation) ou la mobilisation de ressources fourragères non parcellaires par achats de fourrages,

- **à l'échelle de la parcelle, ou du bloc parcellaire**, la description des pratiques et de leur effets qui sont variables suivant les conditions de milieu et les états de végétation.

Il s'agit d'une analyse de la cohérence du fonctionnement fourrager. Celle-ci doit s'envisager selon une structuration dans l'espace, mais aussi dans le temps, par la mise en évidence de **périodes clefs** dont la réussite conditionne l'ensemble de la campagne.

Nous sommes en train de formaliser une telle démarche et de décrire différents fonctionnements fourragers caractéristiques des exploitations des Alpes du Nord. Un de nos objectifs est d'aider à raisonner les décisions sur les parcelles par rapport à une logique plus large. La typologie des prairies de fauche, mais aussi celle que nous avons réalisée pour les prairies pâturées s'articulent avec cette approche de la gestion des surfaces. En effet, elle ont été conçues dans cet objectif, par une caractérisation des aptitudes aux fonctions. Elles permettent de qualifier les prairies par rapport à leurs utilisations possibles et non pas par rapport à leur seule production.

4 - REPRODUCTIBILITE ET ADAPTABILITE DU MODELE

La typologie proposée est adaptée à des conditions précises. Elle peut être enrichie et même modifiée pour prendre en compte une évolution des pratiques agricoles et des fonctions parcellaires : apparition régionale de nouvelles pratiques et de nouveaux types de végétation, ou encore distinction de "sous-types" dans un type devenu très fréquent et qu'il n'est plus possible de considérer comme homogène par rapport aux besoins de diagnostic .

Ce modèle typologique a par contre des possibilités d'adaptation plus faibles à une évolution des modes de travail, en particulier des relations entre agents du développement et agriculteurs. La pertinence du modèle typologique, dont l'intérêt repose sur l'analyse de la diversité, peut d'ailleurs être remise en cause. Aujourd'hui, de plus en plus, les conseillers ne peuvent plus assurer un appui individuel technique fort. Ils devront à terme, dans le cadre de sessions de formation fournir aux agriculteurs les moyens de réaliser eux-mêmes le diagnostic fourrager de l'exploitation. Dans une telle situation, les indicateurs utiles pour une prise de décision sur les surfaces peuvent nécessiter une réorganisation du modèle typologique et la mise au point d'autres outils :

- organisation de l'effet des pratiques sur les états de végétation et la production fourragère par unités de milieu physique,
- repères de morphologie et de structure de la végétation permettant de raisonner des décisions tactiques d'ajustement des pratiques parcellaires en fonction de la conduite des troupeaux, ...

La conception de la majorité de ces outils est sans doute possible sur la base des connaissances disponibles sur le fonctionnement des prairies. Mais leur mise au point nécessite de refléchir à nouveau la place des référentiels techniques dans le conseil et dans la prise de décision dans les exploitations.

La typologie des prairies de fauche a une durée de pertinence qui ne dépend pas seulement de la pérennité des combinaisons de pratiques et de milieu physique qu'elle permet d'analyser. Sa longévité est aussi liée à celle des conditions d'utilisation pour lesquelles elle a été conçue.

PRINCIPAUX ELEMENTS DE LA QUATRIEME PARTIE

Cette partie est consacrée à la réalisation d'une typologie des valeurs d'usage des prairies de fauche des Alpes du Nord. Son objectif est de permettre le diagnostic et le conseil fourrager dans le cadre de l'appui technique individuel en exploitation agricole.

La conception de cette typologie prend en compte des informations relevant de différents domaines.

Nous avons utilisé les résultats de la deuxième et de la troisième partie de ce texte, qui modélisaient les relations entre descripteurs écologiques, états de végétation et critères de la valeur d'usage, pour structurer la typologie en privilégiant les descripteurs écologiques et les états de végétation les plus influant sur la valeur d'usage.

La mise en évidence, dans la première partie, des fonctions de production assignées aux prairies par les agriculteurs, nous a conduit à proposer une organisation synthétique, mais complète, des informations agronomiques. Chaque type de prairie est informé de façon détaillée du point de vue des différents critères de la valeur d'usage (évolution saisonnière de la production de matière sèche, de la valeur nutritive, récoltabilité et appétibilité des fourrrages) et du point de vue de la dynamique de la végétation (déterminants écologiques et possibilités d'évolution vers d'autres types, donc d'autres aptitudes). L'objectif d'une telle présentation est de permettre un diagnostic au regard d'objectifs différents d'utilisation des prairies.

Dans une logique de complémentarité et d'enrichissement entre des savoirs techniques différents nous avons combiné l'utilisation de repères habituels dans la végétation (phénologie, taux de dicotylédones) à celle d'indicateurs nouveaux (physionomie) pour les agents du développement. Ces indicateurs nouveaux, qui relèvent de la morphologie et de la structure de la végétation, renvoient à des modèles de fonctionnement morphogénétique établis pour certaines espèces des prairies permanentes (LEMAIRE , 1985) mais aussi à certains éléments du diagnostic pratiqué par les agriculteurs.

La typologie proposée permet donc d'organiser sous la forme d'un outil d'utilisation simple l'ensemble des informations qui ont été présentées dans les trois premières parties de ce texte. Le support de cet outil est un classeur de fiches. Les figures 4-3 à 4-7 reproduisent les principales fiches de ce classeur : zone de validité de la typologie, clef de reconnaissance des types et un exemple de fiche décrivant les caractéristiques de chaque type prairial.

Cette conception nouvelle du diagnotic prairial ne se situe pas en rupture des savoirs techniques des praticiens. Mais elle s'est traduite par une modification des modes de raisonnement des acteurs de cette recherche-développement, puis de l'ensemble des agents du développement à qui l'outil a été transmis dans le cadre de sessions de formation : remise en cause de la notion normative de prairie dégradée, évaluation des prairies par rapport à des objectifs diversifiés, ...

CONCLUSION

A l'issue de ce travail, il est temps d'analyser notre démarche dans son mouvement et son équilibre. Un mouvement un peu différent d'une procédure linéaire par hypothèses, expérimentation, réponse. L'équilibre difficile d'une recherche qui ne concerne pas que la prairie, mais pas non plus sa gestion dans un système piloté, l'exploitation. Nous avons travaillé sur un objet plus hybride : les prairies et leurs utilisations.

Ce travail a été élaboré dans le cadre d'un programme plus large traitant de l'évolution des systèmes bovins laitiers des Alpes du Nord. A son origine, en 1980, une question de Maxime Viallet, président de la coopérative du Beaufortain concernant la qualité des prairies de fauche : "Nos prairies de fauche se dégradent, que faut-il faire ?" Cette demande clairement posée à l'INRA, à initiée des travaux de recherche. La légitimité de ceux-ci est à chercher dans la façon dont nous avons construit une réponse.

Face à une telle question, à dominante fourragère, même si ses implications sont beaucoup plus larges, il était tout à fait possible pour des agronomes de n'en retenir que les aspects techniques et de se lancer exclusivement dans une modélisation des effets des pratiques sur la production fourragère. En effet, parallèlement une équipe abordait l'étude de l'évolution des systèmes d'exploitation et certains techniciens du développement nous demandaient des références techniques, faisant confiance à leur expérience personnelle pour adapter leur conseil à la diversité des exploitations.

Notre rôle était donc bien de réaliser ces modélisations, d'évaluer l'effet des pratiques et de leurs interactions par rapport aux conditions de milieu physique. Mais évaluer pour quels usages, par rapport à quelles pratiques ?

C'est cette ignorance qui nous a empêché de rentrer dans les prairies sans nous interroger sur leurs modes d'utilisation. Dans les entretiens que nous avons eu avec les agriculteurs, nous entendions des réponses qui n'étaient pas seulement "je fauche autour du 14 Juillet" mais aussi "je fauche autour du 14 juillet, parce que ...". Des explications, mais aussi parfois des justifications par rapport à des façons de faire que les agriculteurs savaient bien ne pas être en accord avec les recommandations des techniciens.

Comment, dans ces conditions, aborder l'effet des pratiques sans entendre aussi les raisons de celles-ci ? Au début des années 1980, les investigations sur les pratiques étaient récentes, nous ne disposions pas des concepts qui permettent d'aborder leur étude selon trois volets complémentaires : leur modalités, leurs effets et leurs conséquences (LANDAIS et DEFFONTAINES, 1990). Mais l'évidence était là, nous pouvions étudier l'effet des pratiques sur la production fourragère, sur la valeur nutritive des foins, sur le taux de dicotylédones. Nous ne pouvions rien dire sur les conséquences de ces résultats, par rapport aux objectifs d'utilisation des prairies par les agriculteurs.

Les agriculteurs n'attendent pas la même chose d'une prairie éloignée et en pente que d'une prairie plate. Ils ont aussi des logiques différentes les uns des autres. Le diagnostic des prairies ne pouvait pas s'envisager sans référence aux raisons pour lesquelles elles étaient utilisées. En formalisant progressivement les résultats de nos enquêtes en exploitation, puis en les organisant à l'aide du concept de fonction de production parcellaire (BENOIT, 1985 ; GUERIN et BELLON, 1989 ; JEANNIN et al., 1991) nous avons reconstruit les catégories que les agriculteurs établissent en affectant des usages et des rôles à leurs différentes parcelles. Nous en avons fait un inventaire régional qui sort, provisoirement et pour les besoins du diagnostic agronomique parcellaire, les surfaces et leurs fonctions de leur unité de gestion, l'exploitation.

Nous avons utilisé les fonctions des parcelles pour aborder l'étude agronomique des prairies. Nous n'avons pas conçu celle-ci pour la mise en évidence d'un optimum technique, mais en regard d'une diversité de résultats acceptables. Dans cette étape, nous ne portons pas de jugement de valeur. La valeur est externe à la prairie, elle est liée à son usage. Mais il est possible de décrire une prairie selon des critères caractéristiques de son aptitude aux différents usages rencontrés régionalement.

La compréhension des facteurs de variation de ces critères de la valeur d'usage devient alors l'objectif des modélisations des processus biotechniques dans les prairies. En développant ce travail, nous avons du faire face à la diversité des facteurs relevant du milieu physique et des pratiques agricoles, mais aussi au fait que ces facteurs affectent la végétation à différents niveaux hiérarchiques : l'individu, la population et la communauté (ALLEN, 1987 ; BRISKE, 1989). Ce sont l'ensemble de ces modes d'action qui ont des conséquences sur les critères de la valeur d'usage. Par exemple, des prairies ayant un niveau de fertilisation différent ne varient pas uniquement par leur composition floristique, elles ont aussi une composition morphologique (taux de tiges, taux de sénescence) et une structure (mode d'agrégation des brins d'herbe) particulières. Ces changements ont un fort impact sur l'évolution de la valeur nutritive durant le premier cycle, mais aussi sur l'appétibilité pour les animaux.

Ces résultats limitent la pertinence d'un diagnostic floristique, qui ne rend que très partiellement compte des variations morphologiques et structurales. En effet, celles-ci n'ont ni le même type, ni la même vitesse de réponse aux facteurs écologiques. La présence des espèces mais aussi leur abondance sont moins affectées par les pratiques agricoles et évoluent plus lentement.

Cette analyse de la structure et de la morphologie de la végétation a nécessité la mise en place d'observations à l'échelle de l'individu (comptage et mesures de talles, analyses de la valeur nutritive de ces talles, ...), mais aussi à l'échelle de la communauté (description de la végétation en prenant en compte les variations intraspécifiques des individus et leur mode d'agrégation). Nous avons conçu ce travail dans une optique d'analyse de la diversité des modes d'action des facteurs écologiques sur la végétation et d'évaluation des conséquences agronomiques. Pour cela, nous avons eu recours à des mesures *in situ* associant enquêtes sur un grand nombre de parcelles et suivis sur des échantillons plus réduits. Les enquêtes nous ont permis d'étudier les relations entre structure de la communauté et déterminants écologiques, alors que les suivis ont concerné les individus et leur description biométrique.

Dans les deux cas, nous avons pu utiliser le concept de stratégie adaptative des espèces aux conditions de l'environnement pour interpréter nos résultats. Par exemple, une espèce ayant une stratégie de compétitrice (GRIME, 1979) investit fortement pour son expansion aérienne quand la disponibilité en facteurs favorisant la croissance est forte. Ceci se traduit par des réactions morphogénétiques importantes aux modifications de son environnement, expliquant ainsi les variations de taux de tiges et de sénescence d'une espèce suivant les conditions écologiques. Mais cette stratégie a aussi des conséquences en terme de rapports de compétition à l'intérieur d'une communauté végétale. Une forte croissance, des réactions morphogénétiques rapides, permettent d'accéder à la lumière lorsque la compétition pour celle-ci est forte. Dans cette situation c'est un avantage compétitif.

La dynamique d'une communauté végétale, perçue sous différents angles, celui de sa composition morphologique, celui de sa structure et celui de sa composition floristique, est donc le résultat des interactions entre les différentes stratégies des espèces. Le concept de stratégie a une valeur intégratrice qui permet de mettre en évidence la complexité de fonctionnement des végétations pour différents niveaux hiérarchiques interdépendants (individu, population et communauté). Nous avons proposé des interprétations de nos résultats sur cette base. Mais une meilleure connaissance de la dynamique des communautés nécessite une définition des stratégies adaptatives sur des modèles écophysiologiques : vitesse de croissance et de sénescence des feuilles, par exemple, pour différentes pressions de défoliation et niveaux de nutrition. Il s'agit de comprendre la façon dont les génotypes modulent la réalisation de leur "programme de morphogénèse" selon les conditions de l'environnement (LEMAIRE, 1985). Nous aurions alors accès au "moteur" de l'évolution des végétations, ce qui permettrait de prévoir les conséquences de pâtures ou de fertilisations sur la dynamique de ses caractéristiques morphologiques, structurales mais aussi floristiques.

Cependant, nous n'avons pas transformé notre projet de recherche sur la prairie et ses utilisations en un sujet sur la prairie. Nous n'avions pas non plus la possibilité, hors station expérimentale, d'aborder la caractérisation morphogénétique des espèces. Nos résultats nous ont permis de faire émerger et de valider des indicateurs dans la végétation caractéristiques de ses déterminants écologiques et de sa valeur d'usage. Nous nous sommes, par exemple, interrogés sur la pertinence d'utiliser la hauteur des tiges, plutôt que le stade phénologique comme repère de l'évolution de la valeur nutritive durant le premier cycle. Nous avons mis en évidence des convergences de morphologie et de structure entre espèces différentes mais vivant dans les mêmes conditions d'environnement. L'ensemble de ces résultats nous permet de proposer une alternative aux relevés floristiques : un diagnostic des conditions écologiques et des caractéristiques agronomiques des végétations sur la base d'observations simples de la structure de la végétation.

Ces indicateurs sont simples, peu nombreux, mais inorganisés. L'un informe sur les conditions de nutrition, l'autre sur une valeur nutritive instantanée, ... Leur utilisation n'est pas possible, sauf pour un expert. Pour prendre en compte une finalité de diagnostic des prairies par rapport à des objectifs d'utilisation variés nous avions déjà du pratiquer une analyse approfondie des relations entre conditions écologiques, états de végétation et critères de la valeur d'usage. Transformer ces résultats en outil n'a pas été raisonné comme une simplification par le recours à des "astuces" de présentation. Nous n'avions plus à considérer seulement des prairies et des modes d'utilisations mais également des utilisateurs de prairies dont les actions étaient aussi productrices de connaissances.

Le praticien, peut être celui dont on remarque l'absence le jour où des résultats sont enfin disponibles. Les conditions de fonctionnement du programme de recherche-développement dans lequel nous travaillons sont différentes. Des représentants des techniciens du développement ont été associés à toutes les étapes de ce travail. Cette question de l'utilisation de connaissances nouvelles, de leur complémentarité avec des connaissances pratiques, mais aussi avec d'autres références produites dans les institutions du développement a été un souci permanent. Nous avons pu ainsi montrer que penser la forme d'un outil de diagnostic par rapport à ses usages et non seulement par rapport à l'objet qu'il décrit n'est pas forcément réducteur dans la complexité des phénomènes représentés, mais que cela peut aussi donner du sens et permettre une autre interprétation du réel que les modèles initiaux dont il est issu.

Il ne s'agit pas non plus de produire un discours adapté au système de pensée des praticiens pour mieux leur faire accepter une innovation technique que nous jugeons satisfaisante. L'outil de diagnostic que nous avons réalisé, la typologie des valeurs d'usage des prairies de fauche des Alpes du Nord, est un point de vue. Il a été construit progressivement. Il s'est traduit par des modifications dans les modes de raisonnement du diagnostic agronomique des acteurs de la recherche-développement, puis des utilisateurs de l'outil.

Parmi les pratiques liées aux activités des exploitations agricoles, nous nous sommes interéssés à celles qui concernent la production et l'utilisation des ressources fourragères. Nous en avons mesuré les effets en interaction avec les conditions de milieu physique. Nous avons également évalué leur opportunité par rapport à des objectifs différents. Ces pratiques sont aussi en forte intégration dans les savoirs techniques et les modes de raisonnement des praticiens. Nous avons donc étudié la prairie et son fonctionnement biotechnique par rapport à son utilisation par des acteurs. Le concept de fonction est essentiel dans cette articulation. La connaissance des liaisons fonctionnelles entre surfaces et exploitation agricole permet de faire un diagnostic et de prendre des décisions en matière de conduite sur les prairies en tenant compte à la fois, de l'état de la végétation et de la fonction de la prairie dans l'exploitation.

Nous avons appliqué le concept de fonction à la parcelle et à la production agricole. Il peut-être généralisé, pour dégager des unités fonctionnelles d'organisation d'un territoire, qui ne sont pas nécessairement des parcelles, mais qui sont construites pour analyser ses usages non agricoles, notamment par rapport à des enjeux de gestion de l'espace et de préservation de l'environnement. C'est une approche qui peut se raisonner selon une démarche hiérarchisée, les unités de territoire étant à replacer, d'un point de vue fonctionnel, dans l'ensemble du territoire, support et produit des activités humaines et de processus biologiques et physiques. La mise en évidence de tels découpages, sans à priori sur une échelle de description et d'analyse, mais au contraire en la construisant par rapport à des objectifs repose la question de l'évaluation des effets et des conséquences des pratiques et en particulier pour cela, celle du choix de critères de description de l'état d'un territoire et des végétations qui s'y trouvent.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACHEROY M. et LEFEBVRE C., 1983. Etude sur des populations d'*Agrostis tenuis Sibth.* : variation morphologique et écotypes édaphiques. *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, Vol. 4 (18), 1, 83-95.

ALLEN T.F.H., 1987. Hierarchical complexity in ecology : a non euclidian conception of the data space. *Vegetatio*, 69, 17-25.

ALLEN T.F.H. et STARR T.B., 1982. *Hierarchy : perspectives for ecological complexity.* University Chicago Press éd., 310 pages.

ALLEN T.F.H. et WYLETO E.P., 1983. A hierarchical model for the complexity of plant communities. *J. of Theoritical Biology*, 101, 529-540.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., WEGAT-LITRE E., WEISS Ph., 1981. Prévision de la valeur énergétique des foins. In : "*Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*", I.N.R.A. éd., Versailles, 119-127.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., WEGAT-LITRE E., 1981. Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages. In : "*Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*", I.N.R.A. éd., Versailles, 343-580.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., 1987. Valeur nutritive des fourrages : tables et prévision. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix*, I.N.R.A., 70, 61-73.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., SAUVANT D., 1988. Tableau de la valeur nutritive des aliments. In : "*Alimentation des bovins, ovins et caprins*", I.N.R.A. éd., Paris, 351-471.

ARCHER S.R. and TIELSZEN L.L., 1986. Plant response to defoliation : hierarchical considerations.. In : "*Grazing Research at Northern Latitudes*", O. Gudmundsson éd., Plenum Publishing Corporation, 45-59.

ARNAUD R. et NIQUEUX M., 1977. Comportement en culture d'écotypes d'espèces constitutives de la prairie permanente de montagne. *Fourrages*, 71, 51-69.

ATTONATY J.-M. et CHATELAIN M.-H., 1990. Modélisations du système fourrager : évolution des approches d'une équipe d'économistes. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 75-88.

AUFRERE J., 1982. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Ann. Zootech.*, I.N.R.A., 31, 111-130.

AUSTIN M.P. et AUSTIN B.O., 1980. Behaviour of experimental plant communities along a nutrient gradient. *Journal of Ecology*, 68, 891-918.

BAKKER-ARKEMA F. W., 1984. Selected aspects of crop processing and storage : a review. *J. agric. Eng. Res.*, 30, 1-22.

BALENT G., 1987. *Structure, fonctionnement et évolution d'un système pastoral. Le pâturage vu comme un facteur écologique piloté dans les Pyrénées centrales.* Thèse Doct. ès sciences, Université de Rennes, 146 pages + annexes.

BALENT G., 1989. Hierarchical analysis of spatial patterns in pastoral systems. In : "*Grassland systems Approaches. Some French Research Proposals*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 16, 187-198.

BALENT G. et DURU M., 1984. Influence des modes d'exploitation sur les caractéristiques et l'évolution des surfaces pastorales : cas des Pyrénées centrales. *Agronomie*, 4 (2), 113-124.

BALENT G. et FILY M., 1986. La flore indicateur des pratiques pastorales dans les Pyrénées Centrales. *Colloque international de Botanique pyrénéenne*, La Cabanasse, 3-5 Juillet 1986, 13 pages.

BALENT G. et FILY M., 1991. Dynamique de la végétation selon les pratiques des agriculteurs. Une modélisation à partir des données recueillies dans une vallée des Pyrénées centrales. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 23, 48 pages.

BARBAULT R., 1980. L'analyse de l'organisation des peuplements, étape capitale dans l'étude des écosystèmes. *ActaOecol., Oecol. Gener.*, 1, 237-247.

BARBAULT R., 1992. *Ecologie des peuplements. Structure, dynamique et évolution.* Masson éd, Paris, 273 pages.

BARLOY J., 1977. *Biologie des plantes prairiales.* APCA éd., Doc. mult., 49 pages + annexes.

BASTIN CH., BENZECRI J.-P., BOURGARIT CH., CAZES P., 1980. *Pratique de l'analyse des données. 2 Abrégé théorique. Etudes de cas modèle.* Dunod éd., Paris, 466 pages.

BELLON S., 1992. Du diagnostic au pilotage des systèmes et couverts fourragers extensifs. *In : "l'extensification en production fourragère"*, Compte-rendu des journées 1992 de l'Association Française pour la Production Fourragère, revue Fourrages, N° spécial, 131-142.

BENETTI G.C., 1985. Marginalisme et néo-marginalisme. In : "*Encyclopaedia Universalis*" éd., Paris, 11, 738-741.

BENOIT M., 1985. *La gestion territoriale des activités agricoles. L'exploitation et le village : deux échelles d'analyse en zone d'élevage. Cas de la Lorraine, (région de Neufchâteau).* Thèse Doct. ingénieur, I.N.A. Paris-Grignon, 186 pages + annexes.

BENOIT-KUNG A., 1989. Croissance printanière de la prairie permanente en Lorraine dans deux petites régions naturelles (Plateau lorrain, Châtenois/Bassigny). *XVI Cong. Int. des herbages*, Nice, France, 2, 1371-1372.

BENZECRI J.-P., et coll., 1973. *L'analyse des données. La taxinomie.* Dunod éd., Paris, 640 pages.

BENZECRI J.-P. et F., 1984. *Pratique de l'analyse des données. 1 Analyse des correspondances et classification. Exposé élémentaire.* Dunod éd., Paris, 456 pages.

BERTHOLLEAU J.C., GALLAIS A., MOUSSET C., 1975. Facteurs du rendement chez le dactyle. *Fourrages suppl.*, 62, 30-32.

BHATT R.M. et PUROHIT A.N., 1984. Morpho-physiological behaviour of two *Anaphalis* species from contrasting environments along an altitudinal gradient. *Indian J. Plant Physiol.*, Vol. XXVII, 2, 130-137.

BINZ A., THOMMEN E., 1976. *Flore de la Suisse.* 4ème édition, éds. du Griffon, Neuchâtel, Suisse, 398 pages.

BLANCHEMAIN J. et QUADRIO L., 1992. *Approche morphogénétique de l'interaction génotype-facteurs écologiques chez quelques espèces végétales prairiales. Le cas des prairies de fauche de l'étage montagnard des Alpes du Nord.* Mémoire de fin d'études, I.S.A.R.A., G.I.S. Alpes du Nord, 62 pages + annexes.

BLANCHON J., BURBAU R., GACHON L., de MONTARD F., 1974. Etude de la valeur fertilisante azotée du lisier de bovins sur une prairie des Monts d'Auvergne. Evolution botanique de la prairie. *Ann. agron.*, 25 (2-3), 439-463.

BLANDIN P., 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull. Ecol.*, 17 (4), 215-307.

BLONDEL J.,1986. *Biogéographie évolutive.* Collection d'écologie N°20, Masson éd., Paris, 221 pages.

BOCQUET C., 1985. Adaptation biologique. In : "*Encyclopaédia Universalis*" éd., Paris, 1, 239-242.

BOIFFIN J., CANEILL J., SEBILLOTTE M., 1981. Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. I Protocole et méthodes d'études d'un problème technique régional. *Agronomie*, 1(7), 549-558.

BONIN G. et ROUX M., 1978. Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances dans l'étude phyto-écologique de quelques pelouses de l'Apennin lucano-calabrais. *Oecol. Plant.*, 13 (2), 121-138.

BONISCHOT R. et GUCKERT A., 1984. Pour une meilleure connaissance des prairies permanentes en Lorraine. *C.R. Forum des Fourrages de l'Est,* Nancy, 21-22 Février 1984, 48-68.

BONJOUR R.A., 1971. Increase of yield, changes in the botanical composition of the sward and in the content of nutritive minerals during a fertilisation trial with farmyard and liqid manure, partially supplemented with commercial fertilizers on a pasture in the lower Alps. *4th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed.*, Lausanne, Suisse, 55-60.

BONNIER G., 1974. *Flore complète portative de la France, de la Suisse et de la Belgique.* Nouvelle édition, Librairie générale de l'enseignement éd., Paris, 425 pages.

BOURGINE C., 1989. *Contribution à une théorie de l'auto-modélisation. Application au développement d'aide au diagnostic global d'exploitation agricole.* Thèse Doct. ingénierie des organisations économiques, Université d'Aix Marseille III, 236 pages + annexes.

BOUROCHE J.-M. et SAPORTA G., 1980. *L'analyse des données.* Collection "Que sais-je ?", N°1854, Presses Universitaires de France éd., Paris, 127 pages.

BRADSHAW A.D., 1965. Evolutionary signifiance of phenotypic plasticity in plants. *Adv. Genet.*, 13, 115-155.

BRAUN-BLANQUET J. et JENNY H., 1926. Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. *Denskschr. d. Schweiz. Naturf. Ges.*, 63, 2, 181-349.

BRISKE D.D., 1986. Plant response to defoliation : morphological considerations and allocations priorities. In : "*Rangelands : A ressource Under Siege*", P.J. Joss, P.W. Lynch and O.B. Williams éds., Cambridge University Press, 425-427.

BRISKE D.D., 1989. Vegetation dynamics in grazed systems : a hierarchical perspective. *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 3, 1829-1833.

BROSSIER J., 1974. *Projet et situation des agriculteurs. Etude de l'évolution des exploitations agricoles du Chatelais.* I.N.R.A., Economie et Sociologie Rurales, Doc. Rech. 9, 2 vol., 214 pages.

BROWN P.W. et TANNER C.B., 1983. Alfalfa leaf and stem growth during water stress. *Agron. J.*, 75, 799-805.

BUREL F., BAUDRY J., CLERGEAU Ph., CONSTANT P., EYBERT M.C., 1992. Approche spatiale des phénomènes écologiques : échelles et hiérarchies. *Bull. Ecol.*, 23 (1-2), 93-101.

CAHN M.G. and HARPER L., 1976. The biology of the leaf mark polymorphism in *Trifolium repens L.*, 1. Distribution of phenotypes at a local scale. *Herédity*, 37 (3), 309-325.

CAPILLON A., DAMOUR L., DAVID G., HAVET A., PONS Y., 1990. La connaissance de la diversité intrarégionale : un outil pour l'élaboration d'un programme de recherche sur les systèmes herbagers. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 51-62.

CAPUTA J., 1984. *Les "mauvaises herbes" des prairies.* A.M.T.R.A. éd., Nyon (Suisse), 192 pages.

CARREL G. et BARTHELEMY D., 1986. Approche graphique de l'analyse en composantes principales normée : utilisation en hydrobiologie. *Acta Oecol., Oecol. Gener.*, Vol 7, 2, 189-203.

CERF M., PAPY F., AUBRY C., MEYNARD J.-M., 1990. Théorie agronomique et aide à la décision. In : "*Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*". BROSSIER J., VISSAC A., LE MOIGNE J. éds.., I.N.R.A., Paris, 181-202.

CHANDON J.L. et PINSON S., 1981. Analyse typologique. Théories et applications. Masson éd., Paris, 194 pages.

CHESNUTT D.M.B. et LOWE J., 1970. Agronomy of white clover-grass swards. *Occ. symp. Brit. Grassl. Soc.*, 6, 191-213.

CHESSEL D., LEBRETON J.-D., PRODON R., 1982. Mesures symétriques d'amplitude d'habitat et de diversité intra-échantillon dans un tableau-espèce-relevé : cas d'un gradient simple. *C.R. Acad. Sc. Paris*, Série 3, t. 295, 83-88.

CHOPINET R., et DUJARDIN J., 1953. Etude de quelques populations naturelles de *Dactylis glomerata L.* en vue de leur utilisation agronomique. *Ann. Amélior. Pl.*, IV, 453-477.

CIBOIS Ph., 1980. *L'analyse factorielle.* Collection "Que sais-je ?", N°2095, Presses Universitaires de France éd., Paris, , 127 pages.

CODY M.L. et MOONEY H.A., 1978. Convergence versus nonconvergence in Mediterranean-climate ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 9, 265-231.

COZIC P., 1987. Une méthode de diagnostic pastoral, de la composition de la végétation à la charge animale à préconiser. In : "*Exploitation de pelouses et landes subalpines par des bovins et des ovins*". C.E.M.A.G.R.E.F.F-I.N.E.R.M., Grenoble, 211, 171-197.

CRISTOFINI B., 1985. La petite région vue à travers le tissu de ses exploitations : un outil pour l'aménagement et le développement rural. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 6, 44 pages.

CRISTOFINI B., 1990. L'approche systémique à l'épreuve des institutions régionales : le rôle des images synthétiques de développement dans le G.I.S. des Alpes du Nord. In : "*Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*". BROSSIER J., VISSAC A., LE MOIGNE J. éds.., I.N.R.A., Paris, 215-241.

DACCORD R., 1988. Digestibilité de quelques dicotylédones. *Recherche agronomique en Suisse*, 27, 139-151.

DACCORD R., 1989. Valeur nutritive des foins. In : "*Erhaltung von artenreichen Wiesen*", Programme national de Recherche. Utilisation du sol en Suisse, Liebefeld, Bern, 64-71.

DAGET J., 1976. *Les modèles mathématiques en écologie.* Collection d'écologie N°8, Masson éd., Paris, 172 pages.

DAGET P., et al., 1971. Méthodes d'inventaire phyto-écologique et agronomique des prairies permanentes. *Compte-rendu du Séminaire de Montpellier, 25 et 26 mars 1969*, C.N.R.S. C.E.P.E., Montpellier,Document N°56, 206 pages.

DAGET P. et GODRON M., 1982. *Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés.* Collection d'écologie N°18, Masson éd., Paris, 163 pages.

DAGET P. et POISSONNET J., 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *Ann. Agron.*, 22(1), 5-41.

DAGET P. et POISSONNET J., 1972. Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des pâturages. *Fourrages.*, 49, 31-39.

DAGET P. et POISSONNET J., 1990. Notion de valeur pastorale. In : "*Repères*", , Institut de Botanique, C.N.R.S., Montpellier, 3, 5-8.

DAJOZ R., 1975. *Précis d'écologie.* Collection d'écologie fondamentale et appliquée, Gauthier-Villars, Paris, 549 pages.

DAMBRICOURT C., 1982. *Les pratiques de fertilisation en Beaufortain. Conséquences de la répartition du lisier sur l'ensemble des prés de fauche d'une exploitation.* Mémoire de fin d'études, E.N.S.S.A.A. Dijon, I.N.R.A.-S.A.D. Versailles, 110 pages.

DAMBRINE E., DORIOZ J.-M., FLEURY Ph., 1984. *Haute-Maurienne : première typologie des prairies de fauche, zonation du milieu physique.* G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, Doc. mult., 11 pages.

DANAIS M., 1984. Démographie des organes épigés d'une population d'un végétal pérenne : *Carex vesicaria L. Acta Oecol., Oecol. Gener.*, Vol. 5, 2, 135-150.

DANAIS M., 1985. Démographie d'organes épigés et production d'une population de *Phalaris arundinacea L. Acta Oecol., Oecol. Gener.*, Vol. 6, 2, 161-177.

DANAIS M., 1987. Comparaison structurale de quatre phytocénoses de zone humide. *Bull. Ecol.*, 18 (1), 39-52.

DARRE J.-P., 1985a. *La parole et la technique. L'univers de pensée des éleveurs du Ternois.* l'Harmattan éd., Coll Alternatives Paysannes, Paris, 196 pages.

DARRE J.-P., 1985b. Du discours scientifique au dialogue entre praticiens : rupture et emprunts. *Formation emploi*, 12, 11-16.

DARRE J.-P., 1988. Production de diversité et production de connaissance. In : "*Pour une agriculture diversifiée*", M. Jollivet éd., L'Harmattan, Paris, 141-147.

DARRE J.-P., 1990. La place des conceptions de l'éleveur dans l'étude des systèmes herbagers. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 175-182.

DAVIES I., 1969. The influence of management on tiller development and herbage growth. *Tech. Bull. Welsh Pl. Breed. Stat.*, 3, 121 pages

DAVIS A., 1989. The structure of the grass/clover sward and its implications in sward management. *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 2, 1065-1066.

DEFFONTAINES J.-P., 1991. L'agronomie, science du champ. Le champ, lieu d'interdisciplinarité : de l'écophysiologie aux sciences humaines. *Agronomie*, 11, 581-591.

DEINUM B., 1984. Chemical composition and nutritive value of herbage in relation to climate. *Proc. 10th Gen. Meet. of the Eur. Grassl. Fed.*, Norvège, 338-350.

DEINUM B., 1992. New concepts on the effect of age ondigestibility of grass. *Proc. 14th Gen. Meet. of the Eur. Grassl. Fed.*, Finland, 571-573.

DELPECH R. 1960. Critères de jugement de la valeur agronomique des prairies. *Fourrages.*, 4, 83-98.

DELPECH R. 1962. Possibilités de détermination des conditions de milieu par l'examen de la végétation (cas des prairies). *Bul. Techn. Inf. Min. Agri.*, 172, 687-715.

DELPECH R. 1975. *Contribution à l'étude expérimentale de la dynamique de la végétation prairiale.* Thèse fac. Sciences Orsay, Paris, 115 pages + annexes.

DELPECH R. 1979. Réflexions sur quelques problèmes biologiques soulevés par l'exploitation pastorale en montagne. In : "*Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens*", I.N.R.A. éd., Versailles, 45-56.

DELPECH R. 1982. La végétation prairiale, reflet du milieu et des techniques. *Bul. Techn. Inf. Min. Agri.*, 370/372, 363-373.

DELPECH R., 1989a. Phytosociologie et pastoralisme. Origine, finalités, thèmes et orientations du colloque. *Colloques phytosociologiques, Phytosociologie et Pastoralisme*, Paris, 1988, 16, 7-21.

DELPECH R., 1989b. Historique de la phytosociologie herbagère en Europe occidentale, particulièrement en France. *Colloques phytosociologiques, Phytosociologie et Pastoralisme*, Paris, 1988, 16, 23-59.

DELPECH R., 1989c. Conditions d'application des méthodes et résultats de la phytosociologie sigmatiste aux problèmes d'utilisation et d'aménagement des herbages. *Colloques phytosociologiques, Phytosociologie et Pastoralisme*, Paris, 1988, 16, 61-74.

DELPECH R., 1993. Deux clés essentielles pour la gestion raisonnée des prairies permanentes : typologie des peuplements et bioindicateurs. *Fourrages*, 133, 3-21.

DELPECH R. et BERTOLETTI L., 1967. *Les plantes des prairies permanentes. Série graminées.* Fiches A.C.T.A. éd., Paris, 11 pages + fiches illustrées.

DELPECH R., DUME G., GALMICHE P., 1985. *Typologie des stations forestières. Vocabulaire.* Institut pour le développement forestier éd., Paris, 241 pages.

DEMARQUILLY C., 1977. Fertilisation azotée et qualité du fourrage. *Fourrages*, 69, 61-81.

DEMARQUILLY C., 1987. La fenaison :évolution de la plante entre la fauche et la récolte. Perte d'eau, métabolisme, modification de la composition morphologique et chimique. In : "*Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation*", DEMARQUILLY C. éd., I.N.R.A., Paris, 23-46.

DEMARQUILLY C. et JARRIGE R., 1971. The digestibility and intake of forges from artificial and natural grassland. *Proc. 4th Gen. Meet. of the Eur. Grassl. Fed.*, Lausanne, Suisse, 91-106.

DEMARQUILLY C. et JARRIGE R., 1981. Panorama des méthodes de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages. In : "*Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*", I.N.R.A. éd., Versailles, 41-59.

DENUDT G. et LAMBERT J., 1970. Etude des variations qualitatives et quantitatives de 5 espèces fourragères, suivant le mode d'exploitation. *Revue de l'Agriculture belge*, 9, 1295-1311.

DESCOINGS B., 1983. Les formations herbeuses dans la classification phytogéographique de Fosberg. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 4è sér., 5, section B, Adansonia, 1, 53-62.

DESSELLE J.L., 1992. *Analyses multivariées sous contraintes : présentation à partir d'exemples, réalisation pratique à l'aide du logiciel BIOMECO.* AVENIX, C.N.R.S. Biométrie, Montpellier, doc. mult., 30 pages plus annexes..

DETHIOUX M., LIMBOURG P., NOIRFALISE A., 1983. *Répertoire écologique des espèces herbagères de Belgique.* Communication du Centre d'écologie forestière et rurale de Gembloux, NS 37, 29 pages.

DETLING J.K., PAINTER E.L., COPPOCK D.L., 1986. Ecotypic differenciation resulting from grazing pressure : evidence for a likely phenomenon. In : "*Rangeland : a ressource under siege*", JOSS P.J., LYNCH P.W., WILLIAMS O.B. éds., IInd Int. Rangld. Cong., Adélaïde, Australia, Australian Acad. Sc., Camberra, 431-433.

DIETL J.-M., BERGER P., OFNER M., 1981. *Die Kartierung des Planzenstandortes und der futterbautlichen Nutzungseignung von Naturwiesen.* F.A.P.-A.G.F.F., Zurich, Suisse, Doc. mult., 43 pages.

DOBREMEZ J.-F. et VARTANIAN M.-C., 1974. Climatologie des séries de végétation des Alpes du Nord. *Doc.-carto. écol.*, Grenoble, vol XXVIII, 33-64.

DOLEDEC S. et CHESSEL D., 1987. Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I - Description d'un plan d'observation complet par projection de variables. *Acta Oecol, Oecol. Gener.*, Vol. 8, 3, 403-426.

DONALD C.M., 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances in Agronomy*, 15, 1-118.

DORIOZ J.-M., 1987. Dynamique écologique et typologie de territoires pastoraux des Alpes du Nord. 2 Analyse des facteurs de la valeur pastorale dans un secteur de référence. conséquences pour une typologie régionale des territoires pastoraux. *Acta Oecol., Oecol. Appl.*, Vol. 8, 4, 283-300.

DORIOZ J.-M., 1989. *Couverture pédologique et surfaces fourragères de montagne. Première partie : éléments pour un diagnostic agronomique à l'échelle du profil.* G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, Document technique N°4, 40 pages.

DORIOZ J.-M., FLEURY Ph., JEANNIN B., 1987a. Impacts des facteurs pédoclimatiques sur les prairies de fauche montagnardes. Conséquences pour une cartographie agronomique d'un secteur de référence des Alpes du Nord (le Beaufortain). In : "*Agrométéorologie des régions de moyenne montagne*", les Colloques de l'I.N.R.A. N°39, I.N.R.A. éd., Paris, 233-248.

DORIOZ J.-M., FLEURY Ph., JEANNIN B., 1987b. Factors controlling vegetation dynamics in hay meadows under high level of organic fertilizer in the French Northern Alps. In : "*Animal manure on grassland and fodder crops*", Oc. Symp. Eur. Grassl. Fed., Wageningen, Netherlands, 341-343.

DORIOZ J.-M., FLEURY Ph., JEANNIN B., 1989. Sociabilités, morphologie et valeurs nutritives des végétations prairiales. *XVI Cong. Int. des herbages*, Nice, France, 2, 1373-1374.

DORIOZ J.-M. et PARTY J.-P., 1987. Dynamique écologique et typologie de territoires pastoraux des Alpes du Nord. 1 Analyse de l'organisation agro-écologique d'un alpage de référence. *Acta Oecol., Oecol. Appl.*, Vol. 8, 3, 257-280.

DORIOZ J.-M. et TREVISAN D., 1990. *Couverture pédologique et surfaces fourragères de montagne. Deuxième partie : les relations sols-paysages.* G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, Document technique N°5, 45 pages.

DORIOZ J.-M. et TREVISAN D., 1991. *Sols sous prairies et pelouses de l'Arvan.* G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, Doc. mult., 7 pages.

DUBOST M. et COZIC Ph., 1985. Le pastoralisme montagnard : une discipline scientifique appliquée à la montagne. *Bul. Techn. Inf. Min. Agri.*, 399/401, 345-352.

DULPHY J.-P., 1987. La fenaison : pertes en cours de récolte et de conservation. In : "*Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation*", DEMARQUILLY C. éd., I.N.R.A., Paris, 103-124.

DURU M., 1985. Winter and spring growth variability of grazéd. permanent meadow. The case of the Pyrénées Mountains. *XV Int. Grassl. Cong.*, Kyoto, Japon, 595-597.

DURU M., 1987. Climat et récolte des fourrages secs dans les Pyrénées centrales. In : "*Agrométéorologie des régions de moyenne montagne*", les Colloques de l'I.N.R.A. N°39, I.N.R.A. éd., Paris, 335-349.

DURU M., 1989. Dynamique de tallage et types de talles au printemps. Cas du dactyle de prairies permanentes. *Fourrages*, 117, 17-28.

DURU M., 1992a. Diagnostic de la nutrition minérale de prairies permanentes au printemps. I Etablissement de références. *Agronomie*, 12, 219-233.

DURU M., 1992b. Diagnostic de la nutrition minérale de prairies permanentes au printemps. II Validation de références. *Agronomie*, 12, 345-357.

DURU M., 1992c. Bases agronomiques pour gérer les ressources fourragères selon différents objectifs de production et d'utilisation. *In : "l'extensification en production fourragère"*, Compte-rendu des journées 1992 de l'Association Française pour la Production Fourragère, revue Fourrages, N° spécial, 77-87.

DURU M., 1993. Digestibilité de limbes de dactyle (*Dactylis glomerata L.*) en fonction de l'âge et de la température. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 316, Série III, 75-81.

DURU M. et CHARPENTEAU J.-L., 1985. Comment lever la contrainte climatique sur l'hivernage des troupeaux ovins dans les Pyrénées ? Les réponses apportées par des simulations. *Fourrages.*, 103, 3-30.

DUVIGNEAUD P. et LAMOTTE M., 1985. Biocénoses. In "*Encyclopaédia Universalis*", éd., Paris, 3, 617-622.

DYER M.I., DETLING J.K., COLEMAN D.C., HILBERT D.W., 1982. The role of herbivores in grasslands. In : "*Grasses and Grasslands. Systematic and Ecology*", ESTES J.R., TYRL R.J., BRUNKEN J.N. éds., University of Oklahoma Press, Norman, 255-295.

DYER J. A. et BROWN D. M., 1977. A climatic simulator for field-drying hay. *Agricultural Meteorology*, 18, 37-48.

ELLENBERG H., 1952. *Wiesen und weiden und ihre standörtliche Bewertung.* Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie II. Ulmer éd., Stuttgart, 143 pages.

ELLENBERG H. et al., 1991. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa (Scripta Geobotanica 18).* Erich Goltze éd., Göttingen, 248 pages.

EL KHODRE A. et GOUNOT M., 1983. Recherches sur l'effet de la teneur en azote du milieu sur la croissance et la morphogénèse végétative du dactyle. *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, vol. 4(18), 3, 273-288.

ESCARRE J., HOUSSARD C., DEBUSSCHE M., 1983. Evolution de la végétation et du sol après abandon cultural en région méditerranéenne : étude de succession dans les Guarrigues du Montpelliérais (France). *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, Vol. 4(18), 3, 221-239.

ESCOFFIER Brigitte et PAGES J., 1990. *Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation.* Dunod éd., Paris, 267 pages.

EVANS R.C. et TURKINGTON R., 1988. Maintenance of morphological variation in a biotically patchy environment. *New Phytol.*, 109, 369-376.

FALLON G., 1981. *Végétation et productivité des prairies de fauche du Beaufortain. Effets des facteurs du milieu et des pratiques d'exploitation. Résultats d'une première année d'observations.* Mémoire de fin d'études, E.N.S.S.A.A. Dijon, I.N.R.A.-S.A.D. Versailles, E.D.E. Savoie, 162 pages.

FARGEAUD M.L. et ORGIAZZI L., 1989. *Fonctionnement d'exploitation et prairies de fauche : comment relier 2 typologies de niveau d'approche différent.* Mémoire de fin d'études, I.S.A.R.A. Lyon, G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, 86 pages + annexes.

FAVARGER C., 1962. *Flore et végétation des Alpes. I Etage alpin.* Delachaux et Niestlé éds., Neuchâtel, Suisse, 293 pages.

FAVARGER C., 1966. *Flore et végétation des Alpes. II Etage subalpin.* Delachaux et Niestlé éds., Neuchâtel, Suisse, 301 pages.

FENELON J.-P., 1981. *Qu'est-ce que l'Analyse des données ?* Lefonen éd., Paris, 311 pages.

FILY M., 1990. *Succession post-culturale et pression de pâturage dans les Pyrénées centrales : étude à l'échelle de l'écosystème, de la communauté et d'une population de Dactylis glomerata L.prise comme modèle.* Thèse Doct., Université P. Sabatier, Toulouse, écol. vèg., 145 pages + annexes.

FILY M. et BALENT G., 1991. Les interactions entre la végétation herbacée et les grands vertébrés herbivores : le pâturage considéré comme un facteur évolutif pour les plantes. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 24, 42 pages.

FILY M., TOSCA C., BALENT G., 1991. Réaction à un composé salivaire et tolérance à la coupe de génotypes de *Dactylis glomerata L.*issus de populations ayant une expérience contrastée du pâturage. *Agronomie*, 11, 247-257.

FIORELLI J.-L. et JEANNIN B., 1979. *Contribution à l'étude de la rénovation pastorale dans la montagne vosgienne sud. Contribution à l'élaboration d'une méthodologie pour le suivi des zones pastorales dégradées en cours de rénovation.* I.N.R.A.-S.A.D. Versailles, Doc. mult., 111 pages.

FLAHAULT C., 1901. Premier essai de nomenclature phytogéographique. *III Cong. Int. Bot.*, Bruxelles, Belgique, 131-142.

FLEURY Ph., 1985. La variabilité microclimatique en montagne. Son expression par la phénologie du dactyle des prairies permanentes. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 5, 46 pages.

FLEURY Ph., DORIOZ J.-M., JEANNIN B., 1985. Influence du milieu physique et des pratiques agricoles sur la végétation des prairies de fauche des hautes vallées des Alpes du Nord. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 3, 52 pages.

FLEURY Ph., DORIOZ J.-M., JEANNIN B., 1990. Effects of trophic state and soil moisture on morphology of plant communities ; relations with dry matter production and nutritive value. *Proc. 13th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed.*, Banska Bystrica, Tchecoslovaquie, t.1, 242-245.

FLEURY Ph., JEANNIN B., DORIOZ J.-M., 1987a. Un indicateur bioclimatique : la phénologie des populations spontanées de dactyle (*Dactylis glomerata L.*). Application au cas des prairies montagnardes du Beaufortain (Savoie). In : "*Agrométéorologie des régions de moyenne montagne*", les Colloques de l'I.N.R.A. N°39, I.N.R.A. éd., Paris, 215-232.

FLEURY Ph., JEANNIN B., DORIOZ J.-M., 1987b. Effects of organic fertilizer application on hay meadows quality in the French Northern Alps. In : "*Animal manure on grassland and fodder crops*", Oc. Symp. Eur. Grassl. Fed., Wageningen, Netherlands, 309-311.

FLEURY Ph., JEANNIN B., DORIOZ J.-M., 1988. Ranking production factors in grasslands. The case of permanent hay meadows in the French Northern Alps. *Proc. 12th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed.*, Dublin, Irlande, 372-375.

FLEURY Ph., JEANNIN B., DORIOZ J.-M., 1990. Quelle méthode choisir pour décrire la diversité de valeur nutritive des fourrages. dans les prairies permanentes ? Exemple des prairies de fauche des Alpes du Nord françaises. *Herba*, 3, 36-39.

FLEURY Ph., JEANNIN B., PHILIPPOT I., 1990. Changes in nutritive value of forage during hay curing : the case of permanent meadows of Northern French Alps. *Proc. 13th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed.*, Banska Bystrica, Tchecoslovaquie, t.2, 249-252.

FLEURY Ph., PHILIPPOT I., JEANNIN B., 1989. La vitesse de séchage au champ des foins de prairies permanentes. Application aux prairies de fauche des Alpes du Nord françaises. *XVI Cong. Int. des herbages*, Nice, France, 2, 1011-1012.

FOUCAULT B. (de), 1992. Les apports de la phytosociologie au pastoralisme. *Fourrages.*, 130, 211-221.

FOURNET J. et MONESTIEZ P., 1987. Essai de caractérisation phytoécologique des formations herbacées pâturées de Grande-Terre (Guadeloupe). *Agronomie*, 7(10), 833-851.

FOURNIER J. et PELTIER J.P., 1987. Les secteurs biogéographiques de la Maurienne (Savoie) : leur délimitation par l'étude des précipitations et des groupements végétaux forestiers. *Doc. Carto. Ecol.*, Grenoble, Vol. 30, 3-24.

FRAME J. et TILEY G.E.D., 1988. Herbage productivity of secondarygrass species. *Proc. 12th. Gen. Meet. of the Eur. Grass. Fed.*, Dublin, Ireland, 189-193.

GARDE L., 1990. *Ressources pastorales en Haute-Provence et modélisation de la relation végétation/troupeau.* Thèse Doct., Université Aix-Marseille III, écologie, 172 pages.

GASTAL F. et SAUGIER B., 1986. Alimentation azotée et croissance de la fétuque élevée. I.- Assimilation du carbone et répartition entre organes. *Agronomie*, 6(2), 157-166.

GAUTHIER B., GODRON M., HIERNAUX P., LEPART J., 1977. Un type complémentaire de profil écologique : le profil écologique "indicé". *Can. J. Bot.*, vol 55, 2859-2865.

GILIBERT J. et MATHIEU A., 1990. Indicateurs bio-techniques pour la gestion pratique du pâturage. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 137-146.

GILLET M., 1980. *Les graminées fourragères. Description, fonctionnement, applications à la culture de l'herbe.* Collection "Nature et Agriculture", Gauthier-Villars éd., Paris, 306 pages.

GILLET M., HUGUET L., BREISCH H., LE ROY A., POSNY Ph., 1980. Peut-on concilier pâture et plein emploi des graminées fourragères ? Nouvelle approche d'un vieux problème. (I) Les conditions d'un système de pâturage. *Fourrages.*, 81, 3-20.

GILLET M., HUGUET L., LE ROY A., POSNY Ph., BREISCH H., 1981. Peut-on concilier pâture et plein emploi des graminées fourragères ? Nouvelle approche d'un vieux problème. (V) La souplesse d'exploitation des différentes graminées en pâture. *Fourrages.*, 87, 137-154.

GILLET M., GOSSE G., LEMAIRE G., 1984. Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères. *Agronomie*, 4, 75-85.

GLEASON H.A., 1920. Some application of the quadrat method. *Bull. Torrey. Bot. club.*, 47, 21-34.

GODRON M., 1965. *Les principaux types de profils écologiques.* C.N.R.S., C.E.P.E., Montpellier, 8 pages.

GODRON M., 1982. L'étude du "grain" de la structure de la végétation, application à quelques exemples méditerranéens. In : "*Définition et localisation des Ecosystèmes méditerranéens terrestres*", Saint-Maximin 16-20 Novembre 1981, *Ecologia mediterranea*, t. 8, fasc. 1/2, 191-195.

GODRON M., 1984. *Ecologie de la végétation terrestre.* Masson éd., Paris, 190 pages.

GODRON M., DAGET P., LONG G., SAUVAGE C., EMBERGER L., LE FLOCH E., WACQUANT J.-P., POISSONET J., 1968. *Code pour le relevé méthodique de la végétation.* C.N.R.S. éd., Paris, 292 pages.

GOUNOT M., 1960. Méthodes d'étude et d'inventaire de la végétation pastorale et prairiale. *Fourrages*, 4, 46-52.

GOUNOT M., 1969. *Méthodes d'étude quantitative de la végétation.* Masson éd., Paris, 314 pages.

GOUYON Ph., VALDEYRON G., VERNET Ph., 1979. Sélection naturelle et niche écologique chez les végétaux supérieurs. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 126, Actual. bot, 2, 87-95.

GRANGER S., 1992. *Typologie de fonctionnement de prairies permanentes pâturées. Essais d'identification de voies à prospecter pour la gestion des prairies de l'Auxois.* Thèse Doct., Université de Bourgogne, agronomie et productions végétales, 252 pages.

GRANGER Y., 1986. *La fenaison dans les Alpes du Nord humides. conséquences du climat et des systèmes d'exploitation.* Mémoire de fin d'études, E.N.S.S.A.A. Dijon, G.I.S. Alpes du Nord, 110 pages.

GRANGER Y., MORLON P., MUNIER E., 1987. Le séchage du foin au champ. II.- Modélisation du séchage et jours disponibles pour la fenaison. La méthode de Lüder et son application (exemple des Alpes du Nord). *Fourrages*, 110, 111-137.

GRANGER Y., MORLON P., MUNIER E., 1990. Modélisation des jours disponibles pour le séchage du foin : une adaptation en France de la méthode de Lüder. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 89-100.

GRANT S.A., KING J., BARTHRAM G.T., 1987. The role of sward adaptations in buffering herbage-production responses to grazing management. In : "*grazing lands research at the plant-animal interface*", HORN F.P., HODGSON J., MOTT J.J., BROUGHAM R.W. éds., Winrock International Publications, 21-32.

GRANT S.A. et MARRIOTT C.A., 1989. Some factors causing temporal and spatial variation in white clover performance in grazed swards. *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 2, 1041-1042.

GRAS R., BENOIT M., DEFFONTAINES J.-P., DURU M., LAFARGE M., LANGLET A., OSTY P.-L., 1989. *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'études.* I.N.RA., L'Harmattan éd., Paris, 183 pages.

GRAS R., OSTY P.-L., DEFFONTAINES J.-P., MARIN LAFLECHE A., 1971. Contribution à l'étude de la culture de la betterave à sucre sur des sols légers du Laonnois et de la Champagne de l'Aisne. *Ann. agron.*, 22(5), 537-584.

GRAY A.J., 1985. Adaptation in perennial coastal plants with particular reference to heritable variation in *Puccinella maritima* and *Ammophila arenaria*. *Vegetatio, 61, 179-188.*

GRIGNANI C., PASCAL G., REYNERI A., 1990. Structure et qualité de différentes espèces et pelouses d'alpages (Alpes Italiennes). *Fourrages*, 122, 159-174.

GRIME J.P., 1979. *Plant strategies and vegetation processes.* John Willey and Sons éds., Chichester, 222 pages.

GROUPEMENT D'INTERET SCIENTIFIQUE ALPES DU NORD, 1987. *Fiches du technicien des Alpes du Nord. Prairies de fauche et pâtures.* G.I.S. Alpes du Nord, 11 rue Métropole, 73000 Chambéry, (France), 20 fiches.

GROUPEMENT D'INTERET SCIENTIFIQUE ALPES DU NORD, 1992. *Couverture pédologique et surfaces fourragères de montagne.* I.N.R.A. Science du dol, G.I.S. Alpes du Nord, 11 rue Métropole, 73000 Chambéry, (France), 10 fiches.

GUERIN G. et BELLON S., 1990. Analyse des fonctions des surfaces pastorales dans des systèmes de pâturage méditerranéens. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*",CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 147-158.

GUILLERM J.-L., 1971. Calcul de l'information fournie par un profil écologique et valeur indicatrice des espèces. *Oecol. Plant.*, 6, 209-225.

GUINOCHET M., 1968. Continu et discontinu en phytosociologie. *Bot. Rev.*, 34(3), 273-290.

GUINOCHET M., 1973a. *Phytosociologie.* Collection d'écologie N°1, Masson éd., Paris, 227 pages.

GUINOCHET M., 1973b. Clé des classes, ordres et alliances phytosociologiques. In : " *Flore de France*", C.N.R.S. éd., Paris, 31-75.

GUPTA M. L., MAC MAHON T. A., MACMILLIAN R. H., BENNETT D. W., 1990. Simulation of Hay-Making Systems : Part 1-Development of the Model. *Agricultural Systems*, 34, 277-299.

HARPER J.L., 1978. Plant relations in pastures. In "*Plant relations in pastures*". J.R. Wilson éd., C.S.I.R.O., Melbourne, 3-14.

HAZARD L., *Etude de l'adaptation de trois espèces de graminées fourragères (Dactylis glomerata, Festuca arundinacea, Lolium perenne) à différentes hauteurs de coupes fréquentes : morphogénèse et échange de CO2.* Mémoire D.E.A., Université Clermond-Ferrand II, I.N.R.A. Lusignan, I.T.C.F. La Jaillère, 43 pages + annexes.

HAVET A., MATHIEU A., LAFON E., 1992. Utilisation des états physionomiques des prairies pour le diagnostic des performances animales au pâturage. Exemples en Lorraine et dans les Marais de l'Ouest. *In : "l'extensification en production fourragère"*, Compte-rendu des journées 1992 de l'Association Française pour la Production Fourragère, revue Fourrages, N° spécial, 176-177.

HAUWUY A., FOLLIET X., MOYROUD Ph., FLEURY Ph., 1991. Typologie régionale des prairies permanentes fondée sur leur aptitude à remplir des fonctions. II Utilisation de la typologie des prairies de fauche des Alpes du Nord. *Fourrages*, 128, 397-406.

HAUWUY A., PARADIS J., COULON J.-B., 1992. Complémentation énergétique de rations à base de foin pour les vaches laitières. *I.N.R.A. Prod. Anim.*, 5(5), 339-346.

HAUWUY A., PARADIS J., COULON J.-B., 1993. Effet de la nature du foin des Alpes du Nord sur les performances des vaches laitières. *Ann. Zootech.*, 42, 289-298.

HEDIN L., 1945. Contribution à l'étude des formes biologiques des espèces prairiales. *Ann. agron.*, 15, 235-278.

HEDIN L., 1960. Problèmes écologiques : types de prairies et classification. *Fourrages.*, 4, 53-61.

HEDIN L.et LEFEBVRE J.-M., 1951. Méthode d'analyse botanique pour l'étude agronomique des prairies. *Annales de l'I.N.R.A.*, sér. B., 1, 375-407.

HEDIN L., KERGUELEN M., MONTARD F.-X. (de), 1972. *Ecologie de la prairie permanente française.* Masson éd., Paris, 229 pages.

HENIN S., 1967. Les acquisitions techniques en production végétale et leurs applications. In : " *Economie rurale*", S.F.E.R., Paris, 31-44.

HENTGEN A., 1962. Deux années d'observation sur la précocité des principales variétés françaises de dactyle et de ray-grass. *Fourrages*, 12, 42-69.

HENTGEN A. et JEANNIN B., 1968. Influence du climat et du végétal produit sur les conditions de séchage des fourrages. *Bul. Techn. Inf. Min. Agri.*, 226, 13-16.

HEWITT L.J., 1952. A biological approach to the problems of soil acidity. *Trans. Int. soc. Soil Sci. Jt. Meet. Dublin*, 1, 107-118.

HIGGINS S.S. et MACK R.N., 1987. Comparative responses of *Achillea millefolium*ecotypes to competition and soil type. *Oecologia (Berlin)*, 73, 591-597.

HILL M.J. et KIRBY A.C., 1985. Morphological variation in prairie grass. *XVth Int. Grassl. Cong.*, Kyoto, Japon, 179-181.

HODGSON J., 1985. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. *XV Int. Grassl. Cong.*, Kyoto, Japon, 63-74.

HOHN E., 1986. Pertes sur le champ lors de la récolte fourragère. F.A.T., Documentation de technique agricole, station de Tänikon, Suisse, 285, 1-7.

HOLMES W. et al., 1980. *Grass, its production and utilization.* Blackwell Scientific Publications éds., Oxford, 295 pages.

HUBERT B., 1991. Comment raisonner de manière systémique l'utilisation du territoire pastoral ? *IV Cong. Int. des Terres de Parcours*, Montpellier, France, 1026-1043.

HUBERT B., MEOT A., HAVET A., LASSEUR J., COPPEL B., 1990. Systèmes de pâturage et conduite de troupeaux : caractérisation des pratiques par l'étude de l'organisation du territoire. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 159-172.

HUBERT B., GIRARD N., LASSEUR J., BELLON S., 1993. Les systèmes d'élevage ovin préalpins. Derrière les pratiques, des conceptions modélisables. In : "*Pratiques d'élevage extensif, identifier, modéliser, évaluer*", Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, I.N.R.A., Versailles, 27, 351-385.

HUCHE L., JOURDAN O., HNATYSZYN M., RAMON J., QUEMENER J., SALETTE J., 1990. Nutrition azotée et potassique de peuplements prairiaux : évolution et équilibre à long terme. Influence du mode d'exploitation. *Fourrages*, 123, 223-239.

HUGUET E. et ROYBIN D., 1982. *Diversité des systèmes de production en Beaufortain. Essai d'élaboration d'une typologie des fonctionnements.* Mémoire de fin d'études, E.S.A. Angers, I.N.R.A.-S.A.D. Versailles, 286 pages.

IKEGAYA F., SATO S., KAWALATA A., 1980. Control of flowering in cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). Influence of fertilizer application on response to floral induction treatment in the aged plant. *Bull. of Nat. Grassl. Res. Inst.*, 17, 68-75.

I.N.R.A. E.N.S.S.A.A. Collectif, 1974. *Conditions du choix des techniques de production et évolution des exploitations agricoles, région de Rambervilliers.* S.E.I. éd., Versailles, B4, 2 tomes, 200 pages.

I.N.R.A., 1988. *Alimentation des bovins ovins et caprins.* Ouvrage collectif dirigé par Jarrige R., I.N.R.A. éd., Paris, 417 pages.

I.T.C.F., 1965. *Etude sur le cycle de développement des plantes fourragères.* IT.C.F. éd., Paris, doc. mult., 37 pages + 8 pages photos hors texte.

I.T.C.F., 1975. *L'élaboration d'un protocole d'essai. Proposition d'un plan type et quelques commentaires.* I.T.C.F. éd., Paris, 40 pages+ annexes.

JACQUARD P., 1978. Stratégies adaptatives chez les végétaux : aspects démographiques et niveau d'étude (organe, individu, population, espèce). In : "*Recherche d'Ecologie Théorique*", Maloine, Paris, 159-191.

JACQUARD P., 1984. Influence de la densité sur la morphogénèse et la production de *Bromus erectus Huds.*. *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, vol. 5(19), 1, 15-37.

JACQUARD P., IBN TATTOU M., MAITRE J.-P., AL SBEI R., 1985. Allocation des ressources chez quelques végétaux : facteurs de variation. *Bull. Ecol.*, t. 16, 1, 35-46.

JAMBU M., 1989. *Exploration informatique et statistique des données. Collection technique et scientifique des télécommunications.* Dunod éd., Paris, 505 pages.

JARRIGE R. et MINSON D.J., 1964. Digestibilité des constituants du ray-grass anglais S24 et du dactyle S37, plus spécialement des constituants glucidiques. *Ann. Zootech.*, 13, 117-150.

JARRIGE R., DEMARQUILLY C., DULPHY J.-P., 1982. La conservation des fourrages. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix*, I.N.R.A., 50, 5-32.

JEANGROS B., 1985. *Physiologie et morphologie de la jeune plante de Rumex obtusifolius L., en particulier sous l'influence du rayonnement et de l'offre en éléments nutritifs.* Thèse école polytechnique fédérale de Zurich, Suisse, Doct. ès sciences techniques, 123 pages.

JEANNIN B., 1968. Etude des problèmes posés par la récolte et la conservation des fourrages dans le Massif Central. *Fourrages*, 35, 51-74.

JEANNIN B., 1991. Oligo-éléments et production herbagère. *C.R. Acad; Agric. Fr.*, 8, 103-110.

JEANNIN B. et CRISTOFINI B., 1990. Le concept de fonctionnement fourrager : un outil pour un conseil spécialisé mieux adapté à l'exploitation dans son contexte régional. In : "*Recherches sur les Systèmes Herbagers. Quelques propositions françaises*", CAPILLON A. éd., *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, I.N.R.A., Versailles, 17, 63-74.

JEANNIN B., FLEURY Ph., DORIOZ J.-M., 1991. Typologie régionale des prairies permanentes fondée sur leur aptitude à remplir des fonctions. *Fourrages.*, 128, 377-422.

JONES L., 1979. The effect of stage of growth on the rate of drying of cut grass at 20°C. *Grass and Forage Science*, 36, 17-23.

JOSIEN E., 1979. *Evolution des systèmes d'exploitation en Beaufortain. Conséquences sur les systèmes fourragers et la production prairiale.* Mémoire de fin d'études, E.N.S.S.A.A. Dijon, I.N.R.A.-S.A.D. Versailles, 67 pages.

JOUVE P., 1990. L'expérimentation en milieu paysan : démarches et méthodes. *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 27, 94-105.

JUAN J., 1982. Le programme HIVOR de classification hiérarchique selon les voisins réciproques. *Cahiers de l'Analyse des Données.* Vol VII, 2, 173-184.

KEMP W.B., 1937. Natural selection within plant species as exemplifiéd. in a permanent pasture. *J. Heréd.*, 28, 329-333.

KERGUELEN M., 1960. Quelles indications peut-on retirer de l'analyse botanique des herbages ? *Fourrages.*, 4, 62-69.

KLAPP E., 1965. *Grünlandvegetation und Standort.* Parey P. éd., Berlin, Hambourg, Allemagne, 384 pages.

KOLOSA J. et PICKETT S.T.A., 1989. Ecological systems and the concept of biological organization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Ecology, Vol.86, 8837-8841.

KUNG-BENOIT A., 1991. Croissance printanière de la prairie permanente en Lorraine : lois de croissance potentielle. *Fourrages.*, 127, 273-286.

LACOSTE A. et ROUX M., 1971. L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et en écologie. 1 : l'analyse des données floristiques. *Oecol. Plant.*, 6, 353-369.

LACOSTE A. et ROUX M., 1972. L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et en écologie. 2 : l'analyse des données écologiques et l'analyse globale. *Oecol. Plant.*, 7, 125-146.

LAMBERT J. et PEETERS A., 1989. Influence des plantes adventices sur la valeur qualitative des herbages. *Communication au VIème colloque du sous-réseau F.A.O. des herbages de montagne*, Cracovie, Pologne, doc. mult., 17 pages.

LAMBERT J., DENUDT G., Van OUDENHOVE C., 1973. Aspects écologiques et phytosociologiques de l'analyse minérale des herbages. *Revue de l'Agriculture belge*, 4, 893-908.

LANDAIS E. et DEFFONTAINES J.-P., 1990. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. In : "*Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*". BROSSIER J., VISSAC A., LE MOIGNE J. éds., I.N.R.A., Paris, 31-64.

LANDOLT E., 1977a. The importance of closely related taxa for the delimitation of phytosociological units. *Vegetatio*, vol. 34, 3, 179-189.

LANDOLT E., 1977b. *Oekologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*. Veröff. d. Geobot. Inst. d. E.T.H. éd., Zürich, 208 pages.

LAPCHIN L. et BOLL R., 1981. Utilisation de la typologie automatique pour la mise au point d'un échantillonnage stratifié, en vue de l'étude des relations plante hôte-pucerons en verger de pêchers. *Agronomie*, 1(7), 587-594.

LEBOEUF V. et MENAHEM F., 1993. *Trois approches pour appréhender la prairie permanente. Analyse du discours des agriculteurs. Morphogénèse des organes. Analyse de la diversité par S.P.I.R.*.Mémoire de fin d'études, E.S.A. Angers, I.N.R.A.-S.A.D. Versailles, S.U.A.C.I. Montagne Alpes du Nord, I.N.R.A.-S.A.D. Avignon, station de Haute Belgique C.R.A. Gembloux, G.I.S. Alpes du Nord, 105 pages + annexes.

LEBRETON Ph., 1982. Tannins ou alcaloïdes : deux tactiques phytochimiques de dissuasion des herbivores. *Revue d'Ecologie*, 36, 539-572.

LEBRETON J.-D., CHESSEL D., PRODON R., YOCCOZ N., 1988a. L'analyse des relations espèces-milieu par l'analyse canonique des correspondances. I Variables de milieu quantitatives. *Acta Oecologica, Oecol. Gener.*, Vol. 9, 1, 53-67.

LEBRETON J.-D., CHESSEL D., RICHARDOT-COULET M., YOCCOZ N., 1988b. L'analyse des relations espèces-milieu par l'analyse canonique des correspondances. II Variables de milieu qualitatives. *Acta Oecologica, Oecol. Gener.*, Vol. 9, 2, 137-151.

LEBRETON J.D., SABATIER R., BANCO G., BACOU A.M., 1991. Principal component and correspondence analyses with respect to instrumental variables : an overview of their role in studies of structure - activity and species - Environment relationships. In : "*Applied Multivariate Analysis in SAR and Environmental studies*", J. Devillers and W. Karcher éds., ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg, 85-114.

LE BRIS X. et DURU M., 1988. Approches du système fourrager par simulation. *Fourrages.*, 115, 305-318.

LE BRIS X. et GAILLARD B., 1984. Influence de quelques facteurs climatiques sur la croissance de l'herbe des prairies du Nord-Est de la France. In : "*Forum des Fourrages. de l'Est*", Nancy, 21-22 Février 1984, 20-47.

LECONTE D., 1985. *Importance de la hauteur de coupe et du rythme de défoliation sur la repousse de Lolium perenne.* Thèse, mention sciences, Université de Caen, 42 pages.

LECONTE D., 1991. Comportement des graminées prairiales sur deux types de sol. *Fourrages.*, 125, 29-33.

LECRIVAIN E., 1988. Quels paramètres écoéthologiques mesurer ? Et pourquoi, par rapport à l'étude des systèmes d'exploitation. In : "*De la touffe d'herbe au paysage*", séminaire Viens (France) 13-14 Janvier 1983, Hubert B. et Girault N. éds., I.N.R.A., Paris, 121-130.

LEGROS J.-P., PARTY J.-P., DORIOZ J.-M., 1987. Répartition des milieux calcaires, calciques et acidifiés en haute montagne calcaire humide. *Doc. Carto. Ecol.*, Grenoble, vol. XXX, 137-157.

LEMAIRE G., 1985. *Cinétique de croissance d'un peuplement de fétuque élevée pendant l'hiver et le printemps. effets des facteurs climatiques.* Thèse Doct. Etat, Université de Caen, 96 pages.

LEMAIRE G., 1988. Sward dynamics under different management programmes. *Proc. 12th Gen. Meet. Eur. Grassl. Féd.*, Dublin, Irlande, 7-22.

LEMAIRE G., 1991. Productivité des peuplements prairiaux : caractérisation et diagnostic. *Fourrages.*, 127, 259-272.

LEMAIRE G., et ALLIRAND J.M., 1993. Relation entre croissance et qualité de la luzerne : interaction génotype-mode d'exploitation. *Fourrages*, 134, 183-198.

LEMAIRE G., DURAND J.-L., LILA M., 1989a. Effet de la sécheresse sur la digestibilité *in vitro,* la teneur en ADF et la teneur en azote de la luzerne (*Medicago sativa L.*). *Agronomie*, 9, 841-848.

LEMAIRE G., DURAND J.-L., LILA M., 1989b. Effect of water deficit on the quality of lucerne (*Médicago sativa L.*). *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 2, 839-840.

LEMAIRE G., GASTAL F., SALETTE J., 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potentiel yield and optimum N content. *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 1, 179-180.

LEMAIRE G. et SALETTE J., 1981. Conséquences du rythme de croissance de l'herbe sur la conduite du pâturage au printemps. Possibilités de prévision. *Fourrages.*, 85, 25-38.

LEMAIRE G. et SALETTE J., 1982. Analyse de l'influence de la température sur la croissance de printemps de graminées fourragères. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, t. 292, série III, 843-846.

LEMAIRE G., SALETTE J., LAISSUS R., 1982. Analyse de la croissance d'une prairie naturelle normande au printemps. I La production et sa variabilité. *Fourrages.*, 91, 3-16.

LEMEE G., 1967. *Précis de biogéographie.* Masson éd., Paris, 358 pages.

LEMEE G., 1978. *Précis d'écologie végétale.* Masson éd., Paris, 285 pages.

LEVI-STRAUSS C., 1962. *La pensée sauvage.* Plon éd., Paris, 389 pages.

LHOTELLIER H., 1990. *Méthodes de diagnostic et facteurs de variation de la production et de la nutrition des prairies pâturées des Alpes du Nord.* G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, Document technique, 30 pages.

LOISEAU P., 1977. Morphologie de la touffe et croissance de *Nardus stricta L.* Influence de la pâture et de la fauche. *Ann. agron.*, 28(2), 185-213.

LOISEAU P., 1983. Un puissant outil d'amélioration des parcours : le parcage nocturne. *Agronomie*, 3(4), 375-385.

LOISEAU P., 1989. Signification et limite de l'indice de valeur pastorale pour le diagnostic de la valeur agricole des pâturages en moyenne montagne humide. *Colloques phytosociologiques, Phytosociologie et Pastoralisme*, Paris, 1988, 411-428.

LONGCHAMP J.P., 1977. *Etude phytoécologique et essai de typologie des prairies permanentes de l'Auxois.* Thèse de spécialité, Université de Besançon, 123 pages.

LUDER W., 1974. *Influence des conditions climatiques et du peuplement sur le processus de séchage des fourrages.* F.A.T., Documentation de technique agricole, Tänikon, Suisse, N°75.

LUDER W., 1982. *Ermittlung der Erntegelegenheiten und des Verlustrisikos aufgrund von Klimadaten. Dargestellt am Beispiel der Rauhfutterernte.* thèse E.T.H. Zurich, Suisse, 174 pages.

LUDER W., 1982. *Probabilités et risques dus aux conditions atmosphériques. de séchage des fourrages.* F.A.T., Documentation de technique agricole, Tänikon, Suisse, N°197, 6 pages.

LUMARET R. et HANOTTE C., 1987. Mise en évidence d'un écotype de dactyle (*Dactylis glomerata L.*) de pelouses dolomitiques subalpines dans les Grisons (Suisse) : origine et échanges géniques avec les dactyles des prairies adjacentes. *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, vol. 8(22), 1, 3-20.

MARTIN BORRILL Ph. D., F.L.S., 1958. A morphological and genetical study of population differenciation in Cretan *Dactylis*. *J. Linn. Soc. (Bot.)*, 58, 370, 87-93.

MATHIEU A. et VAUBERNIER E. (de), 1988. Physionomic description of sward heterogeneity as an indicator for grazing management diagnosis. *12th Gen. Meet. Eur. Grass. Féd.*, Dublin (Irlande), 312-316.

MATHIEU A. et HAVET A., 1992. Méthode de description des prairies permanentes pâturées en terme d'éléments physionomiques. Exemples en Lorraine et dans les Marais de l'Ouest. *In : "l'extensification en production fourragère"*, Compte-rendu des journées 1992 de l'Association Française pour la Production Fourragère, revue Fourrages, N° spécial, 174-175.

MEERTS P. et VEKEMANS X., 1991. Phenotypic plasticity as related to trampling within a natural population of *Polygonum aviculare* subsp. *aequale*. *Acta Oecologica*, 12 (2), 203-212.

MELET L., LOISEAU P., MERLE G., 1979. Efffet du pâturage par les bovins sur une lande de montagne. *Bull. Techn.* C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 35, 17-26.

MELVIN J.F. et SIMPSON B., 1963. Chemical changes and respiratory drift during the air drying of ryegrass. *J. Sci. Food Agric.*, 14, 228-234.

MERCIER A., 1984. *Possibilités d'intégration de différents systèmes d'utilisation pastorale au Pays d'Enhaut. Première partie : la végétation.* Rapport final, programme national de recherche "M.A.B." du fonds national suisse de la recherche scientifique, station fédérale de recherches agronomiques de Changins, 181 pages.

MEYNARD J.-M. et DAVID G., 1992. diagnostic de l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures*, 1, 9-19.

MINDERHOUD J.W., 1978. Pseudostolons and aerial tillers : morphological phenomena of *Lolium perenne L.*. *7th Gen. Meet. Eur. Grass. Féd.*, Gent, Belgique, 1031-1039.

MISLEVY P., MARTIN F.G., DOWNS B.J., SINGER K.L., 1989. Response of stargrass to grazing management. *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 2, 1017-1018.

MOISAN H., 1988. Perception du territoire et production de référentiels techniques locaux par des agriculteurs. In : "*Pour une agriculture diversifiée*", M. Jollivet éd., L'Harmattan, Paris, 218-224.

MOLINIER R. et VIGNES P., 1971. *Ecologie et biocénotique. Les êtres vivants, leurs milieux, leurs communautés, l'environnement.* Delachaux et Niestlé éds., Neuchâtel, Suisse, 457 pages.

MONTARD F.-X. (de), 1977. Valorisation des déjections animales-fumier-purin-lisier. *Fourrages*, 69, 41-60.

MONTARD F.-X. (de), 1981. L'action des facteurs climatiques sur la croissance de l'herbe. Exemple d'une prairie à *Agrostis tenuis* et *Poa pratensis* des Monts d'Auvergne. *Fourrages*, 85, 39-52.

MONTARD F.-X. (de), 1983. Productivité herbagère des prés et pacages. In : "*La margeride, la montagne, les hommes* ", GACHON L. éd., I.N.R.A., Versailles, 457-473.

MONTARD F.-X. (de), 1987. Calcul simplifié du potentiel de production et des exportations d'azote des prairies. In : "*Agrométéorologie des régions de moyenne montagne*", les Colloques de l'I.N.R.A. N°39, I.N.R.A. éd., Paris, 367-389.

MONTARD F.-X. (de), 1988. Pratique de la fumure de fond, phosphatée et potassique, sur prairies. *Perspectives agricoles*, 127, 103-113.

MONTARD F.-X. (de) et GACHON L., 1978a. Contribution à l'étude de l'écologie et de la productivité des pâturages d'altitude des Monts Dore. I Application de l'analyse factorielle des correspondances à l'analyse de la végétation. *Ann. Agron.*, 29 (3), 277-310.

MONTARD F.-X. (de) et GACHON L., 1978b. Contribution à l'étude de l'écologie et de la productivité des pâturages d'altitude des Monts Dore. II Répartition et extension géographique de faciès de végétation pastoraux. *Ann. Agron.*, 29 (4), 405-417.

MONTARD F.-X. (de) et FLEURY Ph., 1983. Les landes à callune : valeur pastorale. In : "*La margeride, la montagne, les hommes* ", GACHON L. éd., I.N.R.A., Versailles, 475-499.

MORAND D., NIZINSKI J., SAUGIER B., 1989. Adaptation au niveau de disponibilité en azote, en communautés herbacées. Deux exemples : *Anthoxanthum odoratum* L. et *Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Presl var. *vulgare* Koch. *Bull. Ecol.*, t. 20, 1, 73-75.

MORLON P. et BENOIT M., 1990. Etude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système. *Agronomie*, 6, 449-508.

MORLON P., PORQUET F., SERMAGE B., VAUBERNIER E. (de), 1985. Météorologie et croissance printanière de la prairie permanente en Lorraine. *Fourrages.*, 101, 47-83.

MOUSSET C., 1989. Prospection et étude de populations spontanées de dactyle. Conservation de la variabilité génétique. *Fourrages*, 118, 187-196.

MOUSSET C., VOLAIRE F., GHESQUIERE M., 1992. Caractérisation des populations corses de dactyle. Etude de l'adaptation en zone méditerranéenne. *Fourrages.*, 130, 191-209.

MUNIER E. et MORLON P., 1987. Le séchage du foin au champ.I.- Les facteurs physiques du séchage du foin. *Fourrages*, 109, 53-74.

MUTOH N., KIMURA M., OSHIMA Y., IWAKI H., 1985. species diversity and primary productivity in *Miscanthus sinensis* Grasslands. 1)Diversity in relation to stand structure and dominance. *Bot. Mag. Tokio*, 98, 159-170.

NIQUEUX M., et ARNAUD R., 1977. Comparaison de la morphologie et de la composition chimique de fétuques élevées (*Festuca arundinacea Schreb*) cultivées en plaine et en montagne. *Nouvelles des fourrages à l'I.N.R.A.*, S.E.I.-Versailles, 162-164.

NETLAND J., 1984. Growth habit, longevity and vegetative reproduction of different populations of *Poa annua L. 10th Gen. Meet. Eur. Grassl. Féd.*, Norway, 226-230.

NOITSAKIS B., 1984. Relations hydriques chez *Dactylis glomerata* et *Dichanthium ischaemum* cultivés sous deux régimes hydriques contrastés. *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, vol. 5(19), 1, 75-88.

NOY-MEIR I. et van der MAAREL E., 1987. Relations between community theory and community analysis in vegetation science : some historical perspectives. *Vegetatio*, 69, 5-15.

ODUM E.P., 1962. *Vocabulaire d'écologie.* Hachette éd., Paris, 273 pages.

OGDEN J., 1973. The reproductive strategy of higher plants. II. The reproductive strategy of *Tussilago farfara L.*. *J. of Ecol.*, 62, 1, 291-324.

O'NEILL R.V., DE ANGELIS D.L., WALDE J.B., ALLEN T.F.H., 1986. *A hierarchical concept of ecosystems.* NJ Press, Princeton University éd., 253 pages.

OSTY P.-L., 1974. Comment s'effectue le choix des techniques et des systèmes de production ? Cas d'une région herbagère dans les Vosges. *Fourrages.*, 59, 53-69.

OZENDA P., 1954. La température, facteur de répartition de la végétation en montagne. Les divisions écologiques du monde. *Année Biol.*, 31, 295-312.

OZENDA P., 1985. *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen.* Masson éd., Paris, 331 pages.

PAGES J., 1976. Contribution de quelques techniques simples d'analyse des données à l'étude dynamique des populations végétales. C.R. Table ronde C.N.R.S. "*écosystèmes bocagers*", Rennes, 519-526.

PEETERS A. 1989. *Techniques d'exploitation, végétation et qualité alimentaire de l'herbe : étude de leurs relations triangulaires dans les systèmes herbagers.* Thèse Doct. Sc. Agro., Fac. Sc. Agro. Université catholique de Louvain, Belgique, 2 tomes, 287 pages + annexes 237 pages.

PEETERS A. et LAMBERT J., 1989a. Productivité et qualité du fourrage de première coupe des prairies à *Anthriscus sylvestris.* Comparaison avec celles des graminées. *Communication au VIème colloque du sous-réseau F.A.O. des herbages de montagne,* Cracovie, Pologne) doc. mult., 10 pages.

PEETERS A. et LAMBERT J., 1989b. Les prairies permanentes de fauche de l'Est de la Belgique. *Colloques phytosociologiques, Phytosociologie et Pastoralisme,* Paris, 1988, 16, 249-269.

PEETERS A. et LAMBERT J., 1990. Application agronomique d'une typologie des prairies intensives. *Fourrages.*, 124, 357-370.

PELLOT P. et GALLET A., 1967. Effets de l'azote sur la vie des talles de dactyle. *Fourrages.*, 32, 10-28.

PETIT M., 1975. L'adoption des innovations techniques par les agriculteurs. Plaidoyer pour un renouvellement de la théorie économique de la décision. *Pour,* 40, 79-91.

PETIT M., 1981. Théorie de la décision et comportemement adaptatif des agriculteurs. In : "*formation des agriculteurs et apprentissage de la décision*", Actes de la journée d'études du 21 Janvier 1981, Dijon, E.N.S.S.A.A., I.N.P.S.A., I.N.R.A., I.R.A.P., 1-36.

PHILIPPOT I. et FLEURY Ph., 1988. *Séchage des foins et pertes durant la fenaison.* G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, Document technique N°3, 97 pages.

PLANCQUAERT P., 1975. La fertilisation azotée des prairies. *Fourrages,* 62, 95-117.

PLANTUREUX S., 1983. *Incidence des techniques agronomiques sur la composition floristique et la physionomie d'un échantillon de prairies du secteur Ouest du département des Vosges.* Thèse Doct. Ing., Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 167 pages + annexes.

PLANTUREUX S., BONISCHOT R., GUCKERT A., 1987. Effet des techniques d'intensification sur l'évolution de la végétation des prairies permanentes lorraines. *Acta Oecol., Oecol. Applic.*, 8(3), 229-246.

PLANTUREUX S., BONISCHOT R., GUCKERT A., 1989. Typologie des prairies permanentes du plateau lorrain. *XVI Cong. Int. des herbages,* Nice, France, 2, 1405-1406.

PLANTUREUX S., BONISCHOT R., GUCKERT A., 1992. Utilisation d'une typologie des prairies permanentes du Plateau Lorrain pour le diagnostic agronomique. *Fourrages*, 132, 381-394.

POISSONNET P. et J., 1969. *Etude comparée de diverses méthodes d'analyse de la végétation des formations herbacées denses et permanentes. conséquences pour les applications agronomiques.* C.N.R.S., C.E.P.E., Montpellier, Doc. N°50, 120 pages.

PONS Y., CAPILLON A., DAMOUR L., LAFON E., 1989. Intensification des prairies des Marais de l'Ouest. I Conception d'une expérimentation multilocale. *Fourrages.*, 120, 351-366.

PONS Y. et LAFON E., 1991. comment déterminer les facteurs limitants d'une prairie au printemps ? Cas des Marais de l'Ouest. *Fourrages.*, 125, 19-28.

PONS Y., LEMAIRE G., LAFON E., SALETTE J., 1991. Intensification des prairies des Marais de l'Ouest. II Fertilisation et méthodes de diagnostic de la nutrition minérale. *Fourrages.*, 120, 367-381.

PRITCHARD G.I., FOLKINS L.P., PIGDEN W.J., 1963. The in vitro digestibility of whole grasses and their parts at progressive stage of maturity. *Can. J. Plant Sci.*, 43, 79-87.

PROGRAMME DE RECHERCHE-DEVELOPPEMENT MASSIF-CENTRAL, 1992. *Fertilisation azotée des prairies.* Réalisation : P BONNET, appui scientifique : MONTARD F.-X. de, CAPITAIN M., Chambre Régionale d'Agriculture Rhône-Alpes éd., Lyon, 21 pages + annexes.

RAPHALEN J.-L., 1989. Les repousses de printemps du ray-grass-anglais se suivent mais ne se ressmblent pas. In : " *réponses Fourrages. 1989*", *Cultivar*, Hors série, Juin, 6-7.

REBISCHUNG J., 1953. Etudes sur la variabilité des populations naturelles françaises de dactyle. *Ann. Amél. Pl.*, III, 311-349.

REBISCHUNG J., 1961. Le dactyle est-il une bonne plante fourragère ? *Fourrages.*, 7, 3-16.

REBISCHUNG J., 1962. Etudes sur la croissance et le développement du dactyle (*Dactylis glomerata L.*). *Ann. Amél. Pl.*, 12(3), 175-196.

REBOULET A.M., SABATIER R., LESPINASSE Ph., 1992. *Analyses des correspondances avec une ou deux contraintes avec le logiciel BIOMECO.* AVENIX , C.N.R.S. Biométrie, Montpellier, doc. mult., 51pages.

REYTENS H. et ANDRIES A., 1953. Botanish grass Landonder zoek België. Travaux du Centre National de Recherches herbagères et fourragères, 9, 13-52.

RICHARD L., avec la participation de DORIOZ J.-M., FLEURY Ph., STALLAERTS M., TONNEL A., 1983. Nouvelles données pour la zonation écologique des Alpes du Nord occidentales et contribution à la notice de la carte écologique à 1/50.000 "Saint-Gervais". *Doc. carto. écol.*, Grenoble, XXVI, 83-116.

RICHARD L et PAUTOU G., 1982. *Carte de la végétation de la France au 1/200000 Alpes du Nord et Jura méridional. Notice détaillée des feuilles 48 Annecy et 54 Grenoble.* C.N.R.S. éd., Paris, 315 pages.

RICHARD L. et TONNEL A., 1987. Contribution à l'étude des vallées internes des Alpes occidentales. Première partie : originalité du milieu et quelques conséquences biologiques. *Doc. Carto. Ecol.*, Grenoble, Vol. 30, 113-136.

RICO RODRIGUEZ M., OUERTO MARTIN A., GOMEZ GUTIERREZ J.M., 1979. Tipificacion de pastizales semiaridos en funcion de sus especies dominantes. *Pastos*, 9, 5-14.

ROUMET J.P. et FLEURY Ph., 1992. *Typologie des prairies de fauche des vallées internes des Alpes du Nord.* G.I.S. Alpes du Nord, Chambéry, Document 92-13, 100 pages.

ROUSVOAL D. et GALLAIS A., 1973. Comportement en association binaire de cinq espèces d'une prairie permanente. *Oecol. Plant.*, 8(3), 279-300.

ROY J., 1982. Intraspecific variation in the physiological characteristics of perennial grasses of the Méditerranean region. In : "*Définition et localisation des écosystèmes méditerranéens terrestres*", Saint Maximin, 16-20 Novembre 1981, *Ecologia Méditerranea*, t. 8, fasc. 1/2,435-448.

ROYBIN D., 1985. *Diversité et évolution de l'activité des exploitations agricoles du pays de Thônes. Contraintes, atouts et perspectives du developpement d'une petite région de montagne.* I.N.R.A.-S.A.D. Versailles, Chambre d'Agriculture Haute-Savoie, A.R.E.E.A.R. Rhône-Alpes, Doc. ronéo, 164 pages + annexes.

RUSSEL D.B., ISON R.L., GAMBLE D.R., WILLIAMS R.K., 1991. *Analyse critique de la théorie et de la pratique de vulgarisation rurale en Australie.* Traduit de l'Anglais par BONNEVAL L. (de) et HENTGEN A., (A critical Review of Rural Extension Theory and Practice). U.R.S.A.D. Versailles-Dijon-Mirecourt, I.N.R.A., Doc. de travail, N°1, 79 pages.

RYKIEL E.J.Jr., 1985. Towards a definition of ecological disturbance. *Australian Journal of Ecology*, 10, 361-365.

SABATIER R., LEBRETON J.D., CHESSEL D., 1989. Principal component analysis with instrumental variables as a tool for modelling composition data. In : " *Multiway Data Analysis*", R. coppi and S. Bolasco éds., Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland, 341-352.

SALETTE J. et HUCHE L., 1989. The diagnosis of grassland mineral nutrient status through herbage analysis. *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 1, 65-66.

SALETTE J. et HUCHE L., 1991. Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse du végétal : principes, mise en oeuvre, exemples. *Fourrages.*, 125, 3-18.

SALETTE J. et LEMAIRE G., 1981. Sur la variation de la teneur en azote des graminées fourragères pendant leur croissance : formulation d'une loi de dilution. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 292, 875-878.

SCEHOVIC J., 1988. Métabolites secondaires de quelques plantes de prairies. *Recherche agronomique en Suisse*, 27(2), 153-165.

SCEHOVIC J., 1991. Considérations sur la composition chimique dans l'évaluation de la qualité des fourrages des prairies naturelles. *Revue suisse Agric.*, (5), 305-310.

SCEHOVIC J. et JEANGROS B., 1989. Constituants pariétaux et métabolites secondaires. In : "*Erhaltung von artenreichen Wiesen*", Programme national de Recherche. Utilisation du sol en Suisse, Liebefeld, Bern, 51-57.

SCHECHTNER G., 1978. Botanical problems on heavily fertilizéd. meadows in Austria. Proc. *7th Gen. Meet. Eur. Grassl. Féd.*, Gent, Belgique, 8, 43-53.

SCHLICHTING C.D., 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 667-693.

SCHLICHTING C.D., 1989. Phenotypic integration and environmental change. What are the consequences of differential phenotypic plasticity of traits ? *Bioscience*, Vol. 39, 7, 460-464.

SEBILLOTTE M., 1966. Rotations et assolements. *Revue Agricole de France*, spécial fertilisation, 52, 2-18.

SEBILLOTTE M., 1974. Agronomie et Agriculture. essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, série Biologie, 24, 3-25.

SEBILLOTTE M., 1978a. La collecte des références et les progrès de la connaissance agronomique. In : "*Exigences nouvelles pour les systèmes de culture : les systèmes de culture pourront-ils s'adapter ?* ", BOIFFIN J., HUET Ph., SEBILLOTTE M. éds., I.N.A.-P.G., Paris, 466-496.

SEBILLOTTE M., 1978b. Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *C.R. Acad. Agric., Fr.*, 64(11), 906-914.

SEBILLOTTE M. et SOLER L.G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs. In : "*Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*". BROSSIER J., VISSAC A., LE MOIGNE J. éds., I.N.R.A., Paris, 93-117.

SIMON J.C. et LEMAIRE G., 1987. Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase. *Grass and Forage Sci.*, 42, 373-380.

SOSTARIC K. et KOVACEVIC J., 1974. La "méthode complexe" pour la détermination de la qualité et de la valeur globale des herbages et des prairies temporaires. *Fourrages*, 60, 3-25.

SPATZ G., 1991. Vegetationsdynamik von Alpweide-Gesellschaften in Abhängigkeit von Bewirtschaftung, insbesonderer der Nährstoffversorgung im Boden. *Communication au VIIème colloque du sous-réseau F.A.O. des herbages de montagne*, Changins, Suisse, doc. mult., 17 pages.

SUGIYAMA S., KUSUTANI A., TAKAHASHII N., GOTOH K., 1985. Relationship between productivity and canopy structure during reproductive growth stage in *Dactylis glomerata*and *Festuca pratensis*and *Festuca arundinacea*. *Proc. XV Int. Grassl. Cong.*, Kyoto, Japon, 426-428.

TER BRAAK C.J.F., 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, 69, 69-77.

TILMAN D., 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press éd., Princeton.

TEILHARD de CHARDIN B. et JEANNIN B., 1984. La rénovation des prairies permanentes dans l'Est de la France. *C.R. Forum des Fourrages de l'Est*, Nancy, 21-22 Février 1984, 118-131.

THEAU J.P. et GIBON A., 1993. Mise au point d'une méthode pour le diagnostic des systèmes fourragers. Application aux élevages bovin viande du Couserans. In : "*Pratiques d'élevage extensif, identifier, modéliser, évaluer*", Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, I.N.R.A., Versailles, 27, 323-350.

THOMPSON N., 1981. Modelling the field drying of hay. *Journ. of agric. science*, Vol. 97, 2, 241-260.

TILLEY J. A. et TERRY R. A., 1963. A two technique for *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.*, 18, 104-111.

TOMASSONE R., LESQUOY E., MILLIER C., 1983. *La régression : nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique*. Collection I.N.R.A. actualités scientifiques et agronomiques N°13, Masson éd., Paris, 180 pages.

TRANCHEFORT J., 1974. *La régression. Application à l'agronomie*. I.T.C.F. éd., Paris, 178 pages.

TROCHAIN J., 1954. Nomenclature et classification des milieux végétaux en Afrique noire française. In : "*Les divisions écologiques du Monde*". Colloque C.N.R.S., Paris, 73-93.

TROXLER J., 1989a. Valeur agronomique et nutritive des prairies naturelles de montagne. I. Dynamique de la végétation et de la productivité. *Communication au VIème colloque du sous-réseau F.A.O. des herbages de montagne*, Cracovie, Pologne, doc. mult., 14 pages.

TROXLER J., 1989b. Valeur agronomique et qualité de quelques dicotylédones. *Communication au VIème colloque du sous-réseau F.A.O. des herbages de montagne*, Cracovie, Pologne, doc. mult., 25 pages.

TSCHANNEN W., 1982. *Eine Methode zum Untersuchen des Trocknungsverhaltens von Futterpflanzen. de séchage des fourrages.* Documentation de la station de Tänikon, Suisse, 34 pages.

TURKINGTON R. et HARPER J.L., 1979a. The growth, distribution and neighbour relationships of *Trifolium repens* in a permanent pasture. I. Ordination, pattern and contact. *Journal of Ecology*, 67, 201-218.

TURKINGTON R. et HARPER J.L., 1979b. The growth, distribution and neighbour relationships of *Trifolium repens* in a permanent pasture. II. Inter- and intra-specific contact. *Journal of Ecology*, 67, 219-230.

TUTIN T.G., HEYWOOD V.H., BURGES N.A., MOORE D.M., VALENTINE D.H., WALTERS S.M., WEEB D.A., 1964 à 1980. *Flora Europea.* Cambridge Univ. Press. éd., Vol. 1 à 5, 465, 455, 370, 505, 452 pages.

THOMMEN E., 1980. *Atlas de poche de la flore suisse.* Birkhäuser éd., Bâle, Suisse, 4ème édition, 303 pages

VAN DIJK G.E., 1955. The influence of sward-age and management on the type of tymothy and cocksfoot. *Euphytica*, 4, 83-93.

VAN DER MAAREL E., 1988. Vegetation dynamics : patterns in time and space. *Vegetatio*, 77, 7-19.

VAN OORT F. et DORIOZ J.-M., 1982. *Les sols sous prairie et alpage du Beaufortain.* I.N.R.A. Science du Sol, Versailles, doc. mult., 47 pages.

VERTES F., 1983. *Contribution à l'étude phytosociologique et écologique des prairies et alpages de moyenne Tarentaise.* thèse Doct. Ing. I.N.A. Paris Grignon, 167 pages + annexes.

VERTES F., 1989. Effets du piétinement des bovins sur le trèfle blanc pur ou en association. *XVI Cong. Int. des herbages*, Nice, France, 2, 1063-1064.

VERTES F., LE CORRE L., SIMON J.-C., RIVIERE J.-M., 1988. Effets du piétinement de printemps sur un peuplement de trèfle blanc pur ou en association. *Fourrages.*, 116, 347-366.

VIVIANI ROSSI E.M., THEAU J.P., GIBON A., DURU M., 1992. Diagnostic des systèmes fourragers à partir d'une enquête : méthodologie et application à la constitution des stocks fourragers dans le Couserans. *Fourrages*, 130, 123-147.

VIVIER M., 1971. *Les prairies permanentes du Bessin et du Pays d'Auge.* Thèse Doct. Univ. Caen, Sciences, 363 pages + annexes.

VIVIER M., 1984. Elements de réflexion sur les critères d'appréciation des prairies permanentes. *Fourrages.*, 98, 3-17.

VIVIER M. et BAUDRY J., 1988. *Fermes herbagères et prairies de l'Isthme du Cotentin.* I.N.R.A.-S.A.D. Lieury, St Pierre sur Dives, doc. ronéo., 217 pages.

VOLAIRE F., 1989. *Etude phyto et agro-écologique des formations herbacées de Corse.* Thèse de Doct. Univ. Sciences et Techniques du Languédoc, Physiologie et Biologie des Organismes et des Populations, 154 pages.

VRIES D.M. (de), 1949. Botanical composition and ecological factors. *V Int. Grassld. Cong.*, Netherland, 133-140.

VRIES D.M. (de) et de BOER T.A., 1959. Methods used in botanical grassland research in the Netherlands and their application. *Herbage abstracts*, 29, 1-7.

WADE M.H., 1991. *Factors affecting the availability of vegetative Lolium perenneto grazing dairy cows with special reference to sward characteristics, stocking rate and grazing method.* Thèse Doct., Université de Rennes, Sciences Biologiques, 57 pages + annexes.

WALTER H., 1960. *Grundlagen der Pflanzenverbreitung. III Standortlehre.* Ulmer éd., Stuttgart (Allemagne), 2ème édition, 566 pages.

WEISS Ph. et DEMARQUILLY C., 1970. Valeur alimentaire des fourrages verts. *Fourrages.*, 42, 3-22.

WHITTAKER R.H., 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biological review*, 42, 207-264.

WILMAN D., 1975. Nitrogen and italian ryegrass.1 : Growth up to 14 weeks : dry matter yield and digestibility. *J. ofBritish Grass. Soc.*, 30, 141-147.

WILMAN D., 1989. The growth of white clover (*Trifolium repens L.*) in field swards in wales. A review. *XVI Int. Grassl. Cong.*, Nice, France, 2, 1039-1040.

WILMAN D. et OWEN G., 1982. Effects of stage of maturity, nitrogen application and swath thickness on the field drying of herbage to the hay stage. *J. agric., Camb.*, 99, 577-586.

WILSON D. et LEMAIRE G., 1992. Ecophysiology of grassland yield formation. *Proc. 14th Gen. Meet. Eur. Grassl. Féd.*, Lahti, Finland, 46-59.

YU O. et GOUNOT M., 1981. Recherches sur le tallage chez le dactyle (*Dactylis glomerata*L.). I-Etude expérimentale de l'effet de l'azote sur le tallage. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, Vol. 2 (16), 4, 351-365.

ZANGIACOMI L., 1979. *Contribution à l'étude de la prairie permanente en Lorraine. typologie et potentialités fourragères.* Thèse E.N.S.A.I.A., Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 93 pages + annexes.

ZIEGLER D. et VIAUX P., 1982. *Valeur fertilisante des engrais de ferme.* I.T.C.F., Paris, 24 pages.

LOGICIELS DE STATISTIQUES ET D'ANALYSE DES DONNEES :

ADDADSAS (AFC, CAH)

BIOMECO (AFC, AFCVI)

SAS (régressions, analyses de variance et de covariance)

STATITCF (régressions)

ANNEXES

ANNEXE 1

FONCTIONS DES SURFACES FOURRAGERES DANS LES ALPES DU NORD

A) FONCTIONS PARCELLAIRES DE PRODUCTION DANS LES PRAIRIES PATUREES

A) Vaches laitières et animaux de renouvellement

Fpat 1 : "Le troupeau ne doit pas attendre l'herbe"

Définition : la demande pour les animaux est forte, difficile à satisfaire, la fonction du couvert est d'assurer une production d'herbe régulière, abondante et de qualité, dès le début du printemps et tout au long de la saison. Les coûts et les risques acceptés sont élevés.

Mode de conduite : pâturage tournant intensif : la charge est forte, les temps de repousses courts, la gestion du manque d'herbe se fait par l'augmentation de la surface (regains des prairies de fauche) ou par la distribution de foin et/ou de concentrés (alpage du Pays de Thônes).
L'azote est utilisé pour accroître la pousse de l'herbe plus que pour la gérer.
Exemple de conduite : 4 à 5 pâtures rationnées dans la saison, fauche des refus si nécessaire pour la maîtrise des épis, fertilisation organique, azote minéral après le pâturage.

Critères d'aptitude essentiels :

- capacités de pousse et de repousse et régularité de la croissance,
- qualités alimentaires élevées pour l'ensemble de la saison,
- résistance au piétinement

Fpat 2 : "L'herbe doit pouvoir attendre le troupeau"

Définition : la demande pour les animaux est facilement couverte et l'évolution des chargements impose que l'on ne suive pas forcément la pousse de l'herbe. Le couvert a pour fonction d'assurer une production d'herbe régulière et de qualité à faible risque (souplesse) et coût limité.

Mode de conduite : pâturage tournant 1/2 intensif : la charge est moyenne, le temps de repousse est long, il y a peu d'exigence de précocité. La gestion du manque d'herbe se fait par augmentation des surfaces (regains des prairies de fauche, pâturages d'altitude) uniquement à partir d'Août.
La fertilisation est limitée, elle est apportée dans un objectif d'entretien avec comme souci d'augmenter ou tout au moins de ne pas réduire la souplesse de l'herbe.
Un cas extrême dans les alpages largement dimensionnés fournissant avec peu d'entretien et de fertilisation de l'herbe en abondance jusqu'à mi-Août.
Exemple de conduite : 3 pâtures dans la saison, fertilisation organique ou minérale faible, entretien et travaux faibles (peu de rationnement, pas de fauche des refus). Extrême en alpage, pâturage plus ou moins libre avec 1 ou 2 passages dans la saison avec très peu d'entretien et de fertilisation

Critères d'aptitude essentiels :

- souplesse d'utilisation : maintien de la valeur nutritive et de l'appétibilité même sur de l'herbe âgée,
- pas de croissance explosive.

Fpat 3 : "De l'herbe en été"

Définition : l'ajustement entre l'offre fourragère et la demande pour les animaux se fait par rapport au creux estival (en allant même jusqu'à la prévision d'un déficit marqué du fait d'une sécheresse). Le couvert a pour fonction d'assurer une production d'herbe, même de qualité moyenne, avec un creux estival faible, à faible coût et risque limité.

Mode de conduite : la charge est moyenne, les temps de repousses sont longs, il n'y a pas d'exigence de précocité. Les possibilités de décharge sont faibles voire nulles.
La fertilisation apportée dans un objectif d'entretien n'est pas utilisée pour gérer la pousse de l'herbe.
Exemple de conduite : 3 à 4 pâtures rationnées dans la saison, pas de fauche des refus (stocks sur pied), fertilisation organique, gaspillage d'herbe ou faible consommation acceptée au printemps (pour couvrir la surface et augmenter la qualité de la ration prélevée)

Critères d'aptitude essentiels :
répartition saisonnière homogène de la production,
faible sensibilité à la sécheresse estivale.

Fpat 4 : "On l'a toujours sous la main"

Définition : le couvert a pour fonction d'assurer une alimentation à certaines périodes imprévues et de courte durée, il doit assurer une production d'herbe continue avec des conditions d'utilisation non planifiables. Les coûts sont variables, les risques acceptés sont limités.

Mode de conduite : la charge instantanée peut-être forte, le pâturage est intermittent, il y a une exigence de précocité.
L'utilisation n'est pas déterminée par l'herbe disponible, parcelle clé du système, peu remplaçable, souvent matraquée elle fait l'objet cependant de soins.
Exemple de conduite : parcelle proche de l'exploitation utilisée en parc de nuit pour les laitières à certaines périodes, parc de surveillance pour certains animaux, parc d'urgence, fertilisation organique et/ou minérale.

Critères d'aptitude essentiels :
- capacités de pousse et de repousse,
- répartition homogène saisonnière de la production,
- résistance au piétinement.

B) Animaux de renouvellement et/ou hors période de production laitière

Fpat 5 : "A manger et pas d'épines"

Définition : la fonction du couvert est d'assurer l'entretien des animaux tout en maintenant l'intégrité de la couverture herbacée, à moindre coût et risque faible. L'ajustement entre l'offre et la demande pour les animaux est peu géré.

Mode de conduite : la charge est faible, les temps de repousse sont longs, l'exigence de précocité est faible.
Les animaux sont sortis de la parcelle quand il n'y a plus d'herbe, au moins une fois par an on essaie de leur faire "racler" la végétation.
Exemple de conduite : 2 à 3 pâtures par an avec temps de séjour de plus de 15 jours, pas de fertilisation, surveillance de l'enfrichement.

Critères d'aptitude essentiels :
- consommation et appétibilité correctes,
- dynamique de la végétation.

Fpat 6 : "Elles auront toujours assez à manger"

Définition : le couvert a pour fonction d'assurer l'entretien des animaux à moindre coût et risque limité. Dans une logique de "cueillette" le maintien d'une couverture herbacée n'est pas une nécessité. L'ajustement entre l'offre et la demande pour les animaux n'est pas géré.

Mode de conduite : la charge est très faible, les temps de repousse sont longs, il n'y a pas d'exigence de précocité.
La diminution de la production de la parcelle peut- être compensée par un recours facile à de nouvelles parcelles.
Les animaux sont sortis de la parcelle quand il faut aller ailleurs (montée en alpage, mise à l'étable).
Exemple de conduite : 1 pâture longue au printemps et en automne. Pas de fertilisation ni d'entretien, clôture parfois incomplète de la parcelle.

Critères d'aptitude essentiels :

- consommation et appétibilité correctes au moins sur certaines zones.

B) FONCTIONS PARCELLAIRES DE PRODUCTION DANS LES PRAIRIES MIXTES FAUCHEES ET PATUREES

Fmix 1 : "De l'herbe au printemps et en automne"

Définition : la fonction principale est d'assurer l'alimentation des animaux en période intermédiaire avant et après l'alpage. La fonction secondaire est de contribuer à la constitution de stocks pour l'hiver. Coûts et risques acceptés restent limités.

Mode de conduite : la charge instantanée est forte, les temps de repousse sont longs, la 1ère pâture n'est pas très précoce (date de mise à l'herbe réglée par la date de montée en alpage), risques de piétinement au printemps.
La fauche estivale est secondaire, elle a surtout comme objectif d'assurer la repousse d'une herbe de qualité pour l'automne. A l'extrême, elle peut être remplacée par un broyage, ou pratiquée certaines années seulement.
Exemple de conduite : pâture mi précoce, fauche, pâture d'automne, fertilisation organique après la première pâture, pâturage rationné.

Critères d'aptitude essentiels :

- répartition saisonnière de la production, avec herbe disponible au printemps et à l'automne,
- maintien de la qualité sur de vieilles repousses d'automne.

Fmix 2 : "De l'herbe en inter-saisons, du foin en été"

Définition : la fonction du couvert est d'assurer l'alimentation des animaux en période intermédiaire avant et après l'alpage et surtout de contribuer à la constitution de stocks de qualité pour l'hiver. Coûts et risques acceptés importants. A l'extrême le pâturage peut avoir comme fonction essentielle d'améliorer la qualité du foin récolté.

Mode de conduite : la charge instantanée est moyenne à forte, les temps de repousse sont courts, exigence de précocité, risque de piétinement au printemps.
La date de pâture de printemps est conditionnée par l'état de l'herbe, les fauches aussi, elles ont un rôle important dans la constitution des stocks (qualité du fourrage récolté).
Exemple de conduite : pâture, pâture, fauche, fauche, pâture, fertilisation organique, azote minéral.

Critères d'aptitude essentiels :

- aptitude à la pousse et aux repousses,
- qualités alimentaires élevées pour l'ensemble de la saison,
- résistance au piétinement.

Fmix 3 : "Du foin pour le lait et de l'herbe en été"

Définition : la fonction du couvert est de contribuer à la constitution de stocks hivernaux de qualité et surtout de permettre l'agrandissement de la surface pâturée à partir de fin Juillet

Mode de conduite: exigence d'une pousse rapide au printemps et temps de repousse courts, en pâture charge moyenne à élevée.
La fauche a un rôle important dans la constitution des stocks (qualité du fourrage récolté) mais elle est décidée pour permettre une extension rapide du pâturage.
Exemple de conduite : fauche précoce, 3 à 4 pâtures rationnées, fertilisation organique, azote minéral après la 1ère coupe.

Critères d'aptitude essentiels :

- aptitude à la pousse et aux repousses,
- qualités alimentaires élevées durant le premier cycle et les repousses,
- récoltabilité des fourrages à stocker (modifications faibles et séchage rapide).

Fmix 4 : "Le bon foin de Juillet et de l'herbe en été"

Définition : fournir un fourrage sec de qualité correcte, la quantité étant plus secondaire à coût moyen et faible risque et permettre l'agrandissement de la surface pâturée à partir de mi-Août voir un peu plus tard

Mode de conduite: pas d'exigence d'une pousse rapide au printemps, temps de repousse assez longs , en pâture charge moyenne à faible.
La fauche a un rôle important dans la constitution des stocks (quantité de foin) mais elle n'est pas décidée pour permettre une extension rapide du pâturage.
Exemple de conduite : fauche tardive, 2 à 3 pâtures rationnées, fertilisation organique modérée pas d'azote minéral.

Critères d'aptitude essentiels :

- chute lente de la valeur nutritive durant le premier cycle et les repousses,
- récoltabilité des fourrages à stocker (modifications faibles et séchage rapide),
- souplesse d'utilisation (maintien de l'appétibilité de l'herbe pour les pâtures).

Fmix 5 : "Du foin dans la grange et de l'herbe en fin d'été"

Définition : fournir du fourrage sec en quantité, la qualité étant secondaire, à faible coût et faible risque et permettre l'agrandissement de la surface pâturée à partir de fin Août début Septembre

Mode de conduite: pas d'exigence d'une pousse rapide au printemps, temps de repousse assez longs , niveau de charge moyen à faible en pâture.
La fauche a un rôle important dans la constitution des stocks (quantité de foin) mais elle n'est pas décidée pour permettre une extension rapide du pâturage.
Exemple de conduite : fauche tardive, 1 à 2 pâtures rationnées, fertilisation organique modérée pas d'azote minéral.

Critères d'aptitude essentiels :

- biomasse récoltée ,
- souplesse d'utilisation (maintien de la valeur nutritive et de l'appétibilité l'herbe sur des repousses agées).

C) FONCTIONS PARCELLAIRES DE PRODUCTION DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE

Ffoin 1 : "Du foin dans la grange"

Définition :fournir du fourrage sec en quantité, la qualité étant secondaire, à faible coût et faible risque : limitations du nombre d'opérations techniques (fertilisation organique, pas d'engrais), pas de fauche précoce exigeante en matériel et à fort risque climatique,

Mode de conduite : utilisation en fauche dominante avec fauche tardive du premier cycle et apports souvent élevés de fertilisation organique.
Exemple de conduite : fauche tardive, regain, pâture d'automne ; fertilisation organique importante tous les ans ou tous les 2 ans ; foin séché au sol avec fanages violents.

Critères d'aptitude essentiels :

- biomasse récoltée,
- maintien d'un seuil minimum de valeur du foin.

Ffoin 2 : "Un bon petit foin de pays"

Définition :fournir un fourrage sec de qualité correcte, la quantité étant secondaire à faible coût et faible risque : réduction maximale du nombre d'opérations, fauche tardive

Mode de conduite : très extensif, avec nombre d'interventions minimales tant du point de vue des apports de fertilisation que de celui des pratiques de fenaison.
Exemple de conduite : fauche tardive, regain (rare) ou pâture d'automne ; pas de fertilisation; foin séché au sol avec fanages manuels ou engins peu violents (moto faneuse).

Critères d'aptitude essentiels :

- chute lente de la valeur nutritive durant le premier cycle,
- ne pas se situer au dessous d'un seuil minimum de biomasse permettant la fauche.

Ffoin 3 : "Le bon foin de Juillet"

Définition :fournir un fourrage sec de qualité correcte, la quantité étant plus secondaire à coût moyen et faible risque : augmentation du nombre d'opérations pour la fertilisation et l'entretien mais pas de fauche précoce ni de coupes nombreuses

Mode de conduite : ni intensif, ni extensif, avec apports moyens de fertilisation et fauche non très tardive.
Exemple de conduite : fauche moyenne à tardive, regain, pâture d'automne ; fertilisation organique modérée à moyenne tous les ans ou tous les 2 ans, éventuellement apports légers d' engrais phosphorique et ou potassique ; foin séché au sol avec fanages mécaniques.

Critères d'aptitude essentiels :

- chute lente de la valeur nutritive durant le premier cycle,
- accéder à un rendement moyen pour le premier cycle et le regain.

Ffoin 4 : "Du foin pour le lait"

Définition :fournir un fourrage sec abondant et de qualité en acceptant un coût important mais un risque limité : nombre d'opérations pouvant être importants mais limitation du risque au printemps (pluie) et même en été (sécheresse)

Mode de conduite : intensif, mais volonté de limiter la prise de risque climatique en ne recherchant pas au printemps une croissance imposant une fauche très précoce.
Exemple de conduite : déprimage, fauche moyennement précoce, regain, pâture; fertilisation organique importante tous les ans à 2 fois par an, apports légers d'engrais phosphorique et potassique,

ammonitrate pour les repousses si la parcelle ne craint pas le sec ; foin séché au sol ou en grange avec engins de fanage rapides (faneuse à toupies, faucheuse conditionneuse).

Critères d'aptitude essentiels :
- croissance assez rapide et valeurs alimentaires élevées des fourrages verts,
- vitesse de séchage rapide et modifications faibles durant la fenaison.

Ffoin 5 : "Du foin pour le lait sinon rien"

Définition :fournir un fourrage sec abondant et de qualité en acceptant un coût et un risque élevés: nombre d'opérations importants et prise de risques.

Mode de conduite : très intensif, avec des pratiques de fertilisation entraînant une croissance rapide imposant une fauche très précoce.
Exemple de conduite : fauche précoce, regain, 3ème coupe, pâture ; fertilisation organique importante tous les ans à 2 fois par an, apports légers d'engrais phosphorique et potassique, souvent ammonitrate sur les repousses ; foin séché en grange avec engins de fanage rapides (faneuse à toupies, faucheuse conditionneuse).

Critères d'aptitude essentiels :
- croissance rapide et valeurs alimentaires élevées des fourrages verts,
- modifications faibles durant la fenaison et vitesse de séchage rapide.

PRECISIONS SUR LES NOTIONS DE COUTS ET DE RISQUES UTILISEES DANS LA LISTE DES FONCTIONS

Dans la notion de coût interviennent à la fois les coûts monétaires (engrais, carburants, matériel de fenaison et de fertilisation) et le temps de travail (nombre d'opérations techniques sur la parcelle, exigences de ces opérations en technicité et en ponctualité).

La notion de risque se définit par l'incertitude de réalisation des objectifs. **Le risque est fort quand les décisions sont prises par rapport à des prévisions de pousse de l'herbe ou d'effet des pratiques, par opposition à des décisions prises sur des états instantanés de l'herbe.**

En prairie de fauche, par exemple, la prise de risque concerne essentiellement le choix d'une période de fenaison et l'application d'une fertilisation accélérant la pousse de l'herbe. Le risque climatique est fort dans le cas d'une fauche précoce en Mai et Juin compte tenu de la répartition saisonnière des séquences favorables au séchage du foin plus rares et plus courtes durant cette période qu'en Juillet (GRANGER et al., 1990). L'application d'une fertilisation azotée présente deux types de risques : celui de ne pas pouvoir récolter le surplus de production dans le cas d'un apport printanier suivi d'une période pluvieuse au moment de l'épiaison des graminées d'une part et d'autre part celui, plus rare, de ne pas valoriser cette fertilisation si l'apport a lieu durant la période estivale juste avant une période sèche.
Dans les prairies pâturées, la prise de risque concerne l'ensemble de la gestion du pâturage et peut se traduire soit par un manque d'herbe soit par un excès entraînant gaspillage. L'application d'une fertilisation, la modification de la charge par ouverture de surfaces ou mouvements d'animaux, la vitesse de rotation du pâturage sont donc toutes des décisions entraînant une prise de risque plus ou moins forte, suivant les conditions dans lesquelles elles doivent être prises.

ANNEXE 2

LES STADES PHENOLOGIQUES DES GRAMINEES ET DES DICOTYLEDONES

Nous avons retenu un certain nombre de repères permettant de se situer dans l'évolution de la plante au cours de sa période reproductrice. L'utilisation de ces repères est variée :

- d'une station à l'autre, les variations dans la date de réalisation d'un stade phénologique de *Dactylis glomerata* peuvent être considérées comme un indicateur topo-climatique précis (FLEURY, 1985 ; FLEURY et al., 1987),
- l'expression de la précocité d'exploitation du premier cycle, par rapport à des stades phénologiques et non pas par référence à une date permet de mieux comprendre comment les différentes pratiques de fauche peuvent induire des changements importants de végétation (FLEURY et al., 1985),
- la phénologie intervient dans l'organisation structurale des communautés végétales, des espèces de périodicités différentes peuvent se succéder dans un même espace et ainsi se concurrencer assez faiblement (GOUNOT, 1969). Ainsi, dans les peuplements prairiaux fauchés, HEDIN (1945) remarque que les espèces basses qui ne sont pas pourvues d'organes de multiplication végétatifs importants sont, soit très précoces soit très tardives voire automnale,
- enfin le stade phénologique des espèces est traditionnellement utilisé pour expliquer leurs variations de valeur nutritive et donner des conseils en matière de stade idéal d'utilisation agricole (WEISS et DEMARQUILLY, 1970).

Parmi les stades retenus, certains sont l'image de changements physiologiques et concernent le développement. D'autres sont de simples repères dans la croissance de la tige. Il s'agit donc de stades de développement et de stades de croissance que nous désignons sous le terme de stades phénologiques.

LES STADES PHENOLOGIQUES DES GRAMINEES :

Début montaison (DM) : la distance entre la base de l'épi et le plateau de tallage est de un cm pour 20% des tiges.

Epi à 10 cm (MM) : la distance entre la base de l'épi et le plateau de tallage est de 10 cm pour 50% des tiges.

Début épiaison (DE) : l'inflorescence de 20% des épis pointe hors de la gaine.

Pleine épiaison (PE) : l'inflorescence de 20% des épis est dégagée de la gaine.

Début floraison (DFlo) : 20% des épis de l'espèce portent des étamines hors des glumelles.

Mi floraison (MFlo) : 50% des épis de l'espèce portent des étamines hors des glumelles.

Début fructification (DFruc) : 20% des épis de l'espèce portent des graines encore souples mais non aqueuses.

Mi- fructification (MFruc) : 50% des épis de l'espèce portent des graines bien formées.

Début dissémination (DDiss) : 20% des épis de l'espèce ont commencé à perdre leurs graines.

Mi- dissémination (MDiss) : 50% des épis de l'espèce ont commencé à perdre leurs graines.

LES STADES PHENOLOGIQUES DES DICOTYLEDONES :

Mi bourgeonnement (MBOUR) : 50% des tiges de l'espèce ont des boutons floraux.

Mi-floraison (MFlo) : 50% des tiges de l'espèce ont des fleurs épanouies.

Mi fructification (MFruc) : 50% des tiges de l'espèce portent des graines bien formées.

Mi dissémination (MDiss) : 50% des tiges de l'espèce ont commencé à perdre leurs graines.

Début disséminé (DDissé) : 20% des tiges de l'espèce ont perdu toutes leurs graines.

OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN :

Les notations sont effectuées par comptage sur vingt tiges (talles ayant un épi). La périodicité des relevés est de six à huit jours dans le protocole d'évaluation de la production et de la valeur nutritive des fourrages verts (annexe 6) et dans celui étudiant les variations de valeur nutritive des espèces en fonction de leur physionomie (annexe 5). La date de réalisation d'un stade est calculé par interpolation linéaire entre les deux dates d'observation l'encadrant.

ANNEXE 3

DIVERSITE INTRASPECIFIQUE ET VALEUR NUTRITIVE DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE

EQUATIONS DE REGRESSIONS

Abréviations utilisées :
n=nombre d'observations,
R^2=coefficient de détermination,
M=moyenne,
S=écart-type,
SR=écart-type résiduel.

AGE : nombre de jours depuis le début épiaison de *Dactylis* plus 50 (âge=50 à ce stade)
LTIG : longueur des tiges (cm).
LVEG : longueur des talles herbacées : (cm).
MAT (g kg-1MS) : Teneur en matières azotées totales.
DMO (%) : Digestibilité de la matière organique.

DACTYLIS GLOMERATA

PLANTE ENTIERE :

VALLEES EXTERNES :

chétif :
DMO % = 91,99 -0,389*AGE ; n=26 ; R^2=0,908
MAT g kg^{-1}MS = 444,9 -8,065*AGE +0,04242*AGE^2 ; n=26 ; R^2=0,865

petite touffe :
DMO % = 122,91 -1,412*AGE +0,00751*AGE^2 ; n=11 ; R^2=0,949
MAT g kg^{-1}MS = 440,711 -9,085*AGE +0,0546*AGE^2 ; n=11 ; R^2=0,910

touffe :
DMO % = 112,76 -1,068*AGE +0,00438*AGE^2 ; n=31 ; R^2=0,919
MAT g kg^{-1}MS = 461,77 -8,87*AGE +0,0489*AGE^2 ; n=31 ; R^2=0,914

VALLEES INTERNES :

chétif :
DMO % = 87,269 -0,214*AGE ; n=8 ; R^2=0,740
MAT g kg^{-1}MS = 221,97 -1,508*AGE ; n=8 ; R^2=0,845

petite touffe :
DMO % = 82,499 -0,192*AGE ; n=9 ; R^2=0,756
MAT g kg^{-1}MS = 194,67 -1,214*AGE ; n=9 ; R^2=0,789

touffe :
DMO % = 93,56 -0,407*AGE ; n=8 ; R^2=0,875
MAT g kg^{-1}MS = 222,44 -1,750*AGE ; n=8 ; R^2=0,955

TALLES REPRODUCTRICES :

chétif :
DMO % = 86,18 -0,3747*AGE ; n=17 ; R^2=0,682
MAT g kg^{-1}MS = 158,7 -1,0978*AGE ; n=17 ; R^2=0,667

DMO % = 73,05 -0,2207*LREP ; n=17 ; R^2=0,552
MAT g kg^{-1}MS = 125,3 -0,716*LREP ; n=17 ; R^2=0,663

touffe :
DMO % = 90,63 -0,4289*AGE ; n=19 ; R^2=0,809
MAT g kg^{-1}MS = 188,4 -1,424*AGE ; n=19 ; R^2=0,617

DMO % = 85,04 -0,289*LREP ; n=19 ; R^2=0,818
MAT g kg^{-1}MS = 170,63 -0,968*LREP ; n=19 ; R^2=0,634

ENSEMBLE DE L'ECHANTILLON :

DMO % = 113,93 -1,075*AGE +0,00439*AGE^2 ; n=51 ; R^2=0,747
MAT g kg^{-1}MS = 256,6 -3,630*AGE +0,01614*AGE^2 ; n=51 ; R^2=0,587

VALLEES EXTERNES :

DMO % = 123,3 -1,3455*AGE +0,00616*AGE^2 ; n=30 ; R^2=0,787
MAT g kg^{-1}MS = 262,5 -3,935*AGE +0,01833*AGE^2 ; n=30 ; R^2=0,733

VALLEES INTERNES :

DMO % = 88,94 -0,3845*AGE ; n=21 ; R^2=0,729
MAT g kg^{-1}MS = 170,7 -1,122*AGE ; n=21 ; R^2=0,501

TALLES HERBACEES :

ENSEMBLE DE L'ECHANTILLON :

DMO % = 82,068 -0,157*AGE ; n=46 ; R^2=0,287
MAT g kg^{-1}MS = 191,2 -1,065*AGE ; n=46 ; R^2=0,471

VALLEES EXTERNES :

DMO % = 74,50 -0,00128*AGE^2 ; n=21 ; R^2=0,516
MAT g kg^{-1}MS = 146,3 -0,00545*AGE^2 ; n=21 ; R^2=0,208

VALLEES INTERNES :

DMO % = 84,04 -0,148*AGE ; n=25 ; R^2=0,414
MAT g kg^{-1}MS = 298,3 -4,035*AGE +0,0191*AGE^2 ; n=25 ; R^2=0,845

FESTUCA PRATENSIS

PLANTE ENTIERE :

VALLEES EXTERNES :

touffes :
DMO % = 97,478 -0,4354*AGE ; n=7 ; R^2=0,912
MAT g kg^{-1}MS = NS ; n=7 ;

VALLEES INTERNES :

touffes :
DMO % = 99,6199 -0,4399*AGE ; n=8 ; R^2=0,865
MAT g kg^{-1}MS = 208,4 -1,533*AGE ; n=8 ; R^2=0,792

petites touffes :
DMO % = 93,39 -0,282*AGE ; n=8 ; R^2=0,624
MAT g kg^{-1}MS = 259,35 -1,889*AGE ; n=8 ; R^2=0,624

GERANIUM SYLVATICUM

PLANTE ENTIERE :

VALLEES EXTERNES :

chétif :
DMO % = 82,32 -0,00152*AGE^2 ; n=9 ; R^2=0,728
MAT g kg^{-1}MS = 214,1 -1,446*AGE ; n=9 ; R^2=0,814

touffes :
DMO % = 80,8 -0,00187*AGE^2 ; n=11 ; R^2=0,875
MAT g kg^{-1}MS = 378,4 -5,788*AGE +0,0262*AGE^2 ; n=11 ; R^2=0,921

VALLEES INTERNES :

chétif :
DMO % = 90,99 -0,154*AGE ; n=8 ; R^2=0,751
MAT g kg^{-1}MS = 231,4 -1,38*AGE ; n=11 ; R^2=0,948

touffes :
DMO % = 82,88 -0,001535*AGE^2 ; n=8 ; R^2=0,734
MAT g kg^{-1}MS = 369,2 -6,136*AGE +0,0355*AGE^2 ; n=8 ; R^2=0,926

ANNEXE 4

VALEUR D'USAGE DES PRAIRIES DE FAUCHE. PRODUCTION ET VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES VERTS

PROTOCOLE ET RESULTATS COMPLEMENTAIRES

1 - PROTOCOLE

A) GAMME DES SITUATIONS ETUDIEES

Tableau A-1 : Gamme de variation des conditions de milieu et des pratiques agricoles dans le réseau de mesure de la valeur d'usage des prairies de fauche

(toutes les stations sont des prairies permanentes d'au moins dix ans d'ancienneté et subissant des pratiques stables depuis au moins cinq ans)

CONDITIONS ECOLOGIQUES	AMPLITUDE DE VARIATION
Topographie :	
• altitude (mètres)	• 630 à 1360
• orientation	• Nord à Sud
• pente (degrés)	• 0 à 29
Sol (profondeur -5 à -35 cm) :	
• pH eau	• 4,8 à 7,4
• P2O5 Dyer (°/oo)	• 0,013 à 0,367
• K2O échangeable (°/oo)	• 0,015 à 1,3
• Capacité d'échange en cations (meq/100g de sol)	• 7,5 à 21,6
• taux de saturation (°/oo)	• 15 à 100
• texture	• Argilo-limoneux à limono-sableux
Contexte pédoclimatique : (estimation du régime hydrique par mesure de la teneur en eau des sols en période sèche)	• frais (24,5% d'humidité) à sec (12,8% d'humidité)
Pratiques agricoles :	
fertilisation organique :	
• nature	• lisier sec ou liquide, fumier
• dose (t $ha^{-1}an^{-1}$)	• 0 à 50
• fréquence d'apport	• tous les 2 ans à 2 fois par an
fertilisation organique :	
• Azote (U $ha^{-1}an^{-1}$)	• 0 pour le 1er et le 3ème cycle, 0 à 50 avant le 2ème cycle
• Phosphore (U $ha^{-1}an^{-1}$)	• 0 à 100
• Potasse (U $ha^{-1}an^{-1}$)	• 0 à 100
régime d'exploitation habituel :	• fauche (F), regain (R), pâture (P) ; FP ; FR ; FRRP
stade habituel de fauche du premier cycle :	• épiaison à dissémination de *Dactylis*

Tableau A-2 : Diversité des végétations dans le réseau de mesure de la valeur d'usage des prairies de fauche

• abondance des dicotylédones non légumineuses variant de 8 à 95 % du volume de la végétation,
• légumineuses peu abondantes durant le premier cycle (au maximum 20% du volume de la végétation dans de rares cas) mais pouvant atteindre 30 à 40% du volume des repousses,
• espèces dominantes variables (*Dactylis, Geranium sylvaticum, Anthriscus sylvestris, Trisetum flavescens*, ...)
• diversité spécifique également variable, le nombre d'espèces dans une station allant de moins de 20 à plus de 50,
• variabilité de la structure de la végétation : en touffes et taches monospécifiques, en tapis régulier avec mélange intime entre les individus des différentes espèces,
• variations de port et de morphologie des graminées mais aussi des dicotylédones : sénescence, taux de tiges, taille des individus ....

B) SUIVI DE LA PRODUCTION FOURRAGERE

Ce suivi a été conduit durant trois années consécutives sur les mêmes parcelles.

Le dispositif (tableau A-3) retenu permet de disposer des courbes de croissance durant le premier cycle et de mesurer les repousses de 2ème et 3ème cycle, ainsi que les productions totales annuelles. Son organisation spatiale permet de concilier une approche satisfaisante de l'hétérogénéité de la végétation dans une station et les contraintes de travail hors d'un domaine expérimental. Toute la saison de végétation, un carré de 10 mètres de côté est mis en défens. Durant tout le premier cycle un prélèvement d'herbe est réalisé tous les six à huit jours ce qui représente une dizaine de prélèvements du stade début-montaison au stade dissémination de *Dactylis*. Chaque prélèvement (figure A-1) est constitué de trois ou six surfaces élémentaires de 1m sur 0,5m coupées à l'aide d'une mini-tondeuse à une hauteur de cinq cm. Pour les prélèvements des stades pleine épiaison, début floraison et début fructification de *Dactylis* nous avons effectué six répétitions afin de calculer la qualité de l'estimation des rendements moyens en matière sèche. Sur ces prélèvements à six répétitions, la médiane des coefficients de variation est de 13,6%. C'est une valeur satisfaisante, l'ITCF (1975) indiquant un chiffre de 10% pour ses essais sur graminées fourragères.

Pour ces mêmes stades, pleine épiaison, début floraison et début fructification de *Dactylis*, nous avons dégagé des bandes de 1,2m sur 10m afin de permettre des coupes avec trois répétitions, de regains de six et huit semaines puis de troisièmes cycles de six semaines. Fin Septembre, le quatrième cycle est prélevé s'il atteint 500 kg de MS ha^{-1} afin de permettre le calcul des productions totales annuelles pour les différents scénarios.

Lors de chacun de ces prélèvements des observations concernant la phénologie, la hauteur des feuilles et des tiges, la sénescence et le port des principales espèces sont réalisées.

Seul le rendement en matière verte a été mesuré sur chaque répétition. Après pesée de l'échantillon et hachage grossier (brins de cinq à dix cm), un échantillon moyen est constitué pour la détermination du taux de matière sèche (deux répétitions) et de la valeur nutritive (pas de répétition).

La teneur en azote (N) a été systématiquement dosée sur tous les échantillons (méthode KJELDHAL) pour le calcul de la teneur en matières azotées totales (MAT=N*6,25). Les teneurs en cellulose brute de Weende (CB) et en cendres (MM) ont également été mesurées systématiquement.

Tableau A-3 : Protocole d'étude de la productivité des prairies de fauche des Alpes du nord

Mise en défens d'un carré de 100m² pendant la saison de végétation.
On réalise à l'intérieur les opérations suivantes (marquées d'une croix) :

PREMIER CYCLE										
Stade phénologique *Dactylis*		MM	DE	PE		D Flo		D Fruc		D Diss
Un exemple de graduation en jours	-14	-6	2	9	16	20	27	35	43	51
Prélèvement pour : • rendement MS, teneurs MM, CB, MAT • digestibilité à la cellulase • teneurs en P, K, Ca, Mg	X	X X X	X	X X X	X	X X X	X X	X X X	X	X X
Notation phénologie, sénescence, hauteur des principales espèces	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Abondances relatives des espèces, des organes sénescents et reproducteurs ; hauteur et sociabilité des espèces				X				X		

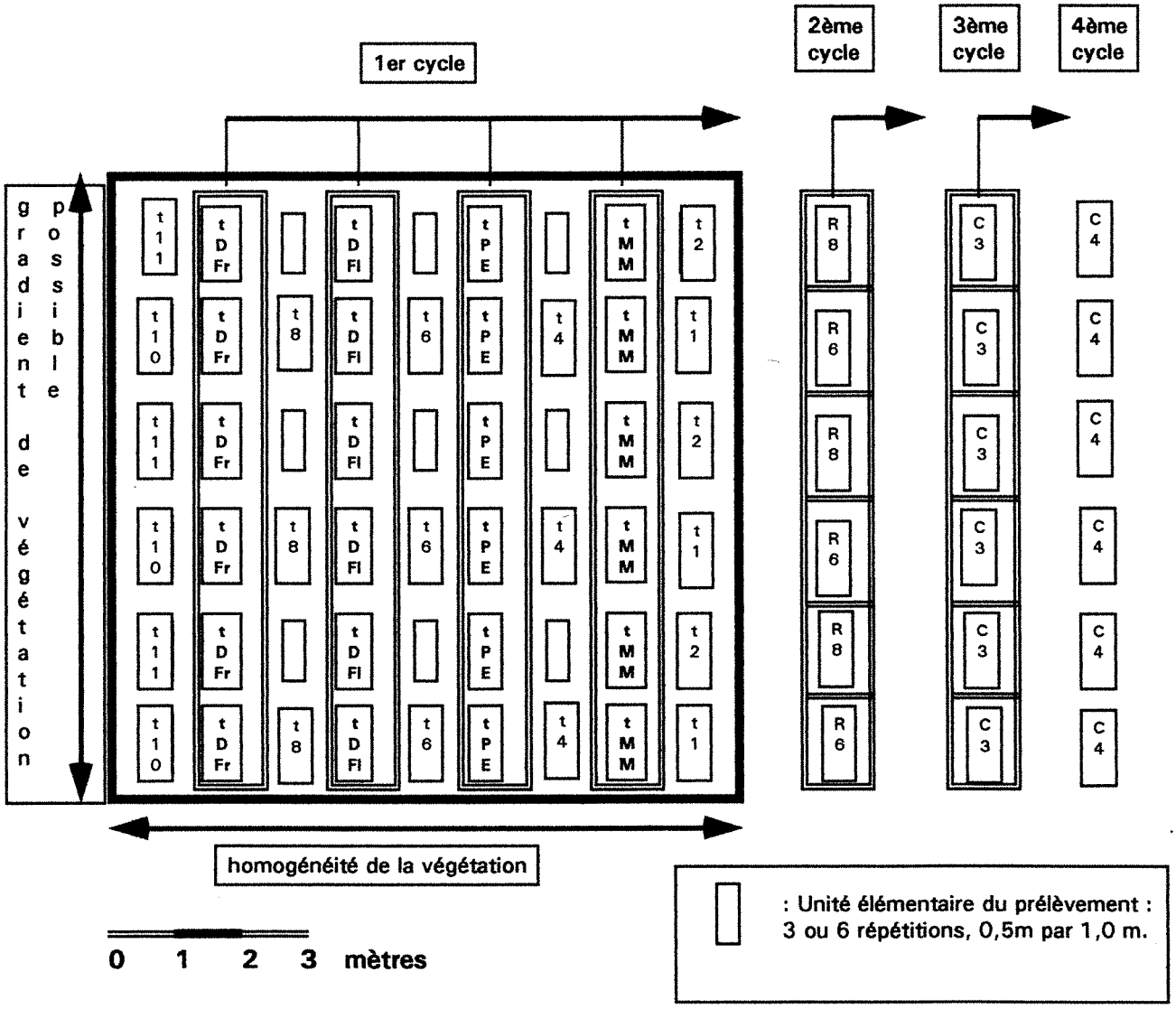
DEUXIEME CYCLE	↓	↙↘		↙↘		↙↘	
Age du regain en semaines	8 (1)	6	8	6	8	6	8
Prélèvement pour : • rendement MS, teneurs MM, CB, MAT • digestibilité à la cellulase • teneurs en P, K, Ca, Mg	X X X	X	X X	X X	X X X	X	X X
Abondance relative des espèces					X		
TROISIEME CYCLE	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Prélèvement d'un 3ème cycle âge de six semaines pour : • rendement MS, teneurs MM, CB, MAT • digestibilité à la cellulase	X	X	X	X X	X	X	X
QUATRIEME CYCLE	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
prélèvement fin Septembre si la repousse atteint 500 kg Ms ha^{-1} pour rendement MS, teneurs MM, CB et MAT	X	X	X	X	X	X	X

(1) Ce rythme d'exploitation n'a été étudié que pour trois prairies parmi celles reçevant une fertilisation élevée.

LEGENDE :

↓ Cette flèche relie les prélèvements d'un cycle à un autre. Pour la flèche unissant par exemple la colonne début floraison à la colonne regain de six semaines il faut lire : nous faisons un prélèvement sur la repousse âgée de six semaines du stade début floraison.

Figure A-1 : Organisation spatiale des prélèvements de fourrages verts



Dégagement d'une bande autour des stades pleine épiaison, début floraison, début fructification et parfois mi montaison de Dactylis g. pour permettre les prélèvements des repousses. Les parties non utilisées sont fauchées lors du dégagement des bandes de repousses.

Tn : prélèvement N° n
T MM : prélèvement au stade épi à 10 cm de Dactylis g.
T PE : prélèvement au stade pleine épiaison
T DFl : prélèvement au stade début floraison
T DFr : prélèvement au stade début fructification

R 6 : regain de 6 semaines
R 8 : regain de 8 semaines
C 3 : troisième cycle de 6 semaines
C 4 : éventuellement coupe fin Septembre si la repousse atteint 500 kg/ha

La digestibilité de la matière organique (DMO) a été évaluée à partir de la digestibilité à la pepsine cellulase (AUFRERE, 1982), après étalonnage sur des foins de montagne de cette méthode sur des échantillons connus également par leur digestibilité in vitro (méthode TILLEY et TERRY, 1963) ou in vivo sur moutons (laboratoire des aliments, INRA Theix). La digestibilité à la pepsine cellulase a été dosée, pour chaque station et chaque année de mesure, sur cinq à huit prélèvements du premier cycle et sur les repousses après la fauche du premier cycle au stade début floraison de *Dactylis.*

C) VARIABLES UTILISEES

Nous exposons ci-dessous les principales variables utilisées et la justification de ces choix.

VARIABLES A EXPLIQUER : Variables participant à la caractérisation de la valeur d'usage d'une végétation :

Production de matière sèche : PROD MS (kg ha-1)
Teneur en matières azotées totales : MAT (g kg^{-1}MS)
Digestibilité de la matière organique : DMO (%)

VARIABLES EXPLICATIVES :

DESCRIPTEURS ECOLOGIQUES :

DESCRIPTEURS DU MILIEU PHYSIQUE :

CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES :

"Fraîcheur " du contexte pédoclimatique : PEDO : variable discrète à trois classes quantifiée par l'humidité du sol en période sèche (après deux mois très peu arrosés en Juillet et Aout). Les valeurs de ces classes sont : 12,8% pour les stations sèches, 16,8% pour les stations mésophiles et 24,5% pour les situations fraîches. Cette variable est d'abord un indice de disponibilité en eau mais elle est également corrélée à l'orientation des stations et intègre d'autres éléments : déneigement printanier plus tardif, ombre plus importante surtout à l'automne et au printemps.

Teneur en Phosphore Dyer : P2O5 ($^0/_{00}$) : échantillon moyen pour la profondeur -5 à -35 cm. Cette donnée est utilisée comme un indicateur du niveau trophique.

METEOROLOGIE :

Précipitations : PLUIE (mm j-1) : pour le premier cycle il s'agit des précipitations moyennes par jour entre le jour du prélèvement et la date de début-épiaison de *Dactylis* moins cinquante jours. Cette date correspond approximativement au début de la croissance. Pour les précipitations, il s'agit des précipitations moyennes par jour reçues durant la période de croissance entre les deux coupes. Cette variable et la "fraîcheur" du contexte pédoclimatique permettent de quantifier le régime hydrique subi par une végétation durant une période, en contournant les difficultés de calcul d'un bilan hydrique en montagne : apports d'eau par circulation latérale dans les sols, estimation imprécise de l'évapo-transpiration potentielle et réelle compte tenu de la diversité topographique affectant températures et rayonnement.

Indice de température : TEMPE : nous ne disposons pas de températures enregistrées sur chacune de nos stations. Les données disponibles (deux stations de mesure) ne peuvent pas être extrapolées compte tenu de la diversité topographique entre sites et de ses conséquences sur les températures. Nous avons préféré exprimer les températures sous forme d'un indice qui permet de tenir compte des variations météorologiques interannuelles ou d'une période de croissance à une autre. Cet indice est pour le premier cycle, le rapport entre la somme des températures moyennes journalières supérieures à 0°C, du

début de la croissance à la date du prélèvement et la somme, pour cette même période, des températures moyennes pour les trois années d'observation. Pour les repousses, cet indice est établi de la même façon en considérant la période de croissance entre les deux coupes.

DESCRIPTEURS DES PRATIQUES AGRICOLES :

INDICATEURS DU REGIME TROPHIQUE :

Fertilisation organique habituelle : FERT (t ha $^{-1}$ an^{-1}) : c'est le rapport entre la dose de lisier sec ou liquide de fumier épandu habituellement sur la station et la fréquence des apports.

Phosphore minéral : PMIN (U ha^{-1} an^{-1}) :

Azote minéral : NMIN (U ha^{-1}) : apporté sous forme d'ammonitrate après la fauche du premier cycle et donc pris en compte uniquement pour les regains.

DESCRIPTEURS D'ETAT DE LA VEGETATION :

EXPRESSION DES CHANGEMENTS PHENOLOGIQUES :

Age de la pousse : AGE (jours) : pour le premier cycle, l'âge est exprimé en jours depuis le stade début épiaison de *Dactylis glomerata* plus 50 (ANDRIEU et al., 1981). La date de début épiaison moins 50 jours correspond approximativement au début de la croissance. Pour les repousses, l'âge est exprimé en nombre de jours depuis la coupe précédente. Nous avons utilisé cette variable de façon très générale pour exprimer l'avancée des cycles de végétation, elle a valeur d'échelle de temps.

Date : DATE (jours) : cette variable concerne uniquement les repousses, elle permet de les situer dans la saison de végétation (repousse de printemps, de début d'été, d'été, d'automne). Il s'agit d'une variable calendaire, traduisant les variations saisonnières des conditions de croissance : durée du jour, alternance quotidienne des températures ... Elle est quantifiée par le nombre de jours séparant le premier jour de croissance de la repousse du premier Mars.

DIVERSITE PHENOLOGIQUE DE LA VEGETATION :

Amplitude phénologique des espèces : (EC PHENO) : c'est un indice traduisant le plus ou moins grand étalement dans le temps des phénologies des différentes espèces d'une végétation. Le mode de calcul tient compte de la phénologie et de l'abondance des espèces. Cet indice est lié positivement à la diversité spécifiques : un indice fort correspond à un nombre élevé d'espèces.

ABONDANCE DE CERTAINS TAXONS :

Abondance des dicotylédones non légumineuses : DICOT (%du volume de la végétation).

Abondance des légumineuses : LEGS (%du volume de la végétation).

STRUCTURE DE LA VEGETATION :

Abondance des individus en touffes : TOUFFES (% du volume de la végétation) : somme des contributions des individus de différentes espèces présentant un port en touffes.

MORPHOLOGIE DE LA VEGETATION :

Abondance des organes sénescents : MORTS (% du volume de la végétation) : somme des contributions des organes ou partie de ceux-ci qui sont sénescents mais qui font encore partie de la plante. Ces parties se distinguent par leur couleur marron à noire.

Abondance des organes végétatifs : VEG (% du volume de la végétation) : somme des contributions des feuilles radicales des dicotylédones et des talles végétatives des graminées par opposition aux tiges reproductrices et aux feuilles et inflorescences qu'elles portent.

Ces critères morphologiques ont été utilisés soit de façon globale pour une station, toutes espèces confondues, soit en considérant séparement graminées et dicotylédones.

Sensibilité à la verse : VERSE : Indice traduisant la sensibilité de la végétation à la verse en cas de fortes pluies après l'épiaison de *Dactylis* : faible = -1 (végétation ayant peu tendance à se coucher), moyenne=0, forte=1 (végétation se couchant facilement).

2 - RESULTATS COMPLEMENTAIRES : EQUATIONS DE REGRESSIONS DETAILLEES

Abréviations utilisées :
n=nombre d'observations,
R=coefficient de corrélation simple ou multiple,
M=moyenne,
S=écart-type,
SR=écart-type résiduel.

A) ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA BIOMASSE

1 - Facteurs de variation de la biomasse durant le premier cycle

Tableau A-4 : Production de MS durant le premier cycle de végétation (analyse en régression linéaire multiple)

n=324, M=3349 kg ha^{-1}, S=1374.
Précision du modèle complet :
R=0,914, SR=564.

Variable explicative	intro-duction au pas N°	Coefficient multi-plicateur	Proba de F du facteur dans le modèle complet (%)	Variation expliquée en % de la variation résiduelle au pas précédent
AGE*TEMPE	1	164	0,00	45,8
$(AGE*TEMPE)^2$	2	-1,01	0,00	31,2
PLUIE	3	308	0,00	20,3
FERT*AGE	4	0,960	0,00	26,2
PMIN*AGE	5	0,0829	0,00	14,2
PEDO*AGE	6	0,721	0,01	8,6
$(FERT*AGE)^2$	7	$-9,35*10^{-3}$	0,03	4,2
1		-5786	.	.

2 - Facteurs de variation de la biomasse durant les repousses

Tableau A-5 : Production de MS durant le second cycle de végétation (analyse en régression linéaire multiple)

n=183, M=1447 kg ha^{-1}, S=534.
Précision du modèle complet :
R=0,760, SR=353.

Variable explicative	intro-duction au pas N°	Coefficient multi-plicateur	Proba de F du facteur dans le modèle complet (%)	Variation expliquée en % de la variation résiduelle au pas précédent
PMIN	1	7,07	0,00	30,5
$TEMPE^2$	2	-743	0,62	13,8
AGE	3	15,4	0,03	11,1
DATE	4	-6,24	0,38	9,5
NMIN	5	7,85	0,08	6,1
FERT	6	8,21	0,00	6,5
1		1832	.	.

Tableau A-6 : Production de MS durant le troisième cycle de végétation (analyse en régression linéaire multiple)

n=163, M=1016 kg ha^{-1}, S=411.
Précision du modèle complet :
R=0,728, SR=286.

Variable explicative	intro-duction au pas N°	Coefficient multi-plicateur	Proba de F du facteur dans le modèle complet (%)	Variation expliquée en % de la variation résiduelle au pas précédent
DATE	1	-12,7	0,00	23,0
PMIN	2	4,21	0,00	16,5
PLUIE	3	91,1	0,00	11,1
DATE*PEDO	4	-0,113	0,11	12,9
FERT	5	6,586	0,24	5,5
1		2761	.	.

Tableau A-7 : Facteurs de variation de la production de MS durant les repousses (analyse obtenue à partir de régressions multiples)

Deuxième cycle : n=183, r=0,760, sr=+/-0,353 t MS ha^{-1}
Troisième cycle : n=163, r=0,728, sr=+/-0,286 t MS ha^{-1}

FACTEURS DE VARIATION	ECART MOYEN APPARENT (T MS HA^{-1})	MODE D'ACTION
DEUXIEME CYCLE		
PMIN	0,22	+7kg MS par U de P
AGE	0,12	+ 15 kg MS par jour
NMIN	0,11	+8kg MS par U de N
FERT	0,10	+8kg MS par t de Fert
DATE	0,08	Les coupes de 1er cycle tardives pénalisent les repousses : -6 kg MS par jour de retard
TEMPE	0,07	Les fortes températures limitent la croissance
TROISIEME CYCLE		
DATE	0,17	Les regains tardifs pénalisent les 3ème cycles : -13 kg MS par jour de retard
PMIN	0,13	+4kg MS par U de P
PLUIE	0,13	Effet positif sur la croissance
DATE*PEDO	0,09	En automne la croissance est plus réduite dans les milieux frais (ubacs)
FERT	0,08	+7 kg MS par t de Fert

Ecart moyen lié à un facteur : c'est le produit de l'écart type du facteur par son coefficient multiplicateur dans le modèle (MONTARD (de), 1981). Il permet d'apprécier le poids relatif lié à un facteur.

B) ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA VALEUR NUTRITIVE

1 - Facteurs de variation de la valeur nutritive durant le premier cycle

Tableau A-8 : DMO durant le premier cycle de végétation (analyse en régression linéaire multiple)

n=206, M=66%, S=5,7.
Précision du modèle complet :
R=0,902 ; SR=2,5.

Variable explicative	intro-duction au pas N°	Coefficient multi-plicateur	Proba de F du facteur dans le modèle complet (%)	Variation expliquée en % de la variation résiduelle au pas précédent
AGE*TEMPE	1	-0,704	0,00	69,0
PLUIE	2	-1,13	0,00	11,2
$(AGE*TEMPE)^2$	3	$3,11*10^{-3}$	0,00	19,0
EC PHENO	4	0,225	0,00	7,9
$(TOUFFES*AGE)^2$	5	$-9,10*10^{-8}$	0,00	6,6
DICOT*AGE	6	$3,77*10^{-4}$	0,39	4,1
1		101	.	.

Tableau A-9 : MAT durant le premier cycle de végétation (analyse en régression linéaire multiple)

n=336, M=130 g kg $^{-1}$MS, S=46.
Précision du modèle complet :
R=0,956 ; SR=14.

Variable explicative	intro-duction au pas N°	Coefficient multi-plicateur	Proba de F du facteur dans le modèle complet (%)	Variation expliquée en % de la variation résiduelle au pas précédent
AGE*TEMPE	1	-6,32	0,00	76,6
(AGE*TEMPE)^2	2	$3,15*10^{-2}$	0,00	52,6
PLUIE	3	-4,56	0,00	11,8
TOUFFES*AGE	4	$-3,44*10^{-3}$	0,00	6,9
DICOT*AGE	5	$2,36*10^{-3}$	0,06	5,9
1		409	.	.

2 - Hiérarchies des facteurs de variation de la valeur nutritive durant les repousses

Tableau A-10 : DMO durant le second et le troisième cycle de végétation (analyse en régression linéaire multiple)

n=88 ; M=68,5% ; S=2,9.
Précision du modèle complet :
R=0,230 ; SR=2,8.

Variable explicative	intro-duction au pas N°	Coefficient multi-plicateur	Proba de F du facteur dans le modèle complet (%)	Variation expliquée en % de la variation résiduelle au pas précédent
LEGS	1	0,106	2,96	5,6
1		68,0	.	.

Tableau A-11 : MAT durant le second et le troisième cycle de végétation (analyse en régression linéaire multiple)

n=351 ; M=161 g kg $^{-1}$MS ; S=23.
Précision du modèle complet :
R=0,661 ; SR=18.

Variable explicative	intro-duction au pas N°	Coefficient multi-plicateur	Proba de F du facteur dans le modèle complet (%)	Variation expliquée en % de la variation résiduelle au pas précédent
DATE	1	0,543	0,00	37,3
LEGS	2	1,04	0,00	10,1
1		85	.	.

ANNEXE 5

VALEUR D'USAGE DES PRAIRIES DE FAUCHE. RECOLTABILITE DES FOURRAGES

PROTOCOLE ET RESULTATS COMPLEMENTAIRES

1 - PROTOCOLE

A) SUIVI DES CHANTIERS DE FENAISON

Tableau A-12 : Gamme de variation de la végétation dans les chantiers de mesure de la récoltabilité des fourrages

ETATS DE VEGETATION
Abondance de grandes dicotylédones de 0 à 90% du volume de la végétation : *Geranium sylvaticum, Anthriscus sylvestris, Rumex obtusifolius.* Graminées associées généralement à feuilles larges ou moyennes : *Dactylis, Poa trivialis, Trisetum flavescens,* et parfois à feuilles fines : *Festuca rubra, Agrostis capillaris.* Une parcelle est riche en *Trifolium repens* (20% du volume de la végétation).
PHENOLOGIE ET PRODUCTION DE LA VEGETATION
Premier cycle de l'épiaison à la dissémination de *Dactylis.* Repousses de second cycle âgées de six à huit semaines. Productions de MS variant de 1 à 6,2 t ha^{-1}.

Le suivi des séquences a consisté à réaliser des prélèvements deux à trois fois par jour de la fauche à la rentrée du foin. Ces prélèvements ont été effectués avec une pince à andains ou à la main si le fourrage est très étalé au sol : 6 répétitions avec la pince ou 30 à 40 poignées constituant un total d'environ 3 à 5 kg de MS. Un échantillon moyen a été constitué après hachage pour dosage des teneurs en matière sèche (MS en % de la matière verte), des cendres (MM g kg MS^{-1}), des teneurs en matières azotées totales (MAT g kg MS^{-1}), de la cellulose brute (CB g kg MS^{-1}) et de la digestibilité à la pepsine-cellulase (AUFRERE, 1982) pour estimation de la digestibilité de la matière organique (DMO%). Simultanément, une à deux fois par jour, des prélèvements triés d'espèces ou d'organes végétaux furent réalisés et également analysés.

Durant le déroulement de ces chantiers, les enregistrements suivants ont été faits :

- analyse floristique (méthode des poignées) et relevé de la structure et de la phénologie de la végétation avant la fauche,
- interventions de l'agriculteur, heure, nombre, vitesse et violence des opérations de fauche, fanage, andainage et engrangeage,
- météorologie, précipitations, température et hygrométrie en continu sous abri à 1,5m du sol,
- évolution morphologique (altération, fragilité, brisures, couleurs, degré de dessication ...) des différents constituants de la végétation (organes des principales espèces),

B) PRISE EN COMPTE DE LA METEOROLOGIE

Le séchage du foin est un transfert d'eau du végétal vers l'air ambiant. Le pouvoir évaporant de l'air est fonction de son **Déficit de saturation en vapeur d'eau (DS)**. Le déficit de saturation est lié positivement à la température et négativement à l'humidité de l'air. C'est la différence entre la pression de vapeur saturante à sa température et sa pression de vapeur réelle (GRANGER et al., 1987).

Dans la pratique, pour décrire la météorologie durant la fenaison, le déficit de saturation de l'air est un critère précis même si il est loin de prendre en compte l'ensemble des conditions météorologiques susceptibles d'affecter les vitesses de séchage (MUNIER et MORLON, 1987 ; THOMPSON, 1984 ; GUPTA et al., 1990 ; DYER et BROWN, 1977). La somme, au pas horaire, des déficits de saturation de l'air de 8h à 17h en Temps universel nécessaires au séchage d'un fourrage (LUDER, 1982) a été utilisée pour exprimer sa demande climatique pour être séché. La somme des déficits de saturation de l'air ou SDS est exprimée en (g d'eau/ m^3d'air)*heure. Les déficits de saturation non pris en compte en début et fin de journée compensent, en moyenne, la réhumectation nocturne. Cette méthode de calcul des besoins en séchage par les SDS a été définie par LUDER (1982), son adaptation aux Alpes du Nord françaises a été discutée par GRANGER et al. (1987).

Durant la période de fenaison, la SDS d'un jour sans pluie varie de 30 à plus de 150 unités suivant la météorologie. La valeur moyenne est de 90 SDS. Plus précis et plus proche de la réalité qu'un nombre d'heures, la SDS nous permet de quantifier les besoins en séchage des différentes végétations des Alpes du Nord.

C) VARIABLES UTILISEES DANS L'INTERPRETATION

Nous exposons ci-dessous les principales variables utilisées et la justification de ces choix :

VARIABLES A EXPLIQUER :

Teneur en matière sèche du fourrage : MS (%)
Teneur en matières azotées totales : MAT (g kg-1MS)
Digestibilité de la matière organique : DMO (%)

VARIABLES EXPLICATIVES :

Teneur en matière sèche du fourrage à la fauche : MS Vert (%)
Teneur en matières azotées totales à la fauche : MAT Vert (g kg-1MS)
Digestibilité de la matière organique à la fauche : DMO Vert (%)
Production de matière sèche : PROD MS (t ha-1)
Teneur en matière sèche du fourrage au moment du dernier fanage : MS Fanage (%)
Teneur en matière sèche du fourrage au moment de l'engrangeage : MS Grange (%)
Nombre de fanages et d'andainages : Nb Fanages
Somme des Déficits de Saturation de l'air : SDS ((g d'eau/ m3d'air)*heure)
Pluie : structuration de l'échantillon suivant l'importance des précipitations :

- pas de précipitations,
- pluie faible : 1 à 2 jours de pluie sur un fourrage en cours de séchage contenant 30 à 60% de MS, précipitations inférieures à 30mm,
- pluie forte : 2 à 5 jours de pluie avec ressuyages et séchages partiels entre les périodes de pluie, précipitations de 30 à 100mm.

"Résistance de la végétation" à la perte d'eau : VEGE: c'est un indice qui varie à l'inverse du rapport surface/volume des espèces dominantes. Il est de 6 pour les prairies riches en graminées à feuilles fines et petites tiges, de 7 pour celles à graminées à feuilles moyennes et larges et de 11 pour celles dominées

par de grandes dicotylédones à tiges de gros diamètre et à larges feuilles.
"Violence du travail" : VIOLENCE: c'est un indice exprimant l'agressivité des engins de fanage. Cet indice qui varie de 1 à 6 tient compte de la violence de manipulation et d'éjection du fourrage par le matériel. A un indice 1 correspondent une manipulation et une éjection douces, alors que l'indice 6 rend compte de manipulations brutales avec éjection à grande distance. Nous avons utilisé les valeurs suivantes : 1=fanage manuel, 2=cheval ou motofaneuse, 3=rateau faneur à courroies autoporté, 3 ou 4= faneuse à toupies ou andainage mécanique plus ou moins rapide, 6=faneuse à toupies utilisée violemment.

2 - EQUATIONS DE REGRESSIONS

A) EVOLUTION DE LA TENEUR EN MS DES ORGANES DE DIFFERENTES ESPECES DURANT LA FENAISON

Equations de prévision durant le premier cycle

Talles reproductrices de *Dactylis* en touffes :
$MS\% = 0{,}0114 MS\ Vert*SDS - 6{,}71*10^{-7}(MS\ Vert*SDS)^2 + 0{,}749 MS\ Vert + 10{,}10$
R=0,989 ; SR= +/- 3,18 ; n=15.

Talles reproductrices de graminées en tapis régulier *(Poa trivialis, Festuca pratensis, Dactylis, Lolium perenne)* **:**
$MS\% = 0{,}0192 MS\ Vert*SDS - 1{,}74*10^{-6}(MS\ Vert*SDS)^2 + 0{,}474 MS\ Vert + 15{,}8$
R=0,988 ; SR= +/- 3,50 ; n=16.

Feuilles et tiges florales de *Trifolium repens* :
$MS\% = 0{,}0430 MS\ Vert*SDS - 8{,}10*10^{-6}(MS\ Vert*SDS)^2 + 2{,}70 MS\ Vert - 26{,}2$
R=0,989 ; SR= +/- 4,62 ; n=10.

Tiges et leurs feuilles de *Anthriscus sylvestris* en touffes :
$MS\% = 0{,}009 MS\ Vert*SDS + 0{,}879 MS\ Vert + 3{,}08$
R=0,980 ; SR= +/- 4,20 ; n=17.

Feuilles radicales de *Anthriscus sylvestris* en touffes :
$MS\% = 61{,}0/(1 + 3{,}32*e^{(-0{,}000746*MS\ Vert*SDS)})$
R=0,927 ; SR= +/- 6,29 ; n=17.

Tiges et leurs feuilles de *Geranium sylvaticum* en touffes :
$MS\% = 81{,}3/(1 + 2{,}53*e^{(-0{,}000606*MS\ Vert*SDS)})$
R=0,954 ; SR= +/- 2,98 ; n=16.

Feuilles radicales de *Geranium sylvaticum* en touffes :
$MS\% = 76{,}1/(1 + 2{,}48*e^{(-0{,}00105*MS\ Vert*SDS)})$
R=0,949 ; SR= +/- 6,53 ; n=16.

Tiges et leurs feuilles de *Rumex obtusifolius* en touffes :
$MS\% = 2{,}32*10^{-6}(MS\ Vert*SDS)^2 + 0{,}843 MS\ Vert + 4{,}97$
R=0,989 ; SR= +/- 2,43 ; n=8.

B) MODIFICATIONS MOYENNES DE LA VALEUR NUTRITIVE DURANT LA FENAISON

Tableau A-13 : Modifications moyennes des teneurs en cendres (MM), en matières azotées totales (MAT), en cellulose brute (CB) et de digestibilité de la matière organique (DMO) entraînées par la fenaison

	MM (g kg MS^{-1})	CB (g kg MS^{-1})	MAT (g kg MS^{-1})	DMO (%)	Nombre d'observations
Foins de graminées et de prairies naturelles (1) :					
Beau temps, ventilé en grange	-6 (±10)	+27 (±19)	-6 (±12)	-4,2 (±2)	36
Beau temps, entièrement séché au sol	-4 (±10)	+16 (±19)	-6 (±9)	-4,0 (±3)	32
Pluie moins de 10 jours, séché au sol	-1 (±9)	+39 (±17)	-10 (±9)	-5,6 (±4)	14
Pluie plus de 10 jours, séché au sol	-12 (±11)	+53 (±29)	-15 (±14)	-9,2 (±3)	13
Foins des Alpes du Nord (2) :					
Beau temps, ventilé en grange	+0,5 (±9)	+5 (±25)	-7 (±9)	-3,5 (±2)	53
Beau temps, entièrement séché au sol	+1 (±9)	+23(±30)	-11 (±9)	-4,0 (±2)	64
Pluie faible (1-2 jours), séché au sol	-3 (±13)	+26 (±27)	-12 (±8)	-4,4 (±2)	25
Pluie forte (2-5 jours), séché au sol	+3 (±11)	+40 (±21)	(3)	-8,7 (±3)	12

Les chiffres portés dans chaque case sont la moyenne et l'écart-type.
(1) d'après ANDRIEU et al., 1981, p. 122.
(2) les valeurs Alpes du Nord correspondent à la valeur à la mise en tas : fourrage rentré de 45 à 65% de MS pour fin de séchage en grange, rentré de 66 à 90% de MS pour foin entièrement séché au sol. Le foin ventilé évolue encore un peu, sa valeur se rapproche du foin séché au sol qui bouge peu dans le tas.
(3)Valeur moyenne non portée du fait de son écart-type très grand.

C) EQUATIONS DE PREVISION DES MODIFICATIONS ENTRAINEES PAR LA FENAISON

Equations utilisables de 45 à 85% de MS. Ces équations permettent de prévoir la valeur du foin à sa mise en tas en grange en fonction de l'état de la végétation à la fauche, des pratiques de fenaison et des conditions météorologiques. Elles permettent d'évaluer les facteurs de variation des modifications entraînées par la fenaison. Pour un foin rentré à 80% de MS, l'évolution en tas est très faible s'il n'y a pas échauffement important. Par contre, un fourrage rentré à 60% de MS respire encore et même ventilé, sa valeur évolue un peu. Sur le champ pour passer de 60 à 80% de MS, un fourrage perd en moyenne 3 à 4 g de MAT kg^{-1} MS et 0,5% de DMO, la différence est donc faible.

1 - Evolution de la DMO durant la fenaison

Valeurs moyenne et extrêmes pour le fourrage vert (DMO %) : 64 ; 57 et 77.
Modifications entrainées par la fenaison : moyenne et écart-type : -3,8 (±1,8)

Equation de prévision par beau temps :
DMO foin % = 0,00655DMO Vert² -0,00334MS Grange*VEGE -0,00389MS Fanage*VIOLENCE +36,1 +D1
D1=-0,506 pour le premier cycle D1=+0,506 pour les repousses
n=117 r=0,941 SR=+/-1,55

Equation de prévision pour toutes conditions météorologiques :
DMO foin % = 0,00612DMO Vert² -0,00264MS Grange*VEGE -0,00352MS Fanage*VIOLENCE +37,5 +D1+D2
D1=-0,712 pour le premier cycle D1=+0,712 pour les repousses
D2=+0,13 pour les pluies faibles ; probabilité de F=75%
D2=-4,8 pour les pluies fortes ; probabilité de F<0,0%
n=154 r=0,941 SR=+/-1,73

2 - Evolution des teneurs en MAT durant la fenaison

Valeurs moyenne et extrêmes pour le fourrage vert (MAT g kg^{-1}MS) : 107 ; 73 et 174.
Modifications entrainées par la fenaison : moyenne et écart-type : -9 ($\pm$9)

Equation de prévision par beau temps :
MAT foin g kg^{-1}MS = 0,00319MAT Vert² -0,0145MS Fanage*VIOLENCE - 0,0184MS Grange*VEGE +75,4 +D1
D1=-6,52 pour le premier cycle D1=+6,52 pour les repousses
n=117 r=0,971 SR=+/-6,44

Correction en cas de pluie :
Enlever -9 g de MAT kg^{-1}MS à la valeur obtenue par l'équation ci-dessus en cas de pluie forte. Il s'agit d'une valeur proposée par ANDRIEU et al., 1981, p.122. Dans les Alpes du Nord notre échantillon présente un trop fort écart-type sur cette variable pour être retenu.

ANNEXE 6

ENQUETE SUR LES RELATIONS ENTRE LES PRATIQUES AGRICOLES, LE MILIEU PHYSIQUE ET LA VEGETATION.

PROTOCOLES ET RESULTATS COMPLEMENTAIRES

I - PROTOCOLE :

Tableau A-14 : Observations sur les descripteurs écologiques

LE MILIEU PHYSIQUE
Notations topographiques : altitude, exposition, pente, ombre portée par les reliefs environnants (pentes aux faîtes des versants), position de la parcelle (fond de vallée, crête, bas, haut ou milieu de versant ...).
Environnement de la station : Caractérisation de l'étage bioclimatique à l'aide des espèces forestières présentes à proximité de la station.
Observations pédologiques : • profondeur du sol, • charge en cailloux (estimation visuelle en 3 classes : pas, peu, moyen), • texture (test manuel en surface et en profondeur) • réaction à l'acide chlorhydrique sur terre fine et éléments grossiers, • traces d'hydromorphie, • possibilités d'apports latéraux d'eau ou sol soumis à une nappe. Dans l'échantillon des prairies pâturées, des prélèvements de sol à -20 cm ont été réalisés pour différentes analyses (Ph eau, Ph KCl, acide phosphorique Olsen, potassium échangeable, carbone organique et matières organiques).
LES PRATIQUES AGRICOLES
Renseignements généraux sur l'exploitation : type de production,généralités sur le calendrier fourrager, répartition des surfaces, de la fertilisation organique et minérale, dates et organisation des fauches et des pâtures sur les prairies de fauche.
Informations sur les prairies échantillonnées : • stabilité des pratiques : nombre d'années sans modification des pratiques, éventuellement pratiques anciennes en matière de mode d'exploitation, stade de fauche, pâtures, fertilisation, • fertilisation organique et minérale : nature, doses, dates et fréquences d'épandage, • rythme d'utilisation : nombre de coupes, dates des fauches, des pâtures, informations éventuelles sur les productions de fourrages, • pratiques d'entretien diverses : hersage, ébousage, fauche des refus ... • pratiques ponctuelles : sursemis, desherbage sélectif, localisé ... (critères d'élimination), • accidents dans le passé récent : attaques de campagnols, de sangliers ... (critères d'élimination).
Dans les prairies pâturées, informations complémentaires sur la conduite du pâturage : • mode et rythme de pâturage, effectifs et types d'animaux, nombre de pâtures, de fauches, dates et états de l'herbe aux différents passages, temps de repos entre les passages.

Tableau A-15 : Echelles de mesures utilisées dans les observations sur la végétation

ABONDANCE ET ABONDANCE-DOMINANCE DES ESPECES :

Calcul des abondances spécifiques relatives dans les prairies de fauche :
un total de 6 points, pour chacune des 50 poignées, est réparti entre les principales espèces en fonction de leur volume : ce sont les coefficients d'abondance (les présences sont également notées).
Pour chaque espèce nous calculons l'abondance relative ou B% selon la formule :

$$B\% = \frac{\text{Somme des coefficients d'abondance d'une espèce}}{\text{Somme des coefficients de toutes les espèces}} \times 100$$

Calcul des recouvrements spécifiques relatifs dans les prairies pâturées :
chaque coefficient d'abondance-dominance est affecté d'une valeur de recouvrement absolu, qui correspond au centre de sa classe. Dans une station, le recouvrement relatif de chaque espèce est obtenu en divisant son recouvrement absolu par la somme des recouvrements absolus.
L'échelle utilisée est la suivante :

+ : nombre d'individus et recouvrement faibles, (centre de classe = 0,1) ;
1 : espèce abondante ou non, recouvrement < 5%, (centre de classe = 3) ;
2 : individus abondants, recouvrement de 5 à 25 %, (centre de classe = 15) ;
3 : recouvrement de 25 à 50%, abondance quelconque, (centre de classe = 38) ;
4 : recouvrement de 50 à 75%,abondance quelconque, (centre de classe = 63) ;
5 : recouvrement supérieur à 75%, abondance quelconque (centre de classe = 88).

STRUCTURE ET PHYSIONOMIE DE LA VEGETATION

Echelle de sociabilité : notation visuelle, suivant une échelle très proche de celle de Braun-Blanquet :

1 : individus isolés ;
2 : petites touffes : individus (ou modules) réunis en petits groupes d'un diamètre de 5 à 10 cm à 5 cm du sol, (10 à 20 cm à 20 cm du sol) ;
3 : **touffes** : individus réunis en groupes d'un diamètre de plus de 10 cm à 5 cm du sol, (plus de 20 cm à 2O cm du sol) ;
4 : **petites taches** : individus appartenant à des agrégats ne se réunissant pas autour d'un point central et d'une surface d'au plus 0,25 m² ;
5 : taches : définition identique mais surface comprise entre 0,25 et 1m² ;
6 : **tapis** : définition identique mais surface supérieure à 1m².

La variabilité intraspécifique de la sociabilité dans une station est prise en compte par l'estimation visuelle du volume relatif de chaque forme.

• **répartition** : mode d'agrégation et de répartition :
1 : agrégats monospécifiques de répartition régulière dans la station (uniforme) ;
2 : agrégats monospécifiques de répartition irrégulière (localisée) ;
3 : agrégats plurispécifiques de types tapis de répartition régulière ;
4 : agrégats plurispécifiques de type tapis de répartition irrégulière.

• **vigueur** :
1 : individus chétifs ;
2 : individus d'allure normale ;
3 : individus particulièrement vigoureux.

Tableau A-16 : Elaboration des descripteurs écologiques utilisés dans l'échantillon des prairies de fauche

REGIME HYDRIQUE : variable qualitative à 4 classes :
1 : pédo-climat humide : sol profond (> 0,8 m), texture fine (limoneuse ou argilo-limoneuse), pas ou peu d'éléments grossiers, traces d'hydromorphie en profondeur. Pas de profil hydrique en période sèche (toutes ces stations sont à l'étage submontagnard). Présences caractéristiques : *Silene flos-cuculi, Sanguisorba officinalis, Equisetum sp.*.
2 : pédo-climat frais : sol profond (>0,8m), texture fine, pas ou peu d'éléments grossiers, pas de traces d'hydromorphie, souvent apports latéraux et exposition Nord-est à Nord-ouest (faible luminosité, faible demande climatique et long enneigement) ou sur les replats des versants Sud. Humidité moyenne des 60 1ers cms du sol de 24,5 % en période sèche (montagnard externe seul). Présences caractéritiques : *Polygonum bistorta, Phyteuma spicatum, Chaerophyllum hirsutum, Astrantia major, Pimpinella major.*
3 : pédo-climat moyen : sol d'au moins 60 cm, texture fine à peu grossière (limoneux à limoneux sableux), peu d'éléments grossiers, pas d'apports latéraux, rarement en exposition Nord. Humidité moyenne des 60 1ers cms du sol de 16,8 % en période sèche (montagnard externe seul). Présences caractéritiques : peu de mésohygrophiles et peu de mésoxérophiles.
4 : pédo-climat sec : sol d'au moins 40 cm, texture à tendance limono sableuse, plus d'éléments grossiers, souvent en exposition Sud-est à Sud-ouest (luminosité, forte demande climatique, enneigement plus court). Humidité moyenne sur les 60 1ers cms du sol de 12,8 % en période sèche (montagnard externe seul). Présences caractéritiques : *Salvia pratensis, Bromus erectus, Onobrychis viciifolia, Lathyrus heterophyllus, Malva moschata, Centaurea scabiosa, Centaurea jacea.*
STADE HABITUEL DE FAUCHE : exprimé en jours écoulés depuis le stade début épiaison de *Dactylis*
La date de réalisation moyenne du stade début épiaison est obtenue par calcul à l'aide de régressions reliant topographie et phénologie de *Dactylis* (FLEURY, 1985). La notation de la phénologie le jour de l'enquête permet de confirmer le diagnostic.
FERTILISATION TOTALE : utilisée pour rendre compte du régime trophique.
En effet sur notre échantillon nous constatons que : • les légumineuses ne sont jamais abondantes et font donc peu varier la nutrition azotée, • les restitutions par le pâturage (essentiellement limitées à celles de la pâture d'automne) sont peu variables d'une parcelle à l'autre et sont de faible importance, • le passé traditionnel des parcelles (avant 1950) est assez homogène.
Pour estimer le régime trophique nous avons calculé la fertilisation totale organique et minérale en estimant les quantités de N, de P et de K apportées en unités par hectare et par an. Pour celà, nous avons sommé la fertilisation minérale à une estimation de la fourniture en N, P, et K des apports organiques (ZIEGLER et VIAUX, 1982). Cette méthode prend en compte outre la dose, la nature du produit et l'ancienneté des apports.

Tableau A-17 : Calcul du topoclimat thermique, de la réserve utile corrigée et du nombre d'unités d'azote apportées dans l'échantillon des prairies pâturées

TOPOCLIMAT THERMIQUE :

L'indicateur utilisé est la date calculée du stade début épiaison de *Dactylis*. Cette date est obtenue par calcul à l'aide de régressions reliant topographie et phénologie de *Dactylis* (FLEURY, 1985).

REGIME HYDRIQUE :

Pour estimer le régime hydrique nous avons calculé la réserve utile (RU en mm) :
RU= PU*(1-taux de cailloux%) *facteur texture
avec :
PU= profondeur utile du sol en cm (limite d'apparition de l'horizon C)
facteur texture :(en mm/cm de sol)
Sable =0,7 ; Sable Limoneux = 1 ; Limon Sableux = 1,3 ; Limon moyen =1,7 ; Argile limoneuse = 2

Nous avons ensuite corrigé cette RU (RUC) en fonction de la position topographique :
Effet d'amont (zones concaves des solifluxions, pentes de raccordement, ...), apports profonds diffus (comblements morainiques) RUC = RU+ 30mm,
terrasses basses affectées par une nappe RUC >=100mm,
autres situations RUC=RU.

Cette méthode de calcul est présentée plus précisement dans un document du G.I.S. Alpes du Nord (1992) réalisé par DORIOZ J.M. et TREVISAN D.

REGIME TROPHIQUE :

UNITES D'AZOTE APPORTEES

Pour estimer le régime trophique nous avons calculé la fertilisation totale organique et minérale en estimant les quantités de N apportées en unités par hectare et par an. Pour cela, nous avons sommé la fertilisation minérale à une estimation de la fourniture en N, P, et K des apports organiques (ZIEGLER et VIAUX, 1982). Cette méthode prend en compte outre la dose, la nature du produit et l'ancienneté des apports.
Ces valeurs ont ensuite été mises en classes, puis modifiées selon l'importance des restitutions (estimées par comptage des bouses à l'automne)

Tableau A-18 : Echantillon des prairies de fauche :
classification des individus en catégories morpho-structurales détaillées

GRAMINEES

1 - A FEUILLES LARGES EN TOUFFES
- 1.a : à *Bromus erectus* (f. dures)
- 1.b : à *Holcus lanatus, Bromus mollis* ou espèces moins fréquentes à f. molles, courtes, colonisatrices annuelles ou pérennes
- 1.c : à *Arrhenatherum elatius, Trisetum flavescens* (tiges caulescentes ou remontantes)
- 1.d : autres espèces (*Dactylis, Festuca pratensis, Phleum pratense*, ...)

2 - A FEUILLES MOYENNES EN TACHES MONOSPECIFIQUES

3 - A FEUILLES LARGES ET MOYENNES PAR PETITS GROUPES DE TALLES PEU INDIVIDUALISES (dans des agrégats plurispécifiques de grande surface)

4 - A FEUILLES FINES OU MOYENNES CHETIVES ET CLAIRSEMEES

5 - LEGUMINEUSES

5.a : GROSSES LEGUMINEUSES, PORT DRESSE OU LIANE (*Viccia cracca, Trifolium pratense*)

5.b : *TRIFOLIUM REPENS* VIGOUREUX EN TACHE, PORT ETALE

5.c : PETITES LEGUMINEUSES CHETIVES (*Trifolium repens, Lotus corniculatus*)

DICOTYLEDONES NON LEGUMINEUSES

GROSSES DICOTYLEDONES EN TOUFFES OU EN TACHES

6.a - TOUFFES D'OMBELLIFERES

6.b - TOUFFES DE *RUMEX OBTUSIFOLIUS*

7.a : TOUFFES A FEUILLES ABONDANTES, LIMBES ETALES (horizontaux) (*Geranium sylvaticum, Astrantia major*)

7.b : TACHES MONOSPECIFIQUES A FEUILLES ABONDANTES DE TAILLE MOYENNE (*Polygonum bistorta, Chaerophyllum hirsutum*)

8 - TACHES MONOSPECIFIQUES, GRANDES FEUILLES, COUVERT DENSE, ESPECES RAMPANTES

DICOTYLEDONES MOYENNES

9 - GROSSES ROSETTES DRESSEES

10 - NON EN ROSETTES DRESSEES
- 10.a : En touffes (*Centaurea jacea, Gallium mollugo*)
- 10.b : A tiges peu groupées et peu de feuilles (*Rumex acetosa, Crepis biennis*)
- 10.c : A tiges peu groupées et feuilles abondantes mais peu groupées (*Geranium sylvaticum*)
- 10.d : Tiges ou feuilles isolées, individus non agrégés (*Ranunculus acris, Aegopodium podagraria*)

PETITES DICOTYLEDONES, INDIVIDUS PEU AGREGES

11 - PETITES ROSETTES ET TIGES ISOLEES, PEU FEUILLUES
- 11.a : Petites rosettes (*Plantago lanceolata, Leontodon sp*)
- 11.b : Tiges isolées, peu feuillues (*Rhinanthus sp*)
- 11.c : Peu volumineuses, intersticielles, de strate inférieure, petites feuilles (*Veronica sp*)

Les espèces entre parenthèses ne sont citées qu'à titre d'exemple, elles ne représentent pas la liste exhaustive des espèces pouvant prendre un type morpho-structural, de plus elles peuvent également se rencontrer dans d'autres catégories morpho-structurales.

Dans les niveaux inférieurs de cette classification détaillée, il peut n'y avoir qu'une seule espèce susceptible d'appartenir à la classe. Par exemple, pour les grosses dicotylédones en touffes nous distinguons les ombellifères de *Rumex obtusifolius*. Cette dernière catégorie ne regroupe cependant pas tous les *Rumex obtusifolius* puisque dans certaines stations cette espèce se présente sous une forme moins exubérante (dicotylédone moyenne) à tiges peu groupées et peu de feuilles.

Tableau A-19 : Exemples d'affectation d'abondances spécifiques aux groupes morpho-structuraux d'individus correspondant en tenant compte de la sociabilité, de la répartition, de la vigueur et de la hauteur des tiges

Cas N°	1	2	3	4	5
Espèce	*Dactylis glomerata*	*Dactylis glomerata*	*Poa trivialis*	*Geranium sylvaticum*	*Anthriscus sylvestris*
Abondance %	20	25	30	40	25
Sociabilité	3	1	5	1 (50%) 3 (50%)	1 (30%) 3 (70%)
Répartition	1	3	1	3 et 1	3 et 1
Vigueur	2 et 3	1	2	2	2 et 3
Haut. tiges (mètres)	1	0.8	0.9	0.7 (50%) 0.9 (50%)	0.8 (30%) 1.2 (70%)

Cas N°1 : les 20% d'abondance appartiennent au groupe des graminées à feuilles larges en touffes, à feuilles ni poilues, ni coupantes,vert intense et à grosses tiges.

Cas N° 2: les 25% d'abondance appartiennent au groupe des graminées à feuilles fines ou moyennes chétives et clairsemées.

Cas N° 3 : les 30% d'abondance appartiennent au groupe des graminées à feuilles larges et moyennes en agrégats monospécifiques.

Cas N° 4 : les 40% d'abondance appartiennent pour moitié au groupe des dicotylédones moyennes a tiges peu groupées et feuilles abondantes et pour l'autre moitié aux grosses dicotylédones en touffes à feuilles radicales abondantes et port étalé.

Cas N° 5 : les 25% d'abondance appartiennent pour 30% aux dicotylédones moyennes à tiges peu groupées et feuilles abondantes et pour 70% aux grosses touffes d'ombellifères.

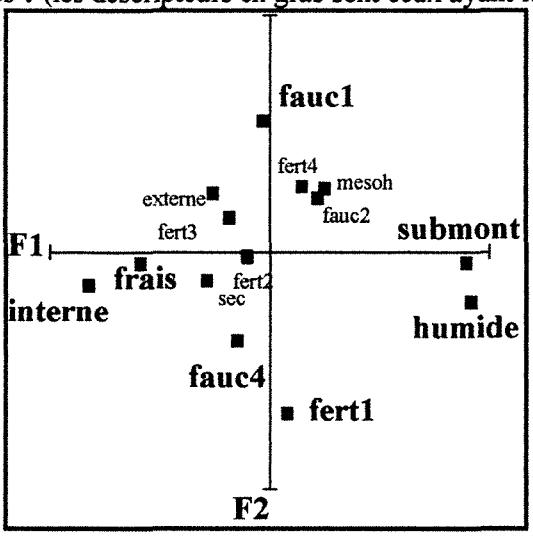
Tableau A-20 : Description architecturale et structurale de la végétation des prairies pâturées : liste des modalités utilisées pour la caractérisation des éléments structuraux

ELEMENTS STRUCTURAUX HERBACES
TOUFFES MONOSPECIFIQUES
1 - de graminées à feuilles larges : 1.b : à *Festuca arundinacea*, recouvrement > 5% 1.c : à *Bromus erectus*, recouvrement > 10% (avec tapis à *Brachypodium pinnatum*) 1.d : autres espèces, recouvrement > 30% **2 - d'ombellifères :** 2.b : à *Heracleum sphondylium*, recouvrement > 10% **3 - de grosses dicotylédones** , recouvrement > 10% **4 - de dicotylédones à feuilles abondantes et limbes étalés**, recouvrement > 20%
TACHES MONOSPECIFIQUES
5 - de graminées : 5.a : à feuilles moyennes, recouvrement > 10% 5.b : à *Agropyron repens* 5.c : à *Brachypodium pinnatum*, recouvrement > 10% (avec touffes de *Bromus erectus*) **6 - de dicotylédones non légumineuses :** 6.a : à *Ranunculus acris*, recouvrement > 10% 6.b : à grosses dicotylédones rampantes, recouvrement > 10% 6.c : à ombellifères à feuilles découpées, recouvrement > 10%
TAPIS PLURI-SPECIFIQUES
8 - à rosettes couvrant complètement le sol : 8.a : à petites rosettes, recouvrement > 30% 8.b : à grosses rosettes dressées, recouvrement > 30%
9 - à graminées à feuilles larges par petits groupes de talles juxtaposés, recouvrement > 20%
10 - à graminées à feuilles moyennes et larges 10.a : *Trifolium* < 20%, recouvrement > 30% 10.b : *Trifolium* > 20%, recouvrement > 30%
11 - à graminées à feuilles moyennes vigoureuses et denses en gazon avec recouvrement *Trifolium* > 20 % et grosses rosettes abondantes, recouvrement > 30%
12 - à graminées à f. fines et moyennes vigoureuses et denses avec *Trifolium* vigoureux > 20 %, recouvrement > 30%
13 - à graminées à f. fines et/ou moyennes peu denses) 13.a : *Trifolium* < 20 %, recouvrement > 30% 13.b : *Trifolium* > 20 %, recouvrement > 30%
14 - à graminées à feuilles fines avec petites dicotylédones et/ou *Trifolium* chétif, recouvrement > 30%
ELEMENTS STRUCTURAUX LIGNEUX OU PSEUDO-LIGNEUX
ligneux haut : plus de 50 cm de haut, recouvrement > 1 %

Figure A-2 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche.

Abondance des espèces

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Espèces : (seules les espèces contributives au plan sont représentées)

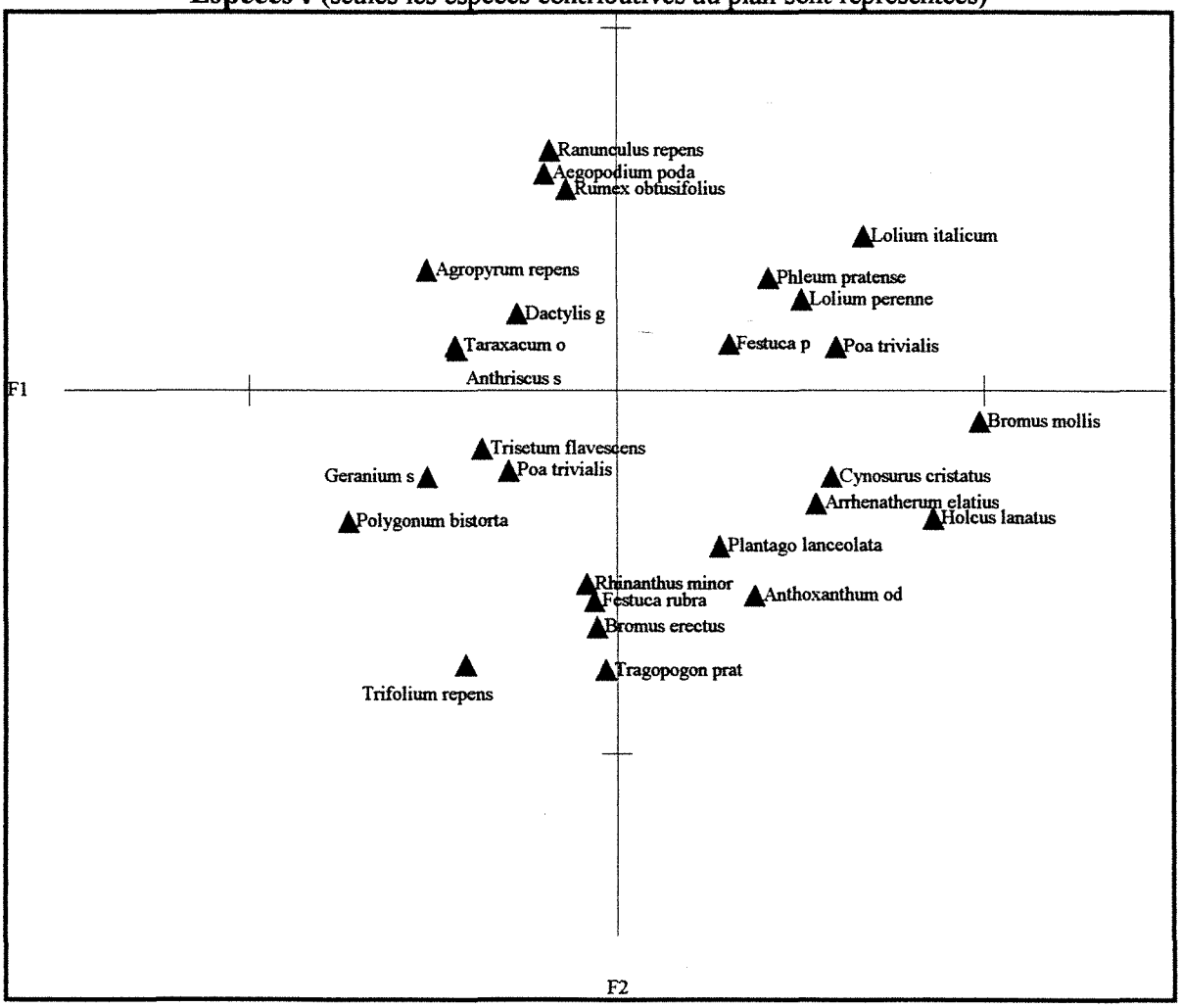
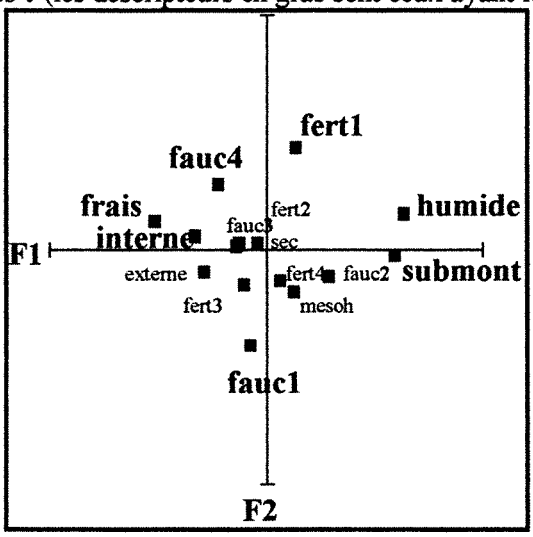


Figure A-3 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche.

Morphologie potentielle des espèces

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Morphologie des espèces : (les groupes morphologiques en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)

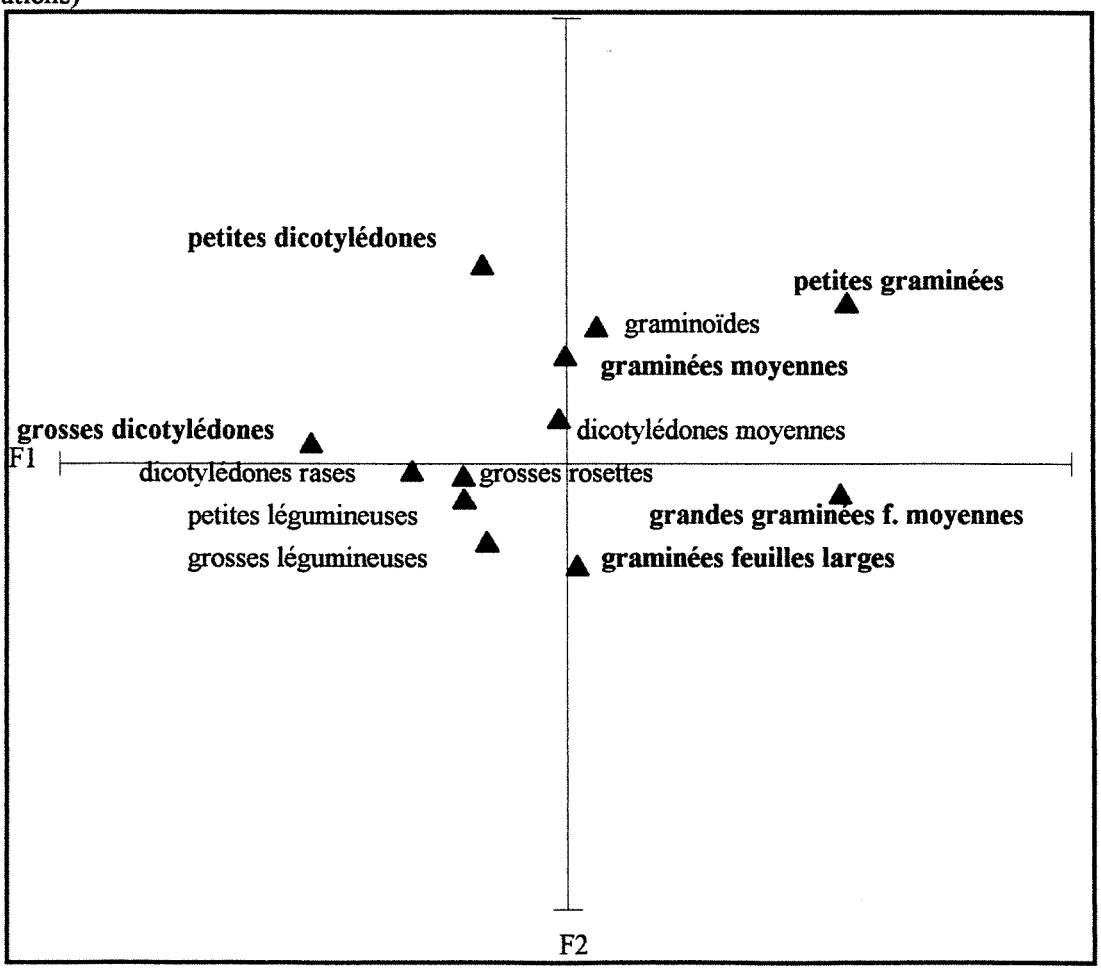
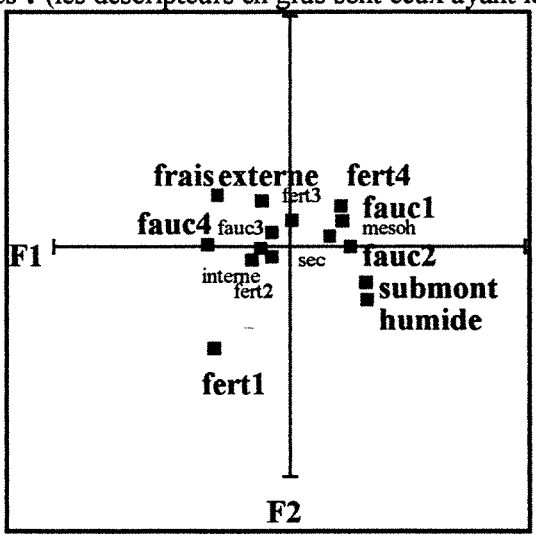


Figure A-4 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Echantillon régional de prairies de fauche.

Morpho-structure des individus

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Morpho-structure des individus : (les groupes morpho-structuraux en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)

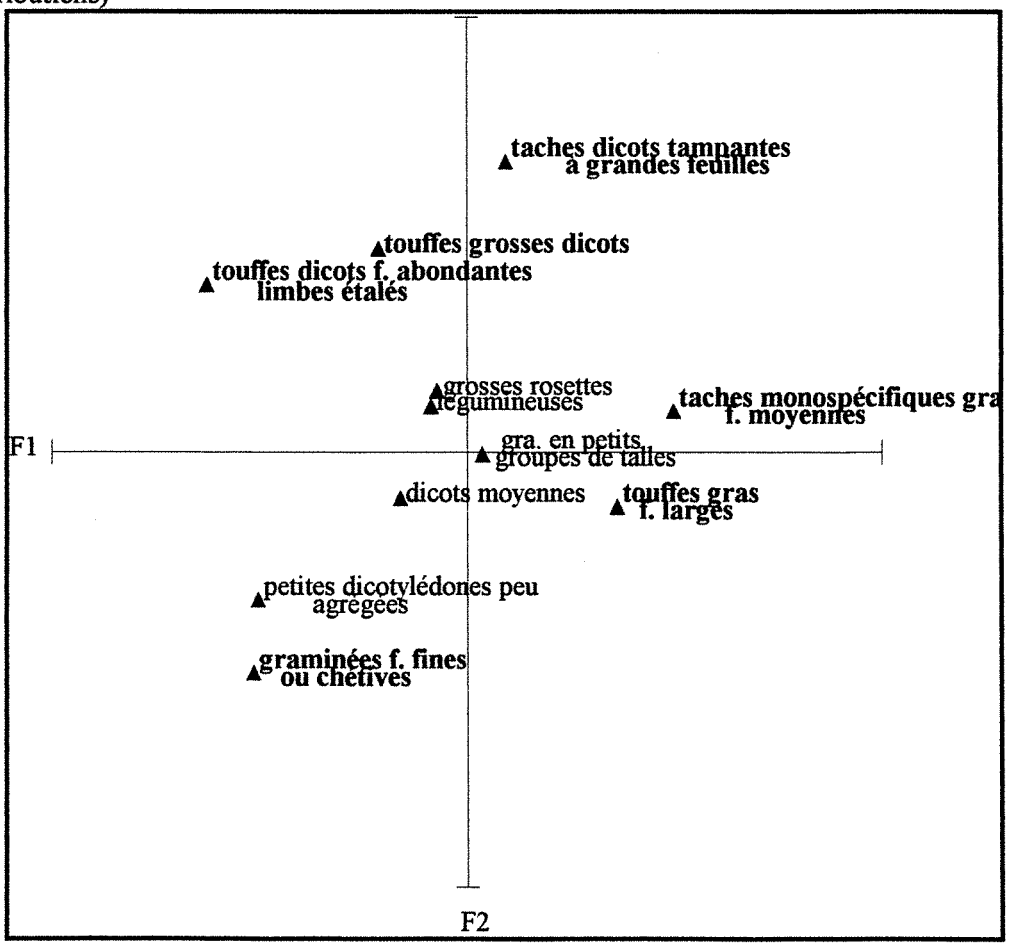
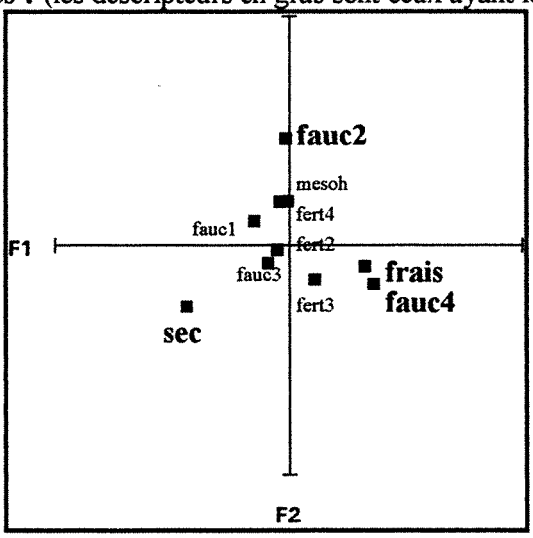


Figure A-5 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs". Prairies de fauche de l'étage montagnard externe.

Présence des espèces

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Espèces : (seules les espèces contributives au plan sont représentées)

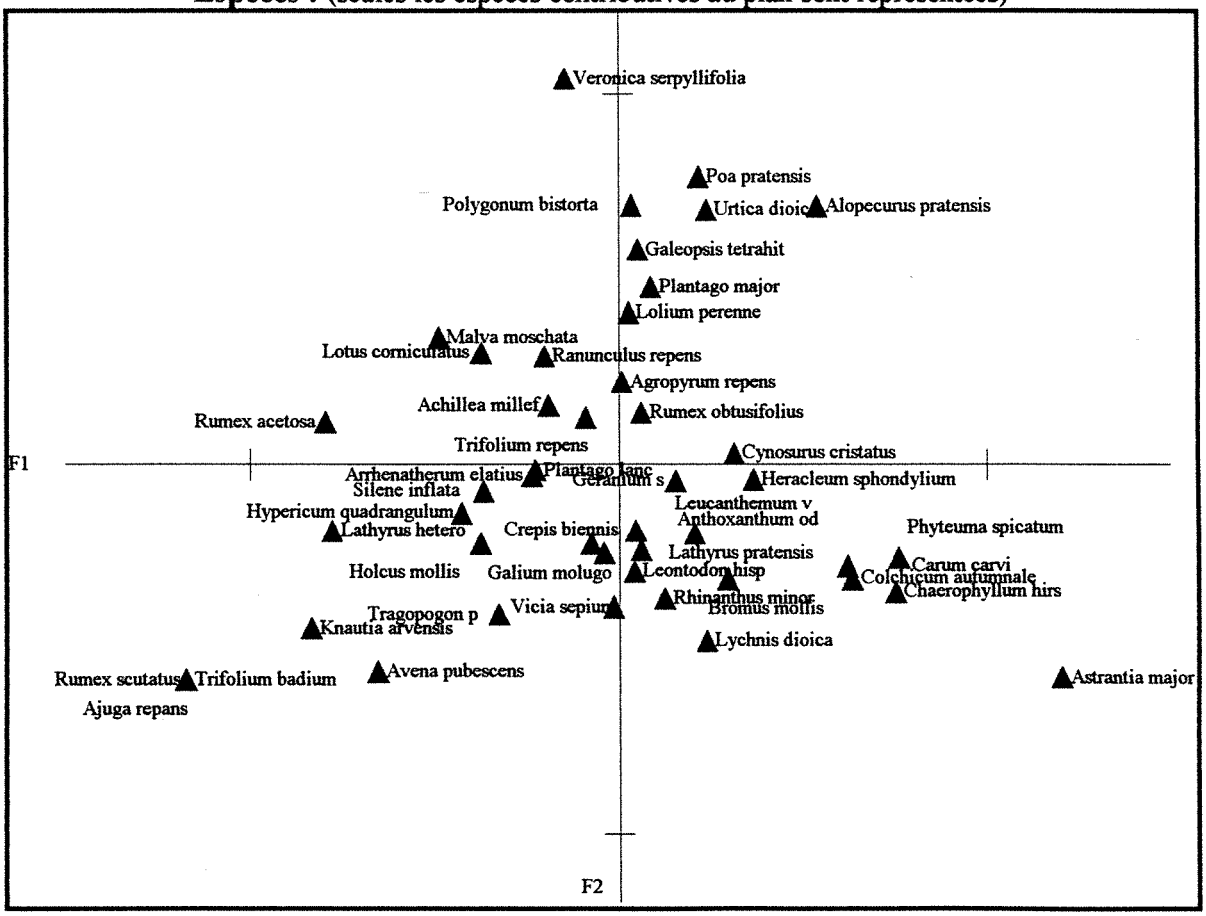
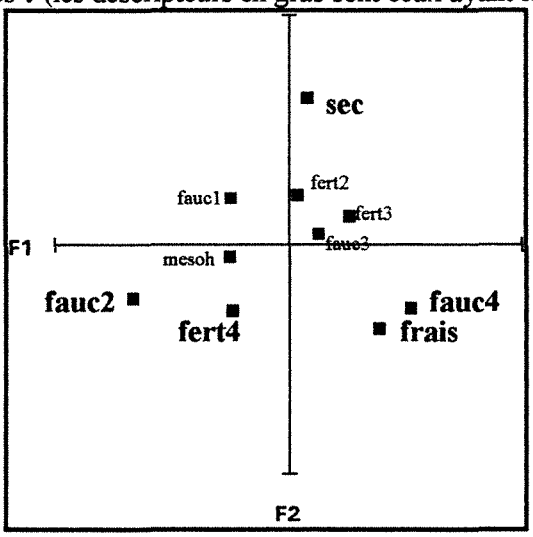
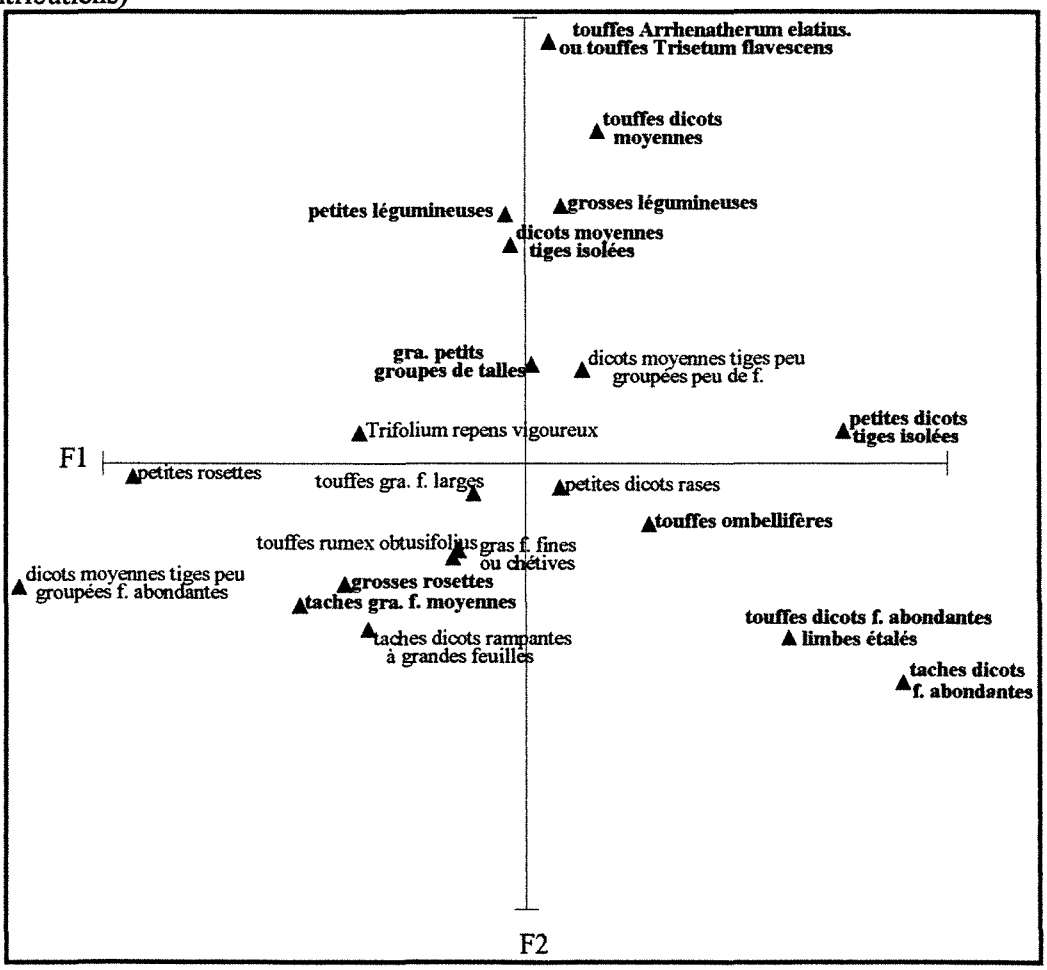


Figure A-6 : Représentation des classes des descripteurs écologiques et de la végétation dans le plan F1X F2 des AFC "végétation-descripteurs".
Prairies de fauche de l'étage montagnard externe.
Morpho-structure détaillée des individus

Descripteurs écologiques : (les descripteurs en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



Morpho-structure des individus : (les groupes morpho-structuraux en gras sont ceux ayant les plus fortes contributions)



2 - RESULTATS COMPLEMENTAIRES : ECHANTILLON DES PRAIRIES PATUREES DE L'ETAGE MONTAGNARD EXTERNE DES ALPES DU NORD

Tableau A-21 : Corrélations significatives entre modalités des descripteurs écologiques dans l'échantillon de pâtures des Alpes du Nord.

Seules les modalités de descripteurs liées de façon significative et positive avec des modalités d'autres descripteurs sont portées dans ce tableau.
(n=128 : coefficients de corrélation entre modalités de descripteurs écologiques : * r positif significatif au seuil 1%, *: r> =0.500

DESCRIPTEUR ECOLOGIQUE	TEMPE3	TEMPE2	TEMPE1	TSEC	MESOH	NT1	NT2	NT4	NT5	PH3	PP	PPP	PFP	CON2	CON4
Topoclimat thermique															
Régime hydrique:															
TSEC	*			1											
TFRAIS			*												
Fertilisation totale															
Nt5	*								1						
pH du sol															
pH1			*												
pH3				*						1					
Type d'utilisation															
PP			*	*		*	*				1				
PPP		*						*				1			
PPPP			*												
PFP		*											1		
PPFP	*				*				*						
Taux de consommation															
CON1				*							*				
CON2									*					1	
CON3										*			*		
CON4						*									1
Piétinement :															
PIE1						*									*
PIE3												*		*	

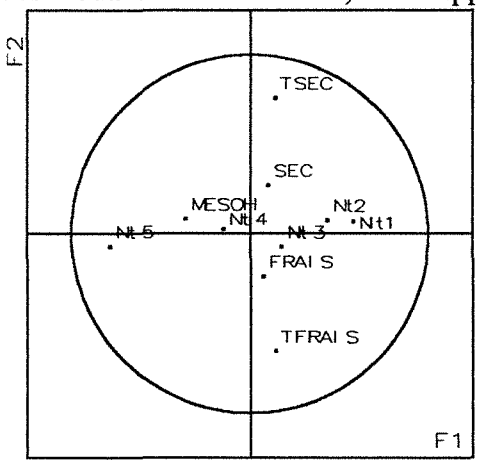
Tableau A-22 : AFCVI sous contraintes dans les pâtures des Alpes du Nord. Part de l'inertie expliquée par les différentes variables écologiques.

somme des valeurs propres AFCVI/ somme des valeurs propres AFCVI avec l'ensemble des descripteurs écologiques	MODE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION			
	présence des espèces	abondance des espèces	recouvrement des éléments structuraux	structure et architecture de la végétation
Rapports des traces :				
Topoclimat thermique	22,0	17,8	14,6	15,1
Régime hydrique	**22,3**	**18,1**	18,0	19,1
azote apporté	**33,5**	**33,2**	**32,8**	**32,0**
Type d'utilisation	**36,3**	**31,5**	**28,8**	**32,0**
Taux de consommation	14,3	**18,1**	**23,2**	**19,4**
Type de piétinement	11,6	11,4	12,1	17,2
(1) Rapports des traces :				
azote apporté et régime hydrique	53,7	49,7	-	-
azote apporté et taux consommation	-	-	52,0	47,7
Rapports des traces sachant (1) :				
Topoclimat thermique	**10,7**	9,1	-	-
Régime hydrique	-	-	**13,6**	**16,3**
Taux de consommation	10,1	**13,1**	-	-
Type de piétinement	6,4	6,4	5,6	9,5
(2) Rapports des traces sachant (1) :				
Taux de consommation, type de piétinement et topoclimat thermique	25,3	27,5	-	-
Rég. hydrique et type piétinement	-	-	18,9	23,7
Rapports des traces sachant (1) et (2) :				
Topoclimat thermique	-	-	6,8	6,5
pH du sol	5,8	6,0	6,8	6,5
Type d'utilisation	**15,2**	**16,1**	**16,4**	**17,8**
(3)Rapports des traces sachant (1) et (2) :				
Type d'utilisation et pH du sol	21,0	22,8	-	-
Type d'utilisation, pH sol, et topoclimat thermique	-	-	29,1	28,6
Rapports des traces (1)+(2)+(3)	100	100	100	100

Figure A-7 : Variables écologiques et états de végétation dans l'AFCVI réalisée avec azote apporté et régime hydrique.Pâtures des Alpes du Nord.

Présence des espèces

Cercle de corrélation des modalités des variables, azote apporté et régime hydrique



Espèces : seules les espèces indicatrices sont représentées
(variance <0,550 sur au moins un des deux axes)

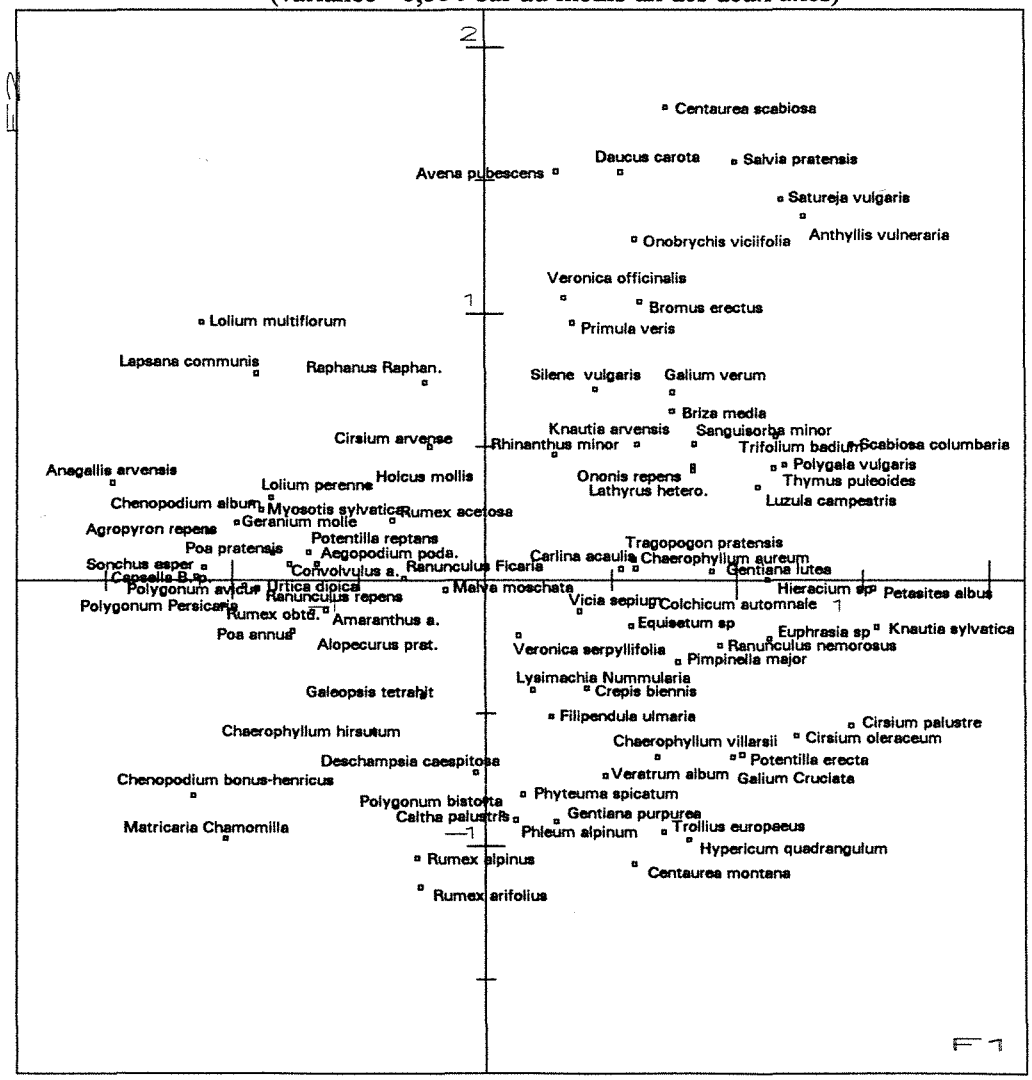
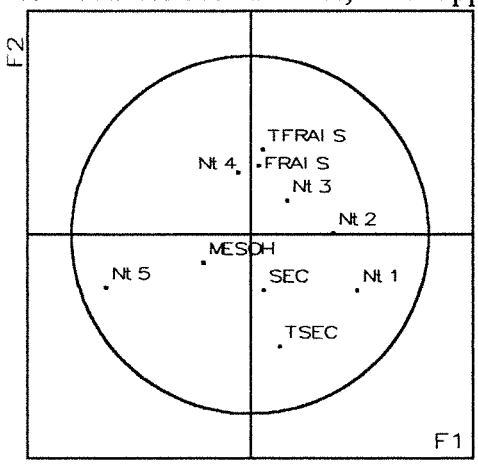


Figure A-8 : Variables écologiques et états de végétation dans l'AFCVI réalisée avec azote apporté et régime hydrique.Pâtures des Alpes du Nord.

Abondance des espèces

Cercle de corrélation des modalités des variables, azote apporté et régime hydrique



Espèces : seules les espèces indicatrices sont représentées
(variance<0,550 sur au moins un des deux axes)

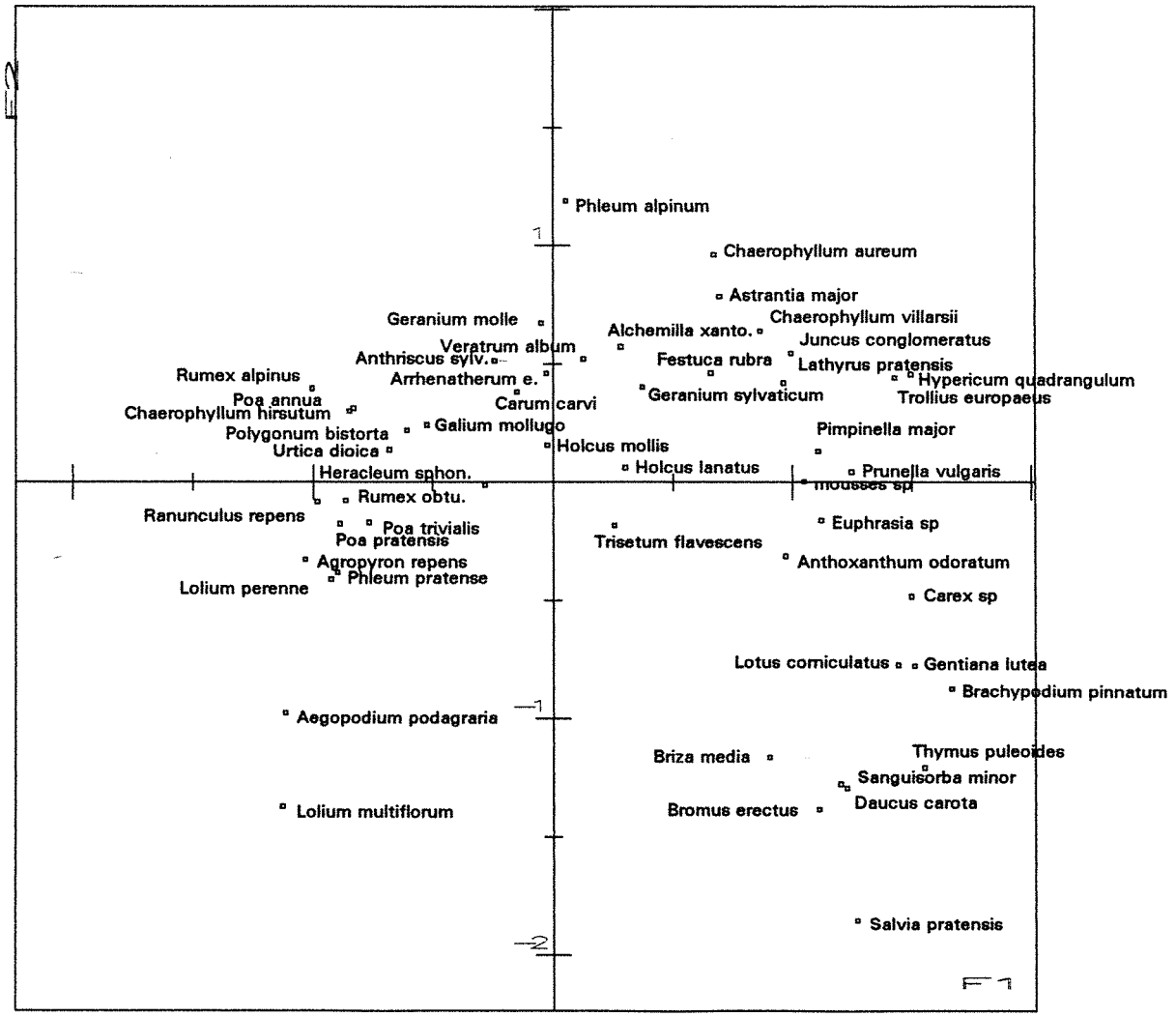
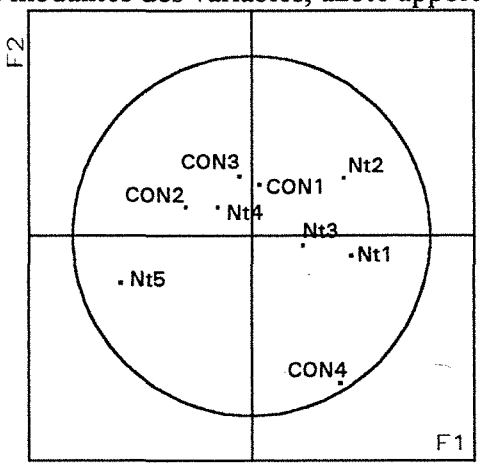


Figure A-9 : Variables écologiques et états de végétation dans l'AFCVI réalisée avec azote apporté et taux de consommation.Pâtures des Alpes du Nord.

Structure et architecture conjointes

Cercle de corrélation des modalités des variables, azote apporté et taux de consommation



Etats de végétation : seuls les états architecturaux sont représentés, les états en gras sont ceux ayant une valeur indicatrice (variance<0,550 sur au moins un des deux axes)

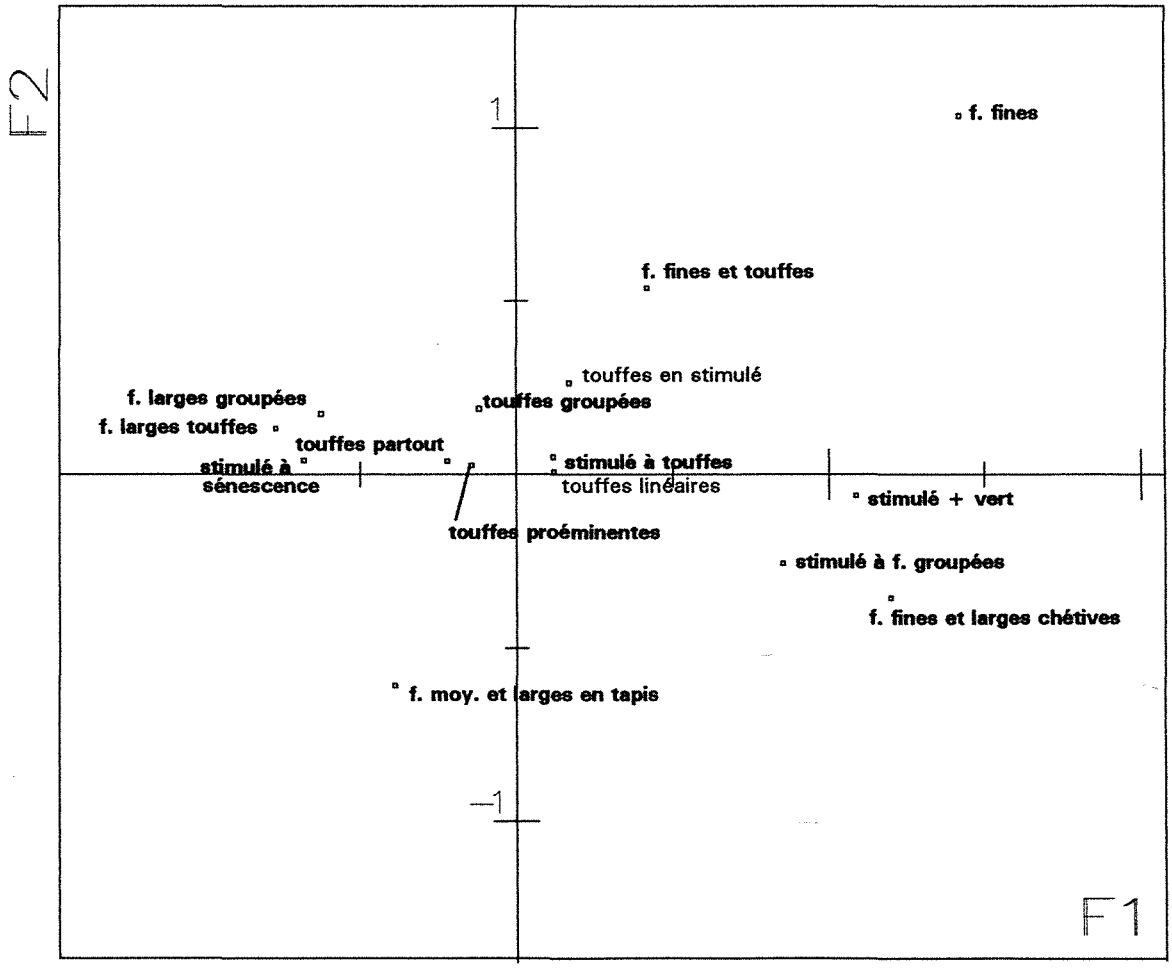
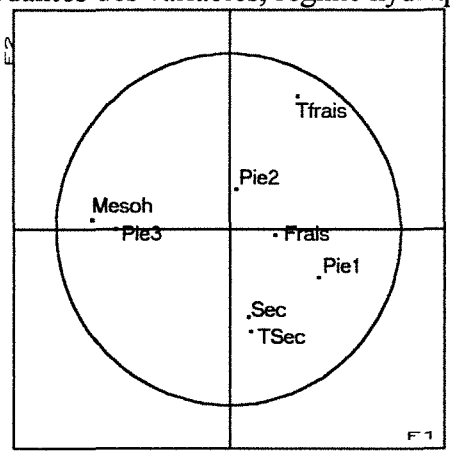


Figure A-10 : Variables écologiques et états de végétation dans l'AFCVI réalisée avec régime hydrique et type de piétinement sachant azote apporté et taux de consommation. Pâtures des Alpes du Nord.

Structure et architecture conjointes

Cercle de corrélation des modalités des variables, régime hydrique et type de piétinement



Etats de végétation : seuls les états architecturaux et structuraux ayant une valeur indicatrice sont représentés (variance<0,550 sur au moins un des deux axes)

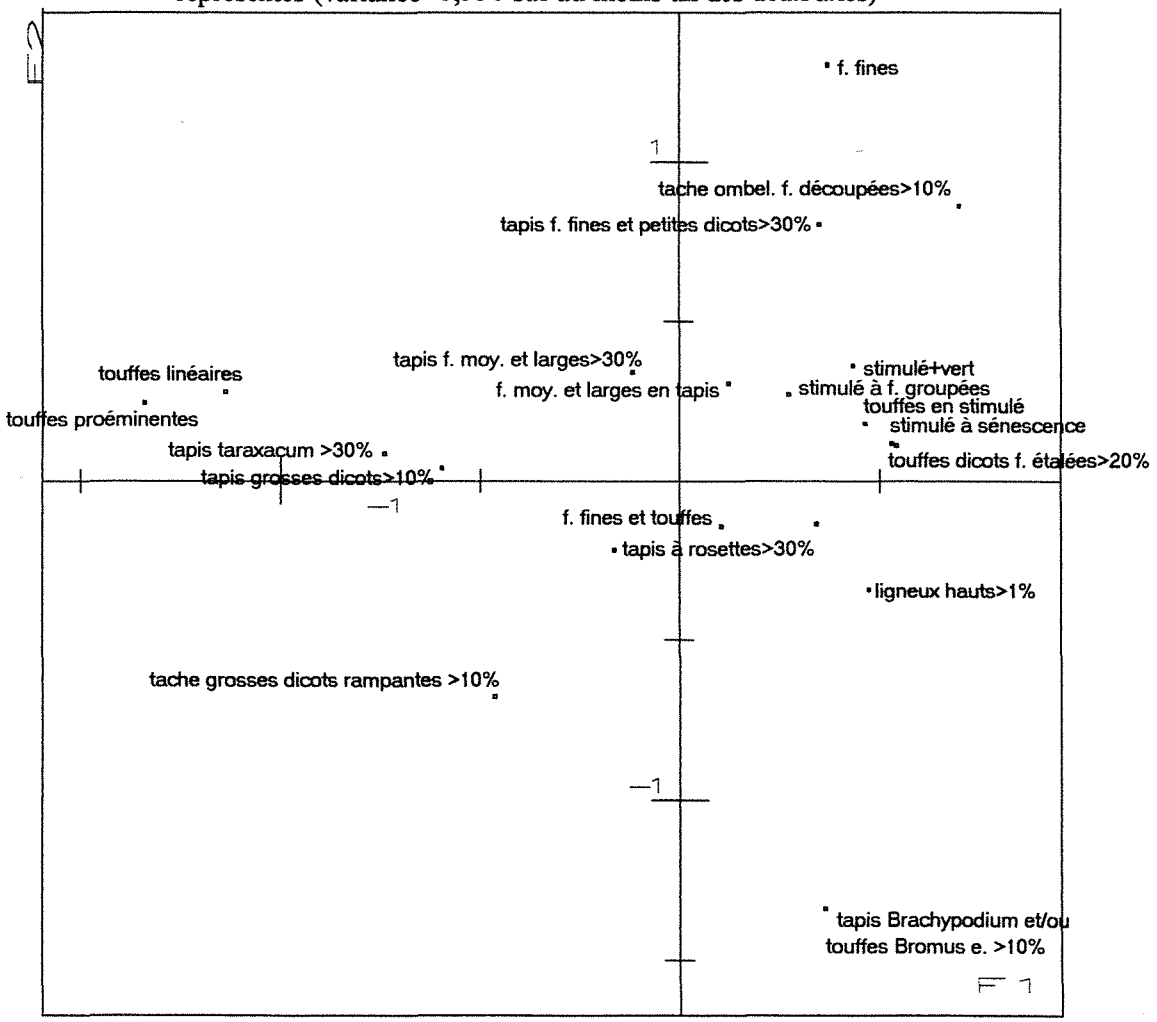
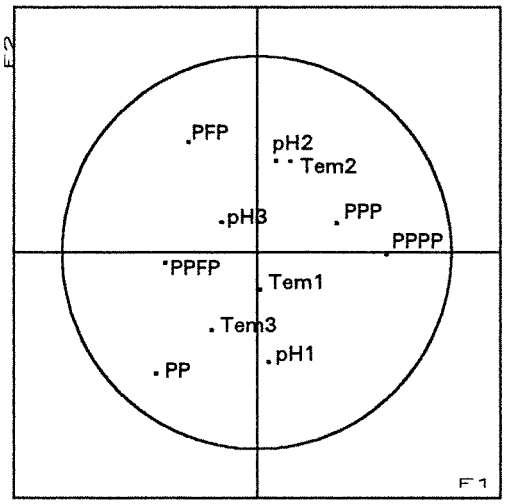


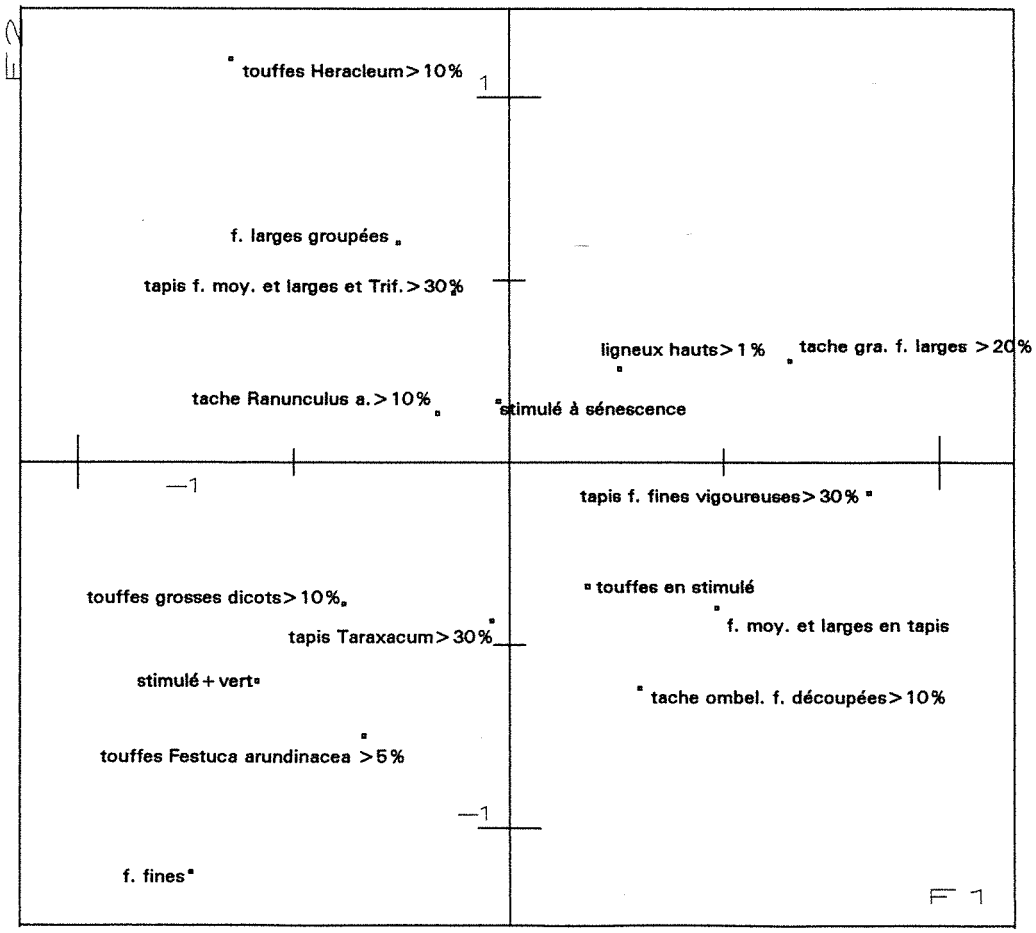
Figure A-11 : Variables écologiques et états de végétation dans l'AFCVI réalisée avec régime thermique, pH du sol et type d'utilisation sachant les autres variables écologiques. Pâtures des Alpes du Nord.

Structure et architecture conjointes

Cercle de corrélation des modalités des variables, régime thermique, pH du sol et type d'utilisation



Etats de végétation : seuls les états architecturaux et structuraux ayant une valeur indicatrice sont représentés (variance<0,550 sur au moins un des deux axes)



ANNEXE 7

TABLES DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES DU TYPE FM3 A "GERANIUM ET GRAMINEES EN TAPIS REGULIER" PRESENTE EN EXEMPLE DANS LE TEXTE

Abréviations utilisées :
n=nombre d'observations,
R=coefficient de corrélation,
SR=écart-type résiduel.

AGE : nombre de jours depuis le début épiaison de *Dactylis* plus 50 (âge=50 à ce stade).
MAT (g kg-1MS) : Teneur en matières azotées totales.
DMO (%) : Digestibilité de la matière organique.
CB (g kg-1MS) : Teneur en cellulose brute.
MS (%) : Teneur en matière sèche.
MM (%) : Teneur en cendres.

Equations de prévision de la valeur nutritive du fourrage vert :

MS (%) =0,001750*AGE^2 +11,8 n=63 SR=+/-3,7 R=0,846
DMO(%) = -0,283*AGE +85,1 n=N=34 SR=+/-2,2 R=0,924
MAT g kg MS^{-1}= -6,23*AGE +0,0297*AGE^2 +399 n=62 SR=+/-12,5 R=0,970
CB g kg MS^{-1}=6,99*AGE -0,0328*AGE^2-44,8 n=58 SR=+/-24,4 R=0,922
MM (%)= -0,207*AGE +0,00116*AGE^2 +17,5 n=63 SR=+/-1,6 R=0,626

Le rendement en MS a été calculé à l'aide des équations reliant descripteurs écologiques et production présentées dans l'annexe 4.

La valeur nutritive du foin a été calculée à l'aide des équations de prévision des modifications entraînées par la fenaison de l'annexe 5.

Les besoins en séchage ont été calculés à l'aide des équations de la page 75 du texte.

ANNEXE 8

LISTE DES ESPECES PRESENTES DANS LES PRAIRIES DE FAUCHE DES ALPES DU NORD

(PAR ORDRE DE FREQUENCE DECROISSANTE)

Le nom français est suivi du nom latin selon la nomenclature de Flora Europea.

Les espèces suivies d'un astérisque (*) n'ont pas été rencontrées dans les prairies de l'étage montagnard des Alpes externes. Elles ont été observées à l'étage submontagnard ou dans les Alpes internes.

Espèces présentes dans 100 à 80 % des relevés :

dactyle aggloméré	*Dactylis glomerata L.*
fétuque des prés	*Festuca pratensis Hudson*
paturin commun	*Poa trivialis L.*
trisète jaunatre	*Trisetum flavescens (L.) Beauvois*
trèfle blanc	*Trifolium repens L.*
trèfle des prés	*Trifolium pratense L.*
pissenlit	*Taraxacum officinale aggr.*
renoncule acre	*Ranunculus acris L.*

Espèces présentes dans 79 à 60 % des relevés :

fléole des prés	*Phleum pratense L.*
anthrisque sauvage	*Anthriscus sylvestris (L.) Hoffm.*
rumex oseille	*Rumex acetosa L.*

Espèces présentes dans 59 à 40 % des relevés :

agrostis ténu	*Agrostis capillaris L.*	crépis bisannuel	*Crepis biennis L.*
avoine élevée	*Arrhenatherum elatius L.*	gaillet mou	*Galium mollugo L.*
cretelle	*Cynosurus cristatus L.*	géranium des bois	*Geranium sylvaticum L.*
flouve odorante	*Anthoxanthum odoratum (L.) Beauvois*	grande berce	*Heracleum sphondylium L.*
		marguerite	*Leucanthemum vulgare aggr.*
ray grass anglais	*Lolium perenne L.*		
		plantain lancéolé	*Plantago lanceolata L.*
gesse des prés	*Lathyrus pratensis L.*	rhinanthe	*Rhinanthus minor aggr.*
vesce cracca	*Vicia cracca L.*	rumex à feuilles obtuses	*Rumex obtusifolius L.*
achillée mille feuilles	*Achillea millefolium L.*	salsifis des prés	*Tragopogon pratensis L.*
aegopode podagraire	*Aegopodium podagraria L.*	véronique petit chêne	*Veronica chamaedrys L.*
alchémille vulgaire	*Alchemilla xanthochlora aggr.*		

Espèces présentes dans 39 à 20 % des relevés :

brome mou	*Bromus hordaceus L.*	campanule rhomboïdale	*Campanula rhomboidalis L.*
chiendent rampant	*Agropyron repens (L.) P. Beauv.*	ceraiste des champs	*Cerastium arvense L.*
		colchique	*Colchicum autumnale L.*
fétuque rouge	*Festuca rubra L.*	cumin des prés	*Carum carvi L.*
houlque laineuse	*Holcus lanatus L.*	knautie des champs	*Knautia arvensis (L.) Coulter*
paturin des prés	*Poa pratensis L.*		
		léontodon hispide	*Leontodon hispidus L.*
lotier corniculé	*Lotus corniculatus L.*	myosotis des bois	*Myosotis sylvatica Hoffm.*
vesce des haies	*Vicia sepium L.*	renoncule rampante	*Ranunculus repens L.*
		silène enflé	*Silene vulgaris (Moench) Garcke*

Espèces présentes dans 19 à 5 % des relevés :

Chaerophyllum aureum L.	*Elictotrichon pubescens (Hudson) Pilger*	centaurée jacée	*Centaurea jacea L.*
		chaerophylle dorée	*Chaerophyllum aureum L.*
brome dressé	*Bromus erectus Hudson*	chaerophylle hirsute	*Chaerophyllum hirsutum L.*
fétuque élevée	*Festuca arundinacea Schreber*	cirse des champs	*Cirsium arvense (L.) Scop.*
		compagnon rouge	*Silene dioica (L.) Clairv.*
fléole des Alpes	*Phleum alpinum L.*	dame de 11 heures	*Ornithogalum umbellatum L. (*)*
houlque molle	*Holcus mollis L.*		
ray grass d'Italie	*Lolium multiflorum Lamarck*	gaillet vrai	*Galium verum L.*
		grand boucage	*Pimpinella major (L.) Hudson*
gesse à f. de 2 formes	*Lathyrus heterophyllus L.*	grande astrance	*Astrantia major L.*
luzerne cultivée	*Medicago sativa L.*	luzule des champs	*Luzula campestris (L.) DC.*
luzerne lupuline	*Medicago lupulina L.*	lychnis à fl. de coucou	*Silene flos-cuculi L.*
sainfoin	*Onobrychis viciifolia Scop.*	millepertuis à 4 angles	*Hypericum quadrangulum L*
vesce cultivée	*Vicia sativa L. (*)*	myosotis des champs	*Myosotis arvensis (L.) Hill (*)*
brunelle vulgaire	*Prunella vulgaris L.*	ortie	*Urtica dioica L.*
bugle rampant	*Ajuga reptans L.*	paquerette	*Bellis perennis L.*
centaurée des montagnes	*Centaurea montana L.*	plantain majeur	*Plantago major L.*
		prêle sp.	*Equisetum sp. L.*
		raiponce en épi	*Phyteuma spicatum L.*
		renoncule bulbeuse	*Ranunculus bulbosus L. (*)*
		renouée bistorte	*Polygonum bistorta L.*
		sauge des prés	*Salvia pratensis L.*
		stellaire graminée	*Stellaria graminea L.*
		véronique à f. de serpolet	*Veronica serpyllifolia L.*
		véronique agreste	*Veronica agrestis L. (*)*

Espèces présentes dans moins de 5 % des relevés :

avoine cultivée	*Avena sativa L. (*)*	euphorbe faux cyprès	*Euphorbia cyparissias L. (*)*
brize intermédiaire	*Briza media L.*	euphorbe verruqueuse	*Euphorbia verrucosa L. (*)*
brome rameux	*Bromus ramosus Hudson (*)*	euphraise sp.	*Euphrasia sp. L. (*)*
		fenouil des Alpes	*Meum athamanticum Jacq. (*)*
brome stérile	*Bromus sterilis L. (*)*	gaillet luisant	*Galium lucidum All. (*)*
canche flexueuse	*Deschampsia flexuosa (L.) Trin. (*)*	gaillet oblique	*Galium obliquum Villars (*)*
canche gazonnante	*Deschampsia caespitosa (L.) P. Beauv. (*)*	galéopsis tétrahit	*Galeopsis tetrahit L.*
		gentiane acaule	*Gentiana acaulis L. (*)*
fétuque ovine	*Festuca ovina L. (*)*	gentiane jaune	*Gentiana lutea L. (*)*
fétuque paniculée	*Festuca paniculata (L.)Schinz & Thell(*)*	gentiane printanière	*Gentiana verna L. (*)*
		géranium disséqué	*Geranium dissectum L. (*)*
koelérie pyramidale	*Koeleria pyramidata (Lam.) P. Beauv. (*)*	géranium mou	*Geranium molle L.*
		knautie à feuilles de cardère	*Knautia dipsacifolia Kreutzer (*)*
paturin annuel	*Poa annua L.*		
paturin bulbeux	*Poa bulbosa L. (*)*	laser à larges feuilles	*Laserpitium latifolium L. (*)*
paturin de Chaix	*Poa chaixii Villars (*)*	laser siler	*Laserpitium siler L. (*)*
paturin des Alpes	*Poa alpina L. (*)*	léontodon des Pyrénées	*Leontodon pyrenaicus Finch et Sell (*)*
seslérie bleu	*Sesleria caerulea (L.) Ard.(*)*	lierre terrestre	*Glechoma hederacea L. (*)*
vulpin des prés	*Alopecurus pratensis L.*	ligustique mutelline	*Ligusticum mutellina (L.)Crantz (*)*
anthyllis vulnéraire	*Anthyllis vulneraria L.*	lis martagon	*Lilium Martagon L. (*)*
ononis rampant	*Ononis repens L.*	liseron	*Convolvulus arvensis L.*
trèfle brun	*Trifolium badium Schreber*	Lunetière lisse	*Biscutella laevigata L. (*)*
trèfle des montagnes	*Trifolium montanum L.*	lysimaque vulgaire	*Lysimachia vulgaris L.*
sainfoin des montagnes	*Onobrychis montana DC. (*)*	mauve musquée	*Malva moschata L.*
		millepertuis perforé	*Hypericum perforatum (L.)*
		narcisse	*Narcissus poëticus L. (*)*
anémone à fleurs de narcisse	*Anemone narcissifolia L. (*)*	nigritelle noirâtre	*Nigritella nigra (L.) Reichb. (*)*
armoise vulgaire	*Artemisia vulgaris L. (*)*	orchis sp.	*Orchis sp. L.*
arnica des montagnes	*Arnica montana L. (*)*	orpin sp	*Sedum sp. L.*
asphodèle blanc	*Asphodelus albus Miller (*)*	pediculaire chevelue	*Pedicularis comosa L. (*)*
aster fausse pâquerette	*Aster bellidiastrum (L.) Scop. (*)*	pétasite blanc	*Petasites albus (L.) Gaertner*
		petit boucage	*Pimpinella saxifraga L.*
bardane commune	*Arctium lappa L.*	petit cerynthe	*Cerinthe minor L. (*)*
benoîte des montagnes	*Geum montanum L. (*)*	petit thalictre	*Thalictrum minus L. (*)*
campanule à feuilles rondes	*Campanula rotundifolia L. (*)*	petite pimprenelle	*Sanguisorba minor Scop.*
		pimprenelle officinale	*Sanguisorba officinalis L.(*)*
campanule agglomérée	*Campanula glomerata L. (*)*	plantain des Alpes	*Plantago alpina L. (*)*
		plantain moyen	*Plantago media L.*
campanule barbue	*Campanula barbata L. (*)*	Potentille à grandes fleurs	*Potentilla grandiflora L. (*)*
campanule de Scheuchzer	*Campanula scheuchzeri Villars (*)*	potentille sp.	*potentilla sp. L.*
campanule en épis	*Campanula spicata L. (*)*	potentille tormentille	*Potentilla erecta (L.) Räusch*
carex sp.	*Carex sp. L.*	primevère	*Primula acaulis L.*
carline acaule	*Carlina acaulis L. (*)*	pulsatille des Alpes	*Pulsatilla alpina (L.) Delarbre (*)*
carotte sauvage	*Daucus carota L.*		

Espèces présentes dans moins de 5 % des relevés (suite) :

centaurée scabieuse	*Centaurea scabiosa L.*	reine des prés	*Filipendula ulmaria (L.) Maxim.*
centaurée stoebé	*Centaurea stoebe L. (*)*	renoncule à f. d'aconit	*Ranunculus aconitifolius L. (*)*
centaurée uniflore	*Centaurea uniflora Turra (*)*	renoncule des bois	*Ranunculus nemorosus DC.*
chaerophylle de Villars	*Chareophyllum villarsii Koch*	renoncule des montagnes	*Ranunculus montanus Willd.*
chardon bardane	*Carduus personata (L.) Jacq.*	renouée vivipare	*Polygonum viviparum L. (*)*
chardon décapité	*Carduus defloratus L. (*)*	rumex à écussons	*Rumex scutatus L.*
chénopode bon-Henri	*Chenopodium bonus-henricus L.*	rumex à f. de gouet	*Rumex alpestris Jacq.*
coucou	*Primula veris L.*	rumex petite oseille	*Rumex acetosella aggr.*
crépis de Boccone	*Crepis bocconi Sell (*)*	sarriette des Alpes	*Satureja alpina (L.) Scheele (*)*
crépis des Pyrénées	*Crepis pyrenaica (L.) Greuter (*)*	scabieuse colombaire	*Scabiosa columbaria L. (*)*
crocus printanier	*Crocus albiflorus Kit.*	serratule des teinturiers	*Serratula tinctoria L. (*)*
épervière sp.	*Hieracium sp.L. (*)*	silène penché	*Silene nutans L. (*)*
épiaire droite	*Stachys recta L. (*)*	tabouret du Mont Cervin	*Thlaspi sylvium Gaudin (*)*
epilobe à feuilles de mouron	*Epilobium anagallidifolium Lam. (*)*	thalictre à f. d'ancolie	*Thalictrum aquilegiifolium L. (*)*
espargoutte des champs	*Spergula arvensis L. (*)*	thesium sp	*Thesium sp L. (*)*
		thym serpolet	*Thymus puleioides L.*
		trolle	*Trollius europaeus L.*
		verâtre blanc	*Veratrum album L. (*)*
		véronique de Perse	*Veronica persica Poiret*
		violette tricolore	*Viola tricolor L. (*)*
		vipérine vulgaire	*Echium vulgare L. (*)*

NB :
aggr. = agrégat (regroupement souvent provisoire, de petites espèces très proches)

ANNEXE 9

LISTE DES ESPECES PRESENTES DANS LES PRAIRIES PATUREES DES ALPES DU NORD

(PAR ORDRE DE FREQUENCE DECROISSANTE)

Le nom français est suivi du nom latin selon la nomenclature de Flora Europea.

Espèces présentes dans 100 à 80 % des relevés :

agrostis ténu	*Agrostis capillaris L.*
dactyle aggloméré	*Dactylis glomerata L.*
fétuque des prés	*Festuca pratensis Hudson*
trèfle blanc	*Trifolium repens L.*
trèfle des prés	*Trifolium pratense L.*
alchémille vulgaire	*Alchemilla xanthochlora aggr.*
pissenlit	*Taraxacum officinale aggr.*
renoncule acre	*Ranunculus acris L.*

Espèces présentes dans 79 à 60 % des relevés :

cretelle	*Cynosurus cristatus L.*
fétuque rouge	*Festuca rubra L.*
fléole des prés	*Phleum pratense L.*
paturin commun	*Poa trivialis L.*
trisète jaunatre	*Trisetum flavescens (L.) Beauvois*
achillée mille feuilles	*Achillea millefolium L.*
géranium des bois	*Geranium sylvaticum L.*
grande berce	*Heracleum sphondylium L.*
léontodon hispide	*Leontodon hispidus L.*
plantain lancéolé	*Plantago lanceolata L.*

Espèces présentes dans 59 à 40 % des relevés :

fétuque élevée	*Festuca arundinacea Schreber*	brunelle vulgaire	*Prunella vulgaris L.*
		ceraiste des champs	*Cerastium arvense L.*
flouve odorante	*Anthoxanthum odoratum (L.) Beauvois*	marguerite	*Leucanthemum vulgare aggr.*
		plantain majeur	*Plantago major L.*
paturin des prés	*Poa pratensis L.*	rumex à feuilles obtuses	*Rumex obtusifolius L.*
ray grass anglais	*Lolium perenne L.*		
		véronique petit chêne	*Veronica chamaedrys L.*
gesse des prés	*Lathyrus pratensis L.*		
lotier corniculé	*Lotus corniculatus L.*		
vesce cracca	*Vicia cracca L.*		

Espèces présentes dans 39 à 20 % des relevés :

chiendent rampant	*Agropyron repens (L.) P. Beauv.*	grand boucage	*Pimpinella major (L.) Hudson*
		grande astrance	*Astrantia major L.*
houlque laineuse	*Holcus lanatus L.*	knautie des champs	*Knautia arvensis (L.) Coulter*
paturin annuel	*Poa annua L.*	léontodon automnal	*Leontodon automnalis L.*
		ortie	*Urtica dioica L.*
vesce des haies	*Vicia sepium L.*	petite pimprenelle	*Sanguisorba minor Scop.*
		plantain moyen	*Plantago media L.*
aegopode podagraire	*Aegopodium podagraria L.*	renoncule rampante	*Ranunculus repens L.*
		salsifis des prés	*Tragopogon pratensis L.*
anthrisque sauvage	*Anthriscus sylvestris (L.) Hoffm.*	stellaire graminée	*Stellaria graminea L.*
campanule rhomboïdale	*Campanula rhomboidalis L.*		
centaurée jacée	*Centaurea jacea L.*		
cumin des prés	*Carum carvi L.*		
gaillet mou	*Galium mollugo L.*		
grand boucage	*Pimpinella major (L.) Hudson*		

Espèces présentes dans 19 à 5 % des relevés :

avoine élevée	*Arrhenatherum elatius L.*	cirse des maraîchers	*Cirsium oleraceum (L.) scop.*
brachypode penné	*Brachypodium pinnatum (L.) P.B.*	crépis bisannuel	*Crepis biennis L.*
		épervière sp.	*Hieracium sp. L.*
brize intermédiaire	*Briza media L.*	euphraise sp.	*Euphrasia sp L.*
brome dressé	*Bromus erectus Hudson*	gentiane jaune	*Gentiana lutea L.*
canche gazonnante	*Deschampsia caespitosa (L.) P. Beauv.*	géranium mou	*Geranium molle L.*
		laiteron rude	*Sonchus asper (L.) Hill*
fléole des Alpes	*Phleum alpinum L.*	lampsane vulgaire	*Lapsana communis L.*
houlque molle	*Holcus mollis L.*	liseron	*Convolvulus arvensis L.*
ray grass d'Italie	*Lolium multiflorum Lamarck*	mauve musquée	*Malva moschata L.*
		millepertuis à 4 angles	*Hypericum quadrangulum L*
luzerne lupuline	*Medicago lupulina L.*	mousses sp	
sainfoin	*Onobrychis viciifolia Scop.*	myosotis des bois	*Myosotis sylvatica Hoffm.*
		paquerette	*Bellis perennis L.*
trèfle brun	*Trifolium badium Schreber*	picris épervière	*Picris hieracioides L.*
		polygala vulgaire	*Polygala vulgaris L.*
		potentille	*Potentilla erecta (L.) Räusch*
bugle rampant	*Ajuga reptans L.*	tormentille	
capselle bourse à	*Capselle Bursa-pastoris*	prêle sp.	*Equisetum sp. L.*
pasteur	*(L.) Medikus*	raiponce en épi	*Phyteuma spicatum L.*
carex sp.	*Carex sp. L.*	reine des prés	*Filipendula ulmaria (L.) Maxim.*
carotte sauvage	*Daucus carota L.*		
centaurée des montagnes	*Centaurea montana L.*	renoncule des bois	*Ranunculus nemorosus DC.*
chaerophylle de Villars	*Chareophyllum villarsii Koch*	renoncule ficaire	*Ranunculus Ficaria L.*
		renouée bistorte	*Polygonum bistorta L.*
chaerophylle dorée	*Chaerophyllum aureum L.*	renouée des oiseaux	*Polygonum Persicaria l.*
chaerophylle hirsute	*Chaerophyllum hirsutum L.*	renouée persicaire	*Polygonum aviculare L.*
		rhinanthe	*Rhinanthus minor aggr.*
chénopode blanc	*Chenopodium album L.*	rumex des Alpes	*Rumex alpinus L.*

Espèces présentes dans 19 à 5 % des relevés (suite) :

rumex oseille	*Rumex acetosa L.*	thym serpolet	*Thymus puleioides L.*
sauge des prés	*Salvia pratensis L.*	trolle	*Trollius europaeus L.*
silène enflé	*Silene vulgaris (Moench) Garcke*	verâtre blanc	*Veratrum album L.*
		véronique officinale	*Veronica officinalis L.*

Espèces présentes dans moins de 5 % des relevés :

avoine pubescente	*Elictotrichon pubescens (Hudson) Pilger*	euphorbe sp.	*Euphorbia sp. L.*
		euphraise sp.	*Euphrasia sp. L.*
koelérie à crête	*Koeleria pyramidata(Lam.) P. beauv.*	fougère sp.	*Polypodiaceae sp.*
		fraisier	*Fragaria vescaL.*
		frêne	*Fraxinus excelsior L.*
molinie bleu	*Molinia coerulea (L.) Mönch.*	gaillet croisette	*Galium Cruciata (L.) Scop*
		gaillet rude	*Galium pumilum Murray*
nard raide	*Nardus stricta L.*	gaillet vrai	*Galium verum L.*
seslérie bleu	*Sesleria caerulea (L.) Ard.*	galéopsis tétrahit	*Galeopsis tetrahit L.*
		genèvrier nain	*Juniperus communis L.*
vulpin des prés	*Alopecurus pratensis L.*	gentiane pourpre	*Gentiana purpurea L.*
		hêtre	*Fagus silvatica L.*
anthyllis vulnéraire	*Anthyllis vulneraria L.*	jonc aggloméré	*Juncus conglomeratus L.*
genêt sagitté	*Cytisus sagittalis (l.) Koch*	jonquille	*Narcissus Jonquilla L.*
gesse à f. de 2 formes	*Lathyrus heterophyllus L.*	knautie des bois	*Knautia silvatica (l.) Duby*
hippocrépide à toupet	*Hippocrepis comosa L.*	lamier pourpre	*Lamium purpureum L.*
luzerne cultivée	*Medicago sativa L.*	laser à larges feuilles	*Laserpitium latifolium L.*
ononis rampant	*Ononis repens L.*	luzule des champs	*Luzula campestris (L.) DC.*
trèfle des montagnes	*Trifolium montanum L.*	lychnis fl. de coucou	*Silene flos-cuculi L.*
amaranthe	*Amaranthus albus L.*	lysimaque	*Lysimachia Nummularia L.*
aubépine	*Crataegus sp. L.*	nummulaire	
bardane commune	*Arctium lappa L.*	lysimaque vulgaire	*Lysimachia vulgaris L.*
benoîte commune	*Geum urbanum L.*	matricaire	*Matricaria Chamomilla L.*
campanule agglomérée	*Campanula glomerata L.*	cammomille	
campanule barbue	*Campanula barbata L.*	menthe des bois	*Mentha longifolia (L.) Hudson*
carline acaule	*Carlina acaulis L.*		
centaurée scabieuse	*Centaurea scabiosa L.*	millepertuis maculé	*Hypericum maculatum Crantz*
chénopode bon-Henri	*Chenopodium bonus-henricus L.*	millepertuis perforé	*Hypericum perforatum L.*
		mourron blanc	*Anagallis arvensis L.*
chicorée	*Cichorium Intybus L.*	noisetier	*Corylus Avellana L.*
ciboulette	*Allium Schoenoprasum L.*	orpin sp	*Sedum sp. L.*
cirse des champs	*Cirsium arvense(L.) Scop.*	pétasite blanc	*Petasites albus (L.) Gaertner*
cirse des marais	*Cirsium palustre (L.) Scop.*	petit boucage	*Pimpinella saxifraga L.*
		picris viperine	*Picris echioides L.*
cirse laîneux	*Cirsium eriophorum (L.) Scop*	pommier sauvage	*Pyrus Malus L.*
		populage	*Caltha palustris L.*
colchique	*Colchicum autumnale L.*	potentille rampante	*Potentilla reptans L.*
compagnon blanc	*Silene alba (L.) Clairv.*	potentille sp.	*Potentilla sp. L.*
coucou	*Primula veris L.*	primevère	*Primula acaulis L.*
crocus printanier	*Crocus albiflorus Kit.*	prunus sp.	*Prunus sp. L.*
épiaire des bois	*Stachys silvatica L.*	ravenelle	*Raphanus Raphanistrum L.*
épicéa	*Picea abies (L.) H. Karsten*	renoncule bulbeuse	*Ranunculus bulbosus L.*
		renouée sp.	*Polygonum sp. L.*
épilobe sp.	*Epilobium sp. L.*	ronce sp.	*Rubus sp. L.*

Espèces présentes dans moins de 5 % des relevés (suite) :

rosier des chiens	*Rosa canina l.*	tussilage	*Tussilago Farfara L.*
rumex arifolius	*Rumex arifolius All.*	vergerette annuelle	*Erigeron annus (L.) Pers.*
sarriette vulgaire	*Satureja vulgaris (L.) fritsch*	véronique à f. de serpolet	*Veronica serpyllifolia L.*
saule sp.	*Salix sp. L.*	violette	*Viola odorata L.*
scabieuse colombaire	*Scabiosa columbaria L.*	vipérine vulgaire	*Echium vulgare L.*
silène penché	*Silene nutans L.*		

NB :
aggr. = agrégat (regroupement souvent provisoire, de petites espèces très proches)

INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE
DE LORRAINE

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

BIU NANCY
Service Commun de Documentation
INPL
2, avenue de la Forêt de Haye - B.P. 3
54501 VANDOEUVRE Cédex FRANCE

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

Monsieur LEMAIRE Gilles, Directeur de Recherhce, INRA Lusignan,
Monsieur HUBERT Bernard, Directeur de Recherche, INRA SAD Montfavet.

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Monsieur FLEURY Philippe

NANCY BRABO
2, AVENUE DE L
FORET-DE-HAY
BOITE POSTALE
F - 5 4 5 0
VANDŒUVRE CEDI

à soutenir devant l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, une thèse intitulée :

"Le diagnostic agronomique des végétations prairiales et son utilisation dans la gestion des exploitations agricoles. Typologies fondées sur les aptitudes des prairies à remplir des fonctions. Méthodes et applications dans les Alpes du Nord"

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : **"SCIENCES AGRONOMIQUES"**

Fait à Vandoeuvre le, **9 Février 1994**
Le Président de l'I.N.P.L.,
M. LUCIEN

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE NANCY

TEL. 33/83.59.59.5
FAX. 33/83.59.59.5

SUMMARY

TITLE : Agronomic assessment of grassland vegetation for use in farm management.
A typology based on the ability of grasslands to fulfil specific functions.
Method and implementations in the northern Alps.

The purpose of this dissertation was to design a diagnostic method that can be used by agricultural advisors to characterize grasslands. In our approach from the farm to the field level we attempted to identify the functions of individual fields and the forage criteria that characterize the ability of plant covers to fulfil these functions (production, nutritive value, palatability, ...).

A study of grassland functionning highlights the factors of variation regarding ability criteria : states of the vegetation, conditions of the physical environment and farming pratices. In particular we have shown the influence of vegetation structure and morphology : aggregation pattern of individuals, stem rate, senescence, ... These states display marked intraspecific variability which limits the reliability of a floristic diagnosis. For these same states, there is however a convergence between species with the same adaptation strategy where these grow under similar conditions. Morphology and structure therefore provide an indicative value of physical environmental conditions and of practices.

Taking these findings into consideration, we developped a typology of hay meadows in the French northern Alps, based on their ability to meet the diversity of regional functions. Comprehensive knowledge of the grassland types provides a basis for assessing their utilisation possibilities and proposing solutions that ensure better adaptation to targeted functions. The design of this model takes into account the working conditions of agricultural advisors placed in situations of dialogue with farmes who also detain technical knowledge.

RESUME

TITRE : Le diagnostic agronomique des végétations prairiales et son utilisation dans la gestion des exploitations agricoles. Typologies fondées sur les aptitudes des prairies à remplir des fonctions. Méthode et applications dans les Alpes du Nord.

L'objectif de cette thèse est de présenter une méthode de caractérisation des prairies qui permette ensuite un diagnostic utilisable pour le conseil en exploitation agricole. Nous pratiquons une approche hiérarchisée, de l'exploitation vers la parcelle, pour identifier les fonctions parcellaires et les critères fourragers caractérisant des végétations à remplir ces fonctions (production, valeur nutritive, appétibilité, ...).

A cette phase de définition des besoins, succède une étude du fonctionnement des prairies. Elle met en évidence les facteurs de variation des critères d'aptitude : états de végétation, conditions de milieu physique et pratiques agricoles. Nous montrons en particulier l'influence de la structure et de la morphologie de la végétation : mode d'agrégation des individus, taux de tiges, sénescence, ... Ces états ont une forte variabilité intraspécifique et limitent la pertinence d'un diagnostic floristique. Il y a par contre, pour ces mêmes états, une convergence entre espèces, de même stratégie adaptative, lorsqu'elles vivent dans des conditions similaires. La morphologie et la structure de la végétation ont donc une valeur indicatrice des facteurs écologiques relevant du milieu physique et des pratiques agricoles.

Sur cette base, nous avons réalisé un modèle typologique qui classe les prairies de fauche des Alpes du Nord, selon leurs aptitudes aux différentes fonctions régionales. Une connaissance globale des types permet d'évaluer leurs possibilités d'utilisation et de proposer des solutions techniques diversifiées assurant une meilleure adaptation aux fonctions. La conception de ce modèle, à laquelle ont participé des chercheurs et des agents du développement, tient compte des conditions de travail de ces agents dans une situation de dialogue avec des agriculteurs ayant aussi un savoir technique.

Mots-clés : diagnostic agronomique, prairies permanentes, typologie de prairies, stratégies adaptatives, structure de la végétation, composition floristique, pratiques agricoles, valeur alimentaire, recherche développement, aide à la décision.