Etude phytosociologique et écologique du massif forestier de Haguenau (Bas-Rhin) - Apports méthodologiques - Potentialités sylvicoles

Jean-Luc Dupouey

▶ **To cite this version:**

Jean-Luc Dupouey. Etude phytosociologique et écologique du massif forestier de Haguenau (Bas-Rhin) - Apports méthodologiques - Potentialités sylvicoles. Sciences de la Terre. AgroParisTech, 1983. Français. NNT : . tel-00589411

HAL Id: tel-00589411

https://theses.hal.science/tel-00589411

Submitted on 28 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

I.N.R.A. - NANCY
Laboratoire de Phyto-écologie forestière

I.N.A. P.-G.
Laboratoire de Botanique et Ecologie végétale

THESE

PRESENTEE A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

PARIS - GRIGNON

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR INGENIEUR

ETUDE PHYTOSOCIOLOGIQUE ET ECOLOGIQUE DU MASSIF FORESTIER DE HAGUENAU (BAS-RHIN)

Apports méthodologiques

Potentialités sylvicoles

PAR

Jean-Luc DUPOUEY

Soutenue le 1er Décembre 1983 devant la Commision d'examen :

MM. R. DELPECH Président
M. BECKER Rapporteur
R. CARBIENER
P. MARTINOT-LAGARDE
R. TOMASSONE

I.N.R.A. - NANCY

Laboratoire de Phyto-écologie forestière

I.N.A. P.-G.

Laboratoire de Botanique et Ecologie végétale

THESE

PRESENTEE A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

PARIS - GRIGNON

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR INGENIEUR

ETUDE PHYTOSOCIOLOGIQUE ET ECOLOGIQUE DU MASSIF FORESTIER DE HAGUENAU (BAS-RHIN)

Apports méthodologiques

Potentialités sylvicoles

PAR

Jean-Luc DUPOUEY

Soutenue le 1er Décembre 1983 devant la Commision d'examen

MM. R. DELPECH Président

M. BECKER Rapporteur

R. CARBIENER

P. MARTINOT-LAGARDE

R. TOMASSONE

AVANT PROPOS

Avant d'exposer les résultats de mon travail, il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui l'ont rendu possible.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma respectueuse reconnaissance à Monsieur R. DELPECH, Professeur à l'Institut National Agronomique qui m'a fait découvrir par son enseignement l'utilité de l'étude de la végétation comme indicateur des potentialités des milieux et qui a accepté de diriger ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur M. BECKER, Directeur du Laboratoire de Phyto-écologie forestière de l'INRA de Nancy qui a encadré scientifiquement cette étude. Il m'a apporté sa grande connaissance des milieux forestiers, et le soutien moral indispensable.

Je tiens aussi à remercier les autres membres du Jury qui ont accepté de juger cette thèse.

- Monsieur R. CARBIENER, Professeur à la Faculté de Pharmacie de Strasbourg.

- Monsieur R. TOMASSONE, Professeur à l'Institut National Agronomique.

- Monsieur P. MARTINOT-LAGARDE, Directeur technique de l'Office National des Forêts.

Je suis aussi redevable à tout le personnel du Laboratoire de Phyto-écologie qui m'a apporté aide et amitié, mais plus particulièrement à Monsieur G. DOUCET qui a participé à la totalité de la phase de terrain, partageant avec bonne humeur les difficultés. Je n'oublie pas non plus les discussions fructueuses avec Monsieur J.F. PICARD, chercheur du Laboratoire.

Mes plus sincères remerciements vont également à :

- Monsieur le Professeur L. LEMEE et Monsieur J. TIMBAL, chercheur à l'INRA de Bordeaux, qui ont mis à ma disposition des tableaux de relevés inédits de la région.

- Messieurs G. LEVY et J. GARBAYE, chercheurs à l'INRA de Nancy qui m'ont apporté leur compétence de pédologues de terrain.

- Messieurs J.P. BOUDOT et B. GUILLET, chercheurs au Centre de Pédologie de Nancy. Le premier m'a fait bénéficier de sa connaissance du massif de Haguenau, le second m'a initié à l'étude palynologique des sols sableux.

- Messieurs F. GEISSERT et E. DILLMANN, avec qui j'ai pu avoir des discussions fructueuses sur le massif de Haguenau.

- L'Office National des Forêts qui m'a apporté une aide financière et matérielle. Je remercie tout spécialement Monsieur D. RICHERT, Chef de la Subdivision de Haguenau-Indivise pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail, ainsi que l'ensemble du personnel du Centre de Haguenau.

Je remercie enfin Madame M.FRILEY qui assuré la dactylographie du manuscrit.

SOMMAIRE

Page

INTRODUCTION. 1

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DU MASSIF FORESTIER DE HAGUENAU. 3

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE MASSIF DE HAGUENAU. 3

11. Situation géographique et administrative. 3

12. Topographie et hydrographie. 3

13. Conditions climatiques. 4

131. Les précipitations. 4

132. Les températures et l'humidité relative. 4

133. Les vents. 6

134. L'évapotranspiration potentielle. 6

135. Les mésoclimats. 6

136. Conclusion. 7

14. Géologie et géomorphologie. 7

141. Les marnes oligocènes. 7

142. Les alluvions pliocènes. 9

143. Les alluvions quaternaires. 9

144. Loess et limons loessiques. 9

145. Conclusion. 9

15. Pédologie. 10

151. Sur les marnes oligocènes. 10

152. Sur les alluvions sableuses. 10

153. Sur loess et limons loessiques. 10

16. Caractères généraux de la végétation. 10

161. Données floristiques. 10

162. Données phytogéographiques. 11

163. Données phytosociologiques. 12

17. Les facteurs biotiques. 13

18. Conclusion : délimitation de la région naturelle étudiée. 13

CHAPITRE II. L'ACTION HUMAINE DANS LE MASSIF DE HAGUENAU. 16

21. Aperçu historique. 16

22. La physionomie actuelle de la forêt. 17

23. Les problèmes écologiques liés à l'action anthropique. 17

231. L'équilibre feuillus - résineux. 18

232. Les risques de dégradation des sols. 18

233. La place respective des deux espèces de chêne. 19

DEUXIEME PARTIE. METHODOLOGIE. 21

CHAPITRE III. METHODOLOGIE. 21

31. La collecte des données. 21

311. L'échantillonnage. 21

312. Les données inventoriées. 22

32. L'interprétation des données. 23

321. L'analyse factorielle des correspondances. 23

33. Présentation des résultats. 27

CHAPITRE IV. UN CADRE CONCEPTUEL NOUVEAU POUR LES ETUDES DE VEGETATION : LA THEORIE DES ENSEMBLES VALUES. APPLICATION ET DEVELOPPEMENTS. 29

41. Présentation de la théorie des ensembles valués. 29

42. Phytosociologie et ensembles valués. 30

43. Application de la classification valuée en phytosociologie. 31

431. La classification valuée. 31

432. Exemple d'application. 33

44. Discussion de la méthode et développements possibles en systématique et en synsystématique. 35

TROISIEME PARTIE. RESULTATS DE L'INVENTAIRE PHYTO-ECOLOGIQUE. 37

CHAPITRE V. INTERPRETATION DES ANALYSES FLORISTIQUES. CORRELATION AVEC LES PARAMETRES ECOLOGIQUES. 37

51. Les analyses factorielles des correspondances. 37

511. L'analyse globale des relevés. 37

512. Analyse partielle des relevés des *Fagetalia sylvaticae*. 50

513. Analyse partielle des relevés des *Quercetalia robori-petraeae* 50

52. Le tableau phyto-écologique. 53

521. Les groupes écologiques. 53

522. Conclusion. 58

CHAPITRE VI. ETUDE PEDOLOGIQUE. 59

61. Sols des forêts hygrophiles : gleys. 59

611. Gley humique à anmoor méso-eutrophe. 59

612. Gley oxydé à hydromull. 60

613. Gley réduit à anmoor ologotrophe. 62

62. Les sols sur substrat marneux : Pseudogleys 62

621. Pseudogley primaire à hydromull eutrophe, sur alluvions limono-argilo-sableuses. 62

622. Pseudogley primaire à hydromull mésotrophe sur alluvions limono-sableuses. 63

623. Pseudogley podzolique 64

63. Les sols sur limon. 64

631. Sur limon drainé : Sol lessivé acide. 64

632. Les sols sur limons hydromorphes. 66

64. Les sols sur substrat sableux. 67

641. Les sols sur substrat sableux drainé. 67

642. Les sols sur sable hydromorphe : sol podzolique hydromorphe ou podzol hydromorphe. 69

65. Conclusion. 71

CHAPITRE VII. PRESENTATION DES TYPES DE STATION. 74

71. Les aunaies-frênaies de l'*Alno-Padion* (type de station n°1000). 74

72. Les chênaies, hêtraies et pineraies de substitution du *Carpinion* (groupe de relevés n°2000). 75

721. Les hêtraies calcicoles. 77

722. Les chênaies et chênaies-frênaies calcicoles -nitrophiles (type de station n°2200). 77

723. Les chênaies et hêtraies neutro-nitroclines (type de station n°2300). 79

724. Les chênaies, hêtraie et pineraies de substitution neutrophiles (type de station n° 2400). 80

73. Les chênaies et pineraies acidophiles du *Quercion robori-petraeae* 82

731. Caractérisation de l'hydromorphie dans les stations du *Quercion robori-petraeae*. 82

732. Les chênaies et pineraies neutro-acidoclines (type de station n° 3100). 85

733. Les chênaies et pineraies acidoclines (type de station n° 3200). 86

734. Les chênaies et pineraies acidophiles (type de station n° 3300). 87

735. Les chênaies et pineraies hygro-acidophiles. 89

74. Les stations peu représentées à Haguenau. 89

741. Les aunaies mésotrophes à eutrophes. 89

742. Les chênaies-pineraies-boulaies acidophiles. 90

75. Place synsystématique des types de station. 91

QUATRIEME PARTIE. ETUDE SYLVICOLE. 95

CHAPITRE VIII. ETUDE DES POTENTIALITES FORESTIERES. 95

81. Introduction. 95

82. Méthodologie. 95

821. Choix des placettes. 95

822. Mesures et prélèvements. 96

83. Relations stations-production. 97

831. Accroissement moyen annuel sur le rayon. 97

832. Hauteur dominante. 99

84. Relations stations-qualité du bois. 107

85. Relations stations-surface d'aubier. 112

86. Discussion-conclusion. 114

CHAPITRE IX. DIFFERENCIATION MORPHOLOGIQUE DU CHENE SESSILE (*Quercus petraea* (Matt.)Liebl.) ET DU CHENE PEDONCULE (*Quercus robur* L.). 116

91. Introduction. 116

92. Méthodologie. 116

921. Echantillonnage. 116

922. Caractères mesurés. 118

923. Méthode d'analyse. 118

93. Résultats. 119

94. Conclusion. 122

CONCLUSION GENERALE. 124

BIBLIOGRAPHIE. 128

ANNEXES.

I. Liste des syntaxons cités dans le texte, avec leur autorité. I

II. Localisation des relevés et transects. II

III. Fiche de relevé de l'inventaire phyto-écologique. III

IV. Note sur le couple *Viola reichenbachiana* Jord. ex. Boreau - *Viola riviniana* Reichenb. VII

V. Liste des variables écologiques. IX

VI. Tableau phyto-écologique. hors texte

INTRODUCTION

La typologie des stations forestières n'est encore qu'à ses débuts en France. Seule la Lorraine, avec les trois régions naturelles du **plateau lorrain** (A. BRETHES, 1976), des **plateaux calcaires** (M. BECKER et al., 1980) et de la **Woëvre** (D. GIRAULT, 1981), et une petite part de la Franche-Comté, la **vallée de l'Ognon** (M. BIDAULT et al., 1980) ont fait l'objet d'un catalogue des stations. D'autres sont en cours de réalisation (en Normandie, Bretagne, Limousin, Centre, Bourgogne, etc...).

Dans l'optique du développement de cette typologie, le **massif de Haguenau** (Bas-Rhin) était intéressant à plusieurs titres :

- Avec ses 19000 ha d'un seul tenant, c'est le 4ème massif forestier de plaine après la forêt landaise, le massif d'Orléans et celui de Fontainebleau. Il forme donc l'ossature d'une région naturelle qu'il nous fallait délimiter et dont la typologie devait faire avancer substantiellement les études de stations.

- Sa situation isolée en travers de la riche plaine agricole d'Alsace, depuis le Rhin presque jusqu'au pied des Vosges, en fait une zone originale sur les plans géologique, géomorphologique, pédologique, climatique et biogéographique (présentés au chapitre I).

- Mais surtout, la composition des peuplements, qui comprennent pour moitié du pin sylvestre, en fait un massif unique en France. C'est en effet la seule localisation supposée spontanée de la race de plaine du pin sylvestre, dont l'aire naturelle s'étend principalement sur l'Allemagne, la Pologne, la Russie et le Sud de la péninsule scandinave. De plus, le pin sylvestre a été largement étendu dans le massif en remplacement de la chênaie, constituant donc une grande **forêt artificielle.** L'origine des graines utilisées dans ces repeuplements était variée et souvent mal adaptée. Les problèmes sylvicoles qui en résultent sont présentés au chapitre II.

Nous avions au départ trois objectifs :

- Améliorer les méthodes d'étude de la végétation et de ses rapports avec le milieu. Nous présentons au chapitre IV une nouvelle méthode de classification des relevés de végétation, qui n'est pas selon nous un outil mathématique de plus sur le "marché" déjà encombré de l'écologie numérique, mais bel et bien une vision originale de la réalité objective que constitue la végétation, sur le terrain ou après analyse.

- Approfondir les connaissances scientifiques sur la valeur indicatrice de la flore vis-à-vis des facteurs stationnels (chapitre V à VII). En particulier, l'étude d'un massif artificialisé nous donnait l'occasion d'évaluer l'impact de l'enrésinement sur la flore, et, partant, sur la typologie des stations : peut-on encore, après les modifications souvent drastiques provoquées par l'homme, définir les stations forestières sur une base floristique ?

- Apporter au praticien une base pratique de gestion du massif de Haguenau. Celui-ci est actuellement principalement consacré à la production de bois d'oeuvre de pin sylvestre et de chêne. Or le gestionnaire manque d'éléments objectifs pour décider des stations à impartir, dans l'avenir, au pin sylvestre et aux autres espèces (chênes pédonculé et sessile, feuillus divers). Productivité et qualité technologique du bois ont donc été étudiées en fonction des types de stations (chapitre VIII).

Nous apportons aussi une réponse pratique au délicat problème de l'identification des chênes sessiles et pédonculés du massif, en détournant la taxonomie numérique de ses méthodes habituelles, dans un but d'application pratique (chapitre IX).

Le travail s'est déroulé en trois phases : au cours de la saison 1982, inventaire phytoécologique général, puis, pendant l'hiver et le printemps 1983, analyse des relevés de l'inventaire et, enfin, au cours de l'été 1983, études stationnelles plus détaillées (analyses pédologiques).

* Avertissement : la nomenclature systématique est celle de Flora Europaea (T.G. TUTIN et al., 1964-1980) pour les phanérophytes et les ptéridophytes et celle de J. AUGIER (1966) pour les bryophytes. Nous donnons en annexe I l'autorité des syntaxons cités dans le texte.

PREMIERE PARTIE

PRESENTATION DU MASSIF FORESTIER

DE HAGUENAU

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE MASSIF DE HAGUENAU

11. Situation géographique et administrative.

Le massif forestier de Haguenau est situé dans le Nord de la plaine d'Alsace (département du Bas-Rhin). D'orientation générale Ouest-Est, il s'étend sur plus de 30 km de long et plus de 10 km de large.

Il occupe environ 19 000 ha d'un seul tenant et comprend un certain nombre de forêts d'inégale importance, particulières (dont l'importante Forêt des Hospices civils de Haguenau), communales (Hatten, Rittershoffen, Betschdorf, Haguenau...) ou domaniales (Koenigsbruck et Oberhoffen) et la forêt de Haguenau (13 400 ha), indivise entre l'Etat et la commune de Haguenau.

Il est limité à l'Ouest par les Collines sous-vosgiennes, à l'Est par les forêts de la terrasse rhénane, au Nord par les cultures de la riche région loessique de l'Outre-Forêt. Au Sud, il se prolonge par de nombreux petits massifs jusqu'aux portes Nord-Ouest de Strasbourg (Brumath, Herrenwald...).

12. Topographie et hydrographie.

Le massif de Haguenau constitue une cuvette très peu accidentée et encore plus faiblement inclinée de l'Ouest à l'Est, à une altitude moyenne de 140 m (entre 115 et 200 mètres), sur une terrasse située généralement à une vingtaine de mètres au-dessus de la plaine alluviale du Rhin.

Cette cuvette est traversée, d'Ouest en Est, par cinq ruisseaux venant des Vosges et allant au Rhin : deux d'entre eux, la Sauer et la Moder bordent le massif, l'un au Nord et l'autre au Sud. Une douzaine de ruisseaux d'importance secondaire prennent naissance en forêt même. Tous ces cours d'eau sont à tracé très sinueux et à écoulement lent du fait de la très faible déclivité. Ils drainent la nappe phréatique des sables sous-jacents, dont la profondeur ne dépasse pas 10 m (G.MILLOT et al. 1963).

La surface du massif présente par ailleurs des variations de plus grande échelle qui peuvent jouer un rôle fondamental dans la répartition des groupements végétaux. Ce sont :

. **les entailles** du massif provoquées par les ruisseaux,

. **les dépressions naturelles** (Blumengarten...),

. **Les buttes,** lieu d'accumulation préférentielle de limons loessiques (Scharwzlach...),

. **Les dunes** (Burgbann...).

Enfin, la microtopographie à l'échelle stationnelle peut jouer un rôle fondamental lorsqu'est présente une nappe aquifère superficielle.

13. Conditions climatiques.

Le climat du massif de Haguenau, et plus généralement du Nord de la plaine d'Alsace, est qualifié par F. SHAMSI (1968) de climat mésothermique humide mi-continental, mi-océanique à été long. Il est semblable à celui du Nord du Plateau lorrain, des Vosges du Nord et des Collines sous-vosgiennes. Fortement marqué par les influences continentales, il représente cependant un pôle plus océanique au sein de la plaine d'Alsace.

Les données chiffrées suivantes proviennent, sauf références particulières, de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg.

131. Les précipitations.

La carte des régimes pluviométriques et isohyètes annuelles de C. LECARPENTIER et F. SHAMSI (1972) permet de situer la dition par rapport à l'ensemble du climat alsacien (fig.1).

Celui-ci est parcouru de deux gradients pluviométriques décroissants. L'un, Nord-Sud, de Zinswiller (850 mm/an) au pôle de sécheresse de Colmar (550 mm/an), l'autre, Ouest-Est. Ils sont provoqués tous deux par l'écran du massif vosgien. En effet, l'affaissement de l'air venant de l'Ouest provoque un réchauffement adiabatique, un éloignement du point de condensation et une réduction caractéristique des précipitations (J. DION, 1972) : c'est l'effet de foehn. En bordure du Rhin, les précipitations sont à nouveau un peu plus abondantes qu'au centre de la plaine car on est déjà dans la zone d'ascendance de la Forêt noire, face au massif de la Hornisgrinde.

L'affaiblissement de la barrière vosgienne au Nord du col de Saverne induit une plus forte pluviosité en Alsace du Nord, et en particulier sur Haguenau. Les deux stations du massif, Eberbach (135 m) et Dachshübel (150 m), indiquent respectivement pour la période 1900-1975, 840 et 810 mm/an. Le tableau I montre l'évolution mensuelle des précipitations pour la station d'Eberbach, plus fiable que celle de Dachshübel selon F. VASQUEZ FERNANDEZ (1976). Celles-ci, à peu près régulièrement réparties tout au long de l'année, ont une amplitude annuelle faible (30 mm). Le régime est de type EAPH (classement des saisons par pluviosité décroissante), soit à caractère semi-continental.

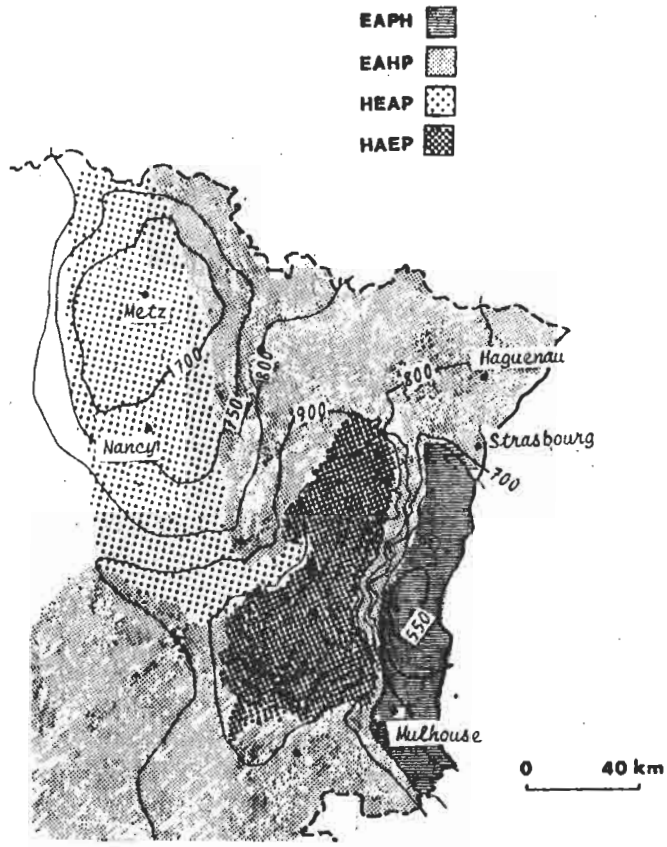
La neige peut occasionner d'importants bris de neige ou de glace sur les pins sylvestres. La race locale, à longues aiguilles et à fût et cime dissymétriques, y est particulièrement sensible (P. LEROY, 1956).

132. Les températures et l'humidité relative.

Les températures moyennes mensuelles de Statmatten, station la plus proche pour laquelle nous ayons les mesures, illustrent bien le régime thermique du Nord de la plaine d'Alsace (tab.I).

La température moyenne annuelle, 10,1°C, est relativement basse, et la forte amplitude thermique (18,9°C) est un caractère de continentalité. Le nombre de jours de gelée, qui passe de 78 jours par an en moyenne à Strasbourg, dont au moins 16 de gelée totale, à 92 jours à Zinswiller, dont au moins 18 de gelée totale (F. SHAMSI, 1968), indique un hiver relativement rude. Les dernières gelées, qui surviennent en moyenne dans la première quinzaine de mai (aux "Saints de Glace",10 11 et 12 Mai), parfois même un peu plus tard, ont une action destructive pour la végétation, en particulier sur la floraison des chênes et du hêtre, donc pour les glandées et faînées. Notons aussi que la régression du houx a été observée lors des hivers rigoureux (E. WALTER, 1929).

Figure 1 : Régimes pluviométriques et isohyètes annuelles (1931-1960) d'après CLECARPENTIER et F. SHAMSI (1972).



	Station	Altitude (m)	Années de mesure	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pluie (mm)	Eberbach	135	1900-1975	69,4	54,0	54,9	64,8	75,2	75,7	80,8	84,4	78,7	64,5	69,3	67,8	839,1
ETP TURC (mm)	Strasbourg	138	1931-1960	3,8	10,3	32,5	63,0	87,2	103,8	112,2	96,6	66,0	34,2	13,0	4,9	627
Moyenne des températures minimales (°C)	Statmatten	120	1957-1960	-2,2	-0,1	2,3	4,1	8,5	12,2	13,9	13,4	8,8	5,3	3,3	0,4	5,8
Moyenne des températures maximales (°C)	"	"	"	3,2	7,0	11,4	15,3	20,1	23,3	24,9	23,3	18,4	14,3	5,5	5,0	14,3
Température moyenne mensuelle (°C)	"	"	"	0,5	3,5	6,9	9,7	14,3	17,8	19,4	18,4	13,6	9,8	4,4	2,7	10,1
Humidité relative (%)	Haguenau	150	1880-1895	90	86	77	67	68	69	71	71	78	85	89	91	79

Tableau I : Données climatiques

L'évolution de l'humidité relative est plus régulière et plus uniforme que celle des températures (tab.I). Ceci est probablement à mettre en relation avec l'existence de la nappe phréatique des alluvions sableuses qui est souvent très proche de la surface du sol.

133. Les vents.

Ils soufflent en majorité du Sud (23 %) ou Sud-Ouest (17 %) et du Nord (20 %) ou du Nord-Est (13 %), canalisés par le couloir rhénan.

Les premiers, amenant les perturbations océaniques, sont les plus violents et peuvent occasionner des chablis importants ; mais ils ne se produisent guère que dans les pineraies pures et surtout sur les sols à niveau argileux proche de la surface bloquant l'enracinement vertical.

Toutefois, depuis le coup de vent mémorable de 1870, les règles de sylviculture imposent d'asseoir les coupes du Nord au Sud, ou plus exceptionnellement de l'Est à l'Ouest, et cette mesure semble avoir été efficace.

134. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Nous donnons au tableau I l'ETP calculée selon la formule de L. TURC (1962) pour la station de Strasbourg. Celle-ci devient supérieure à la pluviométrie au mois de Mai, et le reste jusqu'en Août. Mais le déficit cumulé n'excède pas 90 mm.

Cependant, il peut y avoir d'importantes variations annuelles pour les précipitations. Il peut survenir au printemps et en été des périodes de sécheresse assez longues pour être extrêmement dommageables aux jeunes peuplements, surtout sur les sables épais à réserve en eau très faible. C'est un risque permanent pour le pin sylvestre.

Les risques d'incendies sont à l'origine de la plantation fréquente, en lisière des parcelles, de pare-feu de chêne rouge d'Amérique.

135. Les mésoclimats.

Il est souvent admis que, dans les grands massifs forestiers, les précipitations sont plus élevées et la température de l'air plus faible qu'alentour (G. PLAISANCE,1982).

Des observations faites pour la décade 1921-1930 grâce à un réseau de douze stations réparties dans et autour de la moitié Est du massif concluent à une augmentation de 5 % de la pluviosité due à la forêt, soit à la limite de l'erreur relative sur la mesure (G. REMPP, 1930). F. HUFFEL (1904) rapporte les résultats d'observations faites par les Allemands entre 1875 et 1895 dans une pineraie de Haguenau. On constate, par rapport aux terrains cultivés voisins, une diminution de la température moyenne annuelle (de 1°C), du nombre de jours de gelée (62 à 37) et de la profondeur de pénétration des gelées dans le sol (0,50 m à 0,21 m). Ces résultats sont à accepter avec précautions (G. AUSSENAC, 1970).

Au sein du massif même, il semble exister une différenciation mésoclimatique pour la répartition des gelées. En particulier, le bord de la terrasse du Rhin (Forêt domaniale de Koenigsbruck en particulier) serait mieux protégé, dans une zone s'étendant à environ 3 km du fleuve (P. NOEL, 1933 et P. LEROY, 1956).

Nos observations sur les gélivures ne nous ont pas permis de relier celles-ci à des variations topographiques, mais le suivi sur plusieurs années des zones de destruction de la floraison du chêne par les gelées tardives par le Service forestier (P.NOEL, loc.cit.) ont permis de dresser des cartes de risque de gelées qui coïncident presque exactement avec la carte topographique ; bas-fonds, bords de ruisseaux et des fossés principaux constituent des endroits de prédilection.

136. Conclusion.

Assez chaud et assez humide pendant la saison de végétation, le climat haguenovien présente ainsi deux caractères favorables à la végétation forestière. Les facteurs limitants sont, en pineraie, les risques de sécheresse, d'incendies, de bris de neige ou de chablis, et, dans les zones feuillues, les gelées tardives.

14. Géologie et géomorphologie.

Le relief étagé du Nord-Ouest de Strasbourg, traditionnellement expliqué par une succession de terrasses alluviales (J. FRANC de FERRIERE, 1937), est en fait lié à une série de paliers tectoniques successivement effondrés (H. VOGT, 1980). Le massif de Haguenau est une zone d'affaissement relatif depuis le Pliocène, limitée à l'Ouest par la faille rhénane. F. GEISSERT (1962) a montré que le talus bordant le massif à l'Est et au Sud-Est est un escarpement de faille récent, dont le tracé passe par Bischwiller, Oberhoffen, Shirrheim, Soufflenheim, Koenisgsbruck, et qui semble s'observer jusque dans le Palatinat.

La caractéristique principale des formations superficielles du massif de Haguenau est leur extrême hétérogénéité. D'une parcelle à l'autre et souvent même dans une même parcelle, les variations sont importantes. On peut toutefois rattacher les matériaux rencontrés aux quatre formations principales suivantes (voir fig.2 pour l'agencement respectif des formations géologiques, sols et essences dominantes).

141. Les marnes oligocènes.

Elles affleurent dans la partie centrale du massif (soit la majeure partie de la 3ème série de la Forêt indivise de Haguenau). De nombreux faciès y ont été décrits (G. DUBOIS et C. DUBOIS, 1955). Retenons simplement qu'il s'agit d'argiles grises, la plupart du temps décalcifiées en surface. Elles sont fréquemment polluées par des sables et des limons en surface.

La topographie du toit des marnes, modelée par l'érosion mio-pliocène, détermine l'épaisseur des alluvions qu'elles supportent et donc la profondeur de la nappe phréatique qui les affecte. Ces marnes s'enfoncent régulièrement du Nord-Ouest au Sud-Est du massif.

142. Les alluvions pliocènes.

Leur épaisseur est liée au relief des marnes sous-jacentes, car la morphologie actuelle est plane. Elles atteignent 90 m vers le Sud-Est. Ce sont des sables fins à grossiers, décolorés et de teinte blanc-grisé, des graviers ou des lentilles d'argile imbriquées. Les sondages des environs de Haguenau ont en moyenne recoupé une à trois lentilles d'argile pour 10 m de sables traversés, chacune ayant une épaisseur de l'ordre de 0,2 à 3 m. Comme la fraction argileuse - de très faible importance - associée aux sables, elles sont constituées principalement de kaolinite (40 %). Ces argiles réfractaires sont exploitées pour la fabrication artisanale des poteries de Betschdorf.

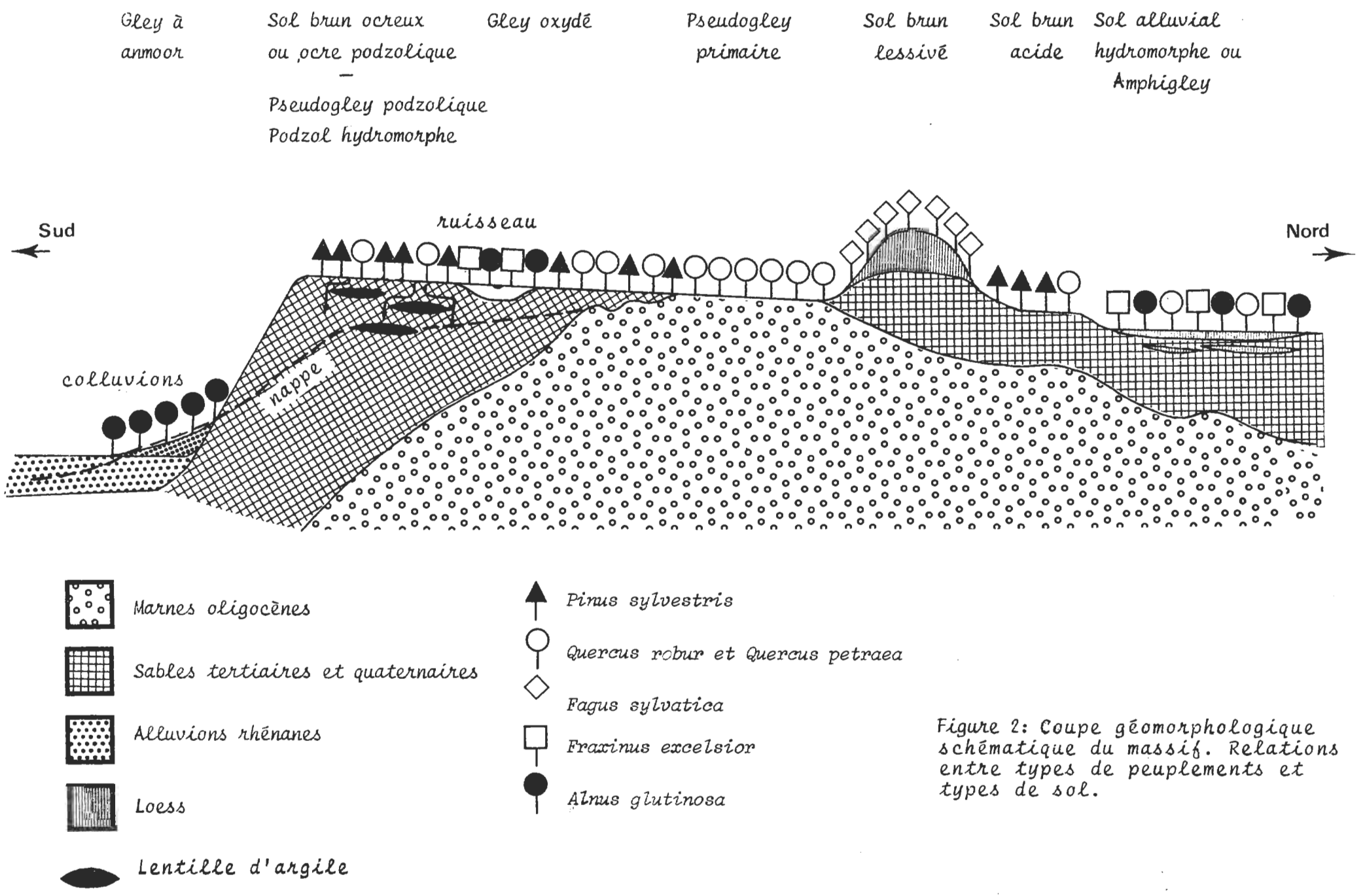


Figure 2: Coupe géomorphologique schématique du massif. Relations entre types de peuplements et types de sol.

La présence de ces lentilles est certainement l'un des facteurs de différenciation de la végétation les plus importants par la répartition des nappes superficielles qu'il impose.

La stratigraphie des dépôts est relativement complexe. On se reportera à G. MOREL (1972) pour la distinction des différents faciès. En particulier, la distinction entre marnes oligocènes et argiles pliocènes ou entre sables pliocènes et sables quaternaires peut être délicate. Elle est à l'origine des erreurs dans les contours de la feuille de Haguenau (Carte géologique au 1/50 000°), parfaitement fantaisistes et auxquels on ne peut se fier ; on peut se reporter à la notice (F. MENILLET et al.,1976) qui corrige.

143. Les alluvions quaternaires.

Les sables quaternaires, de teinte jaune rouille à brune, proviennent du démantèlement glaciaire des Vosges gréseuses, ou du remaniement des sables pliocènes. Ils constituent les cônes de déjection de la Moder et de la Sauer, sur lesquels s'étend le massif de Haguenau. Au Sud, le cône de la Zorn est occupé par la forêt de Brumath. L'épaisseur de la formation croît d'Ouest en Est ; son épaisseur maximale se situe à proximité du talus (13 m à Soufflenheim).

On rencontre parfois, dans ces sables beaucoup plus riches en fer que les alluvions pliocènes, un niveau aliotique de concrétions ferro-manganiques de grosse taille (jusqu'à 40 cm). L'origine, actuelle ou fossile, de ces garluches est inconnue. Ces sables contiennent aussi, rarement, des niveaux argileux.

144. Loess et limons loessiques.

Ceux-ci occupent une faible surface dans la partie Nord-Est du massif. Il s'agit de loess déposés dans une zone temporairement inondée, temporairement exondée (F. GEISSERT, 1968a), irrégulièrement décalcifiés et qui alternent avec des bancs de sable. Par placages localisés, ils recouvrent aussi les buttes du centre et de l'Ouest du massif. Leur extension à toutes les surfaces, au Nord, à l'Ouest et au Sud du massif, marque le passage de la forêt aux zones cultivées.

Notons enfin la présence localisée d'alluvions récentes, de formations tourbeuses (tendant à disparaître avec le drainage) et de dunes. Ces dernières pourraient être de formation très récente, car elles recouvrent des niveaux contenant des tessons de poterie médiévale, témoignant donc à cette époque d'une dégradation et d'une ouverture du paysage forestier se généralisant semble-t-il à toute la forêt (E. DILLMANN, 1971 et comm.or.).

145. Conclusion.

La nature imperméable du sous-sol à plus ou moins grande profondeur, alliée à la topographie plane, font du massif de Haguenau une forêt humide (nombreux toponymes en "lach", soit flaque, ou marais). Les zones sur sables épais du Sud et Sud-Est sont, elles, soumises à une pauvreté extrême du substrat, alliée à une sécheresse importante. Ainsi s'explique le maintien de la forêt au centre d'une région depuis longtemps très cultivée (J.O. HAAS, 1922). Ces conditions sont à l'origine de deux gradients de différenciation des milieux, l'un chimique, l'autre hydrique.

15. Pédologie.

La carte des sols au 1/100 000° du Nord de l'Alsace (J.P.BOUDOT,1975) ne permet pas d'exprimer l'extrême variabilité locale. L'étude de B.PARE (1977) précise quelques problèmes pédogénétiques posés par les sols du massif de Haguenau.

Ceux-ci sont principalement déterminés par la nature des formations sous-jacentes (voir fig.2).

151. Sur les marnes oligocènes.

Lorsqu'elles sont recouvertes d'une faible épaisseur d'alluvions, la discontinuité granulométrique entraîne l'apparition d'une nappe temporaire et la formation d'un **pseudogley.** Le taux de saturation est fonction des proportions respectives d'argiles et limons d'une part, de sables d'autre part.

152. Sur les alluvions sableuses.

En conditions bien drainées se développent des sols brunifiés (**sols bruns acides)** ou podzolisés (**sols ocres podzoliques** et parfois **sols podzoliques),** le plus souvent intergrades (**sols bruns ocreux**). Le degré d'évolution est lié à la composition du matériau initial (teneur en fer en particulier).

L'observation par plusieurs auteurs de podzols humo-ferrugineux en conditions drainées dans le massif de Haguenau semble être une erreur à rapporter aux difficultés d'appréciation de l'intensité de l'hydromorphie en période sèche.

Dans les dépressions mal drainées, ou lorsqu'un niveau argileux est proche de la surface, il se développe des **sols podzoliques à pseudogley**, des **podzols hydromorphes** ou des **pseudogleys podzoliques.** Lorsque la nappe est permanente, on a des **gleys** à **anmoor.**

153. Sur loess et limons loessiques.

On rencontre principalement des sols peu évolués de type **sols alluviaux à gley profond**, ou des **gleys**, mais aussi, sur les buttes bien drainées, des **sols lessivés.** Ces sols sont plus ou moins eutrophes selon la profondeur de décarbonatation du loess.

Les variations de la texture des alluvions, de la profondeur de décalcification des substrats calcaires, loess ou marnes, de la profondeur du plancher argileux et des caractéristiques de la nappe (durée, profondeur, amplitude de battement...) sont autant de facteurs de diversification des sols. Notons la forte acidité générale(pH 3,2 à 4,5 sur sables et jusqu'à 5,6 sur marnes).

La sylviculture enfin retentit, elle aussi, sur le sol et en particulier sur l'évolution de l'humus (P. LEROY, 1961).

16. Caractères généraux de la végétation.

161. Données floristiques.

La flore d'Alsace est bien connue dans son ensemble depuis les travaux de F. KIRSCHLEGER (1852-1862-1870) et E.ISSLER, E. LOYSON, E.WALTER (1965).

P.C. BILLOT, avec ses *Florae Galliae et Germaniae exsiccata* (1855-1862), livre le premier herbier complet de la flore haguenovienne. Plus récemment, les notes de F. GEISSERT (1959, 1960, 1968b), F. GEISSERT et U. KEIFF (1956a et b), F. GEISSERT et A. SCHNEIDER (1979) présentent les plantes rares ou menacées de la région.

Nos relevés nous ont livré 260 espèces environ, dont une cinquantaine présentes une seule fois. Cette relative pauvreté floristique des stations forestières est à mettre en liaison avec la pauvreté des sols d'une part (absence de sols calcaires en particulier) et avec les influences anthropogènes d'autre part. Toutefois, la totalité de la flore du massif, compte-tenu des espèces des lisières forestières, des landes ou des milieux aquatiques, reste très riche.

162. Données phytogéographiques.

La dition se situe dans le **domaine médio-européen, secteur baltico-rhénan** selon H. GAUSSEN (1954).

1621. L'élément médio-européen.

Les espèces de répartition principalement médio-européenne sont dominantes dans la flore du massif. Toutefois, et c'est le cas des plus communes, il n'est pas possible en général de leur attribuer une valeur sûre de "marqueur".

Citons toutefois *Luzula luzuloïdes* et *Carex brizoïdes*, très fréquentes, *Carex umbrosa*, *Galium sylvaticum*, *Pulmonaria obscura* beaucoup plus rares, *Ulmus laevis* et *Prunus padus* localisées dans les milieux hygrophiles, *Helichrysum arenarium* et *Armeria maritima subsp. elongata*, plantes peu communes des pineraies sèches et des landes.

Le pin sylvestre, dans l'hypothèse où il possède à Haguenau l'unique localité spontanée de plaine en France, atteint ici la limite occidentale en plaine de son aire de répartition.

1622. L'élément montagnard.

L'origine vosgienne des dépôts de Haguenau a contribué au caractère montagnard très accusé de la flore.

Parmi les espèces ligneuses, on trouve l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), l'érable plane (*Acer platanoïdes*), l'orme de montagne (*Ulmus glabra*), le sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*), le sureau rouge (*Sambucus racemosa*), le framboisier (*Rubus idaeus*), la myrtille (*Vaccinium myrtillus*).

Parmi les espèces herbacées, on peut citer *Luzula luzuloïdes*, *Luzula maxima*, *Festuca altissima*, *Silene dioïca*, *Gagea lutea*, *Poa chaixii*, *Prenanthes purpurea*, *Senechio fuchsii*, *Veronica montana* et de nombreuses fougères (*Thelypteris phegopteris*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Thelypteris limbosperma*,...).

1623. L'élément subatlantique.

L'élément euatlantique est totalement absent à Haguenau. On trouve les espèces subatlantiques suivantes : *Hypericum pulchrum*, *Digitalis purpurea*, *Scutellaria minor*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Galium saxatile* (ces deux dernières étant notées subatlantiques douteuses par P. DUPONT, 1962).

Le houx peut être considéré en Alsace comme lui aussi lié aux influences atlantiques. De fait, c'est seulement dans le Nord-Ouest de l'Europe qu'il apparaît comme "un excellent réactif du climat océanique" (P. DUPONT, loc.cit.). Il est fréquent dans le massif de Haguenau et absent du reste de la plaine d'Alsace. Nous avons déjà souligné précédemment ses exigences climatiques à cet égard (E. WALTER, loc.cit.).

Toutes ces espèces connaissent une abondance beaucoup plus forte à l'étage montagnard des Vosges où le caractère océanique du climat est renforcé du fait de l'altitude.

1624. L'élément subméditerranéen.

Encore abondant dans le Sud de l'Alsace (massif de la Hardt), il disparaît totalement à Haguenau. Seule est encore présente la phalangère (*Antheric um liliago*).

1625. Conclusion.

Ainsi, le massif de Haguenau est bien caractérisé par un fond d'espèces à large répartition européenne, un fort contingent d'espèces montagnardes, la présence de quelques subatlantiques et l'absence d'espèces d'affinités méridionales.

Au sein du secteur baltico-rhénan, J.M.ROYER (1973) propose la distinction des districts Lorrain et Champagne-Sénonais. Malgré l'absence d'études chorologiques synthétiques en Alsace, il nous semble aussi possible d'individualiser un **district vosgien** et un **district alsacien**. Le premier est parfaitement caractérisé par sa flore montagnarde, le second par le lot important d'espèces médio-européennes ne dépassant pas vers l'Ouest l'Alsace (*Potentilla alba, Allium suaveolens, Chimaphila umbellata, Armeria maritima* subsp. *elongata* ,...).

Ce district alsacien recèle lui-même plusieurs zones phytogéographiques que seules les études floristiques et phytosociologiques synthétiques ultérieures pourront préciser (ainsi la carte de la végétation au 1/200 000° de l'Alsace de J. TIMBAL, à l'impression actuellement).

163. Données phytosociologiques.

Une petite zone de la forêt a fait l'objet d'une étude phytosociologique par G. JUNG (1962). Ont aussi été prospectées les forêts adjacentes de Brumath (J.M. SCHILLY, 1965) et du Herrenwald, Krittwald, ainsi que le bois de Geudertheim (G.LEMEE et P. LOSSAINT, 1953).

Ces études ont conclu à la présence de six groupements végétaux : le *Carici remotae-Fraxinetum* Koch 1926, le *Querceto-Carpinetum* Tüxen 1937 représenté ici par les sous-associations *stachyetosum sylvaticae*, *stellarietosum* et *luzuletosum*, le *Quercetum medioeuropaeum* Br.-Bl. 1932 et sa sous-association *molinietosum*.

17. Les facteurs biotiques.

L'action de l'homme, prépondérante dans l'histoire du massif, fait l'objet du chapitre suivant.

Le **chevreuil** est abondant (10 animaux en moyenne aux 100 ha selon P. LEROY, 1977) et oblige à clôturer presque toutes les régénérations de chêne, ou de pin sylvestre lorsqu'il est associé au chêne rouge.

Le chêne subit aussi les attaques régulières de la **tordeuse verte** (*Tortrix viridana* L.)ce qui explique en partie la rareté des glandées. Moins courants sont les dégâts dus à l'**oïdium** (*Microsphaera alphitoïdes* Grif. et Maubl.). Nous avons souvent observé la **cochenille du hêtre** (*Cryptococcus fagisuga* Lind.).

Le pin sylvestre est attaqué principalement par le **rouge cryptogamique**, étudié à Haguenau par L.LANIER (1969). Il existe à l'état endémique dans les régénérations pures et peut être très néfaste à la suite des années humides.

On trouve en fait trois espèces de *Lophodermium* sur les aiguilles de pin sylvestre. L'espèce pathogène est *L. seditiosum* Minter, Staley et Millar ; le vrai *L. pinastri* (Schrad.) Chev.n'est qu'un saprophyte des aiguilles de la litière ; *L. conigenum* Hilitz. enfin s'attaque aux aiguilles des sujets déjà affaiblis par d'autres causes (D.W. MINTER et C.S. MILLAR, 1979).

Il est important de constater que lorsqu' une régénération naturelle de pin sylvestre s'installe,elle n'est généralement pas viable à cause des dégâts ultérieurs du rouge (L.LEROY, 1957). En effet, les semis, qui apparaissent toujours en bouquets serrés avec les aiguilles enchevêtrées, sont beaucoup plus gravement atteints que les plantations dont les sujets sont isolés les uns des autres. L'attaque est toujours plus forte en terrain humide qu'en terrain sec.

Parmi les nombreux insectes nuisibles qui peuvent s'attaquer au pin sylvestre à Haguenau, il faut retenir principalement :

- la **larve du hanneton** (*Melolontha melolontha* L.) dans les sols sableux secs ;

- l'**hylobe du pin** (*Hylobus abietis* L.).

Ils ont été traités respectivement par le HCH (hexachlorocyclohexane) et le DDT, jusqu'à l'interdiction en France de ces insecticides, en 1972. L'emploi de ces organo-chlorés à forte rémanence serait à l'origine, selon R. ENGEL (1980), de la disparition du grand tétras en 1954.

18. Conclusion : délimitation de la région naturelle étudiée.

Ainsi présenté, le massif de Haguenau révèle une unité macroclimatique, géologique, topographique, pédologique et phytogéographique qui permet de le placer dans sa totalité au sein d'une unique **région naturelle** (ou petite région naturelle, région écologique, petite région écologique selon les auteurs). Cette unité est nécessaire à toute typologie des stations forestières par suite des problèmes de chorologie, écotypie ou compensation de facteurs se manisfestant dans la végétation lorsqu'on passe d'une région à l'autre.

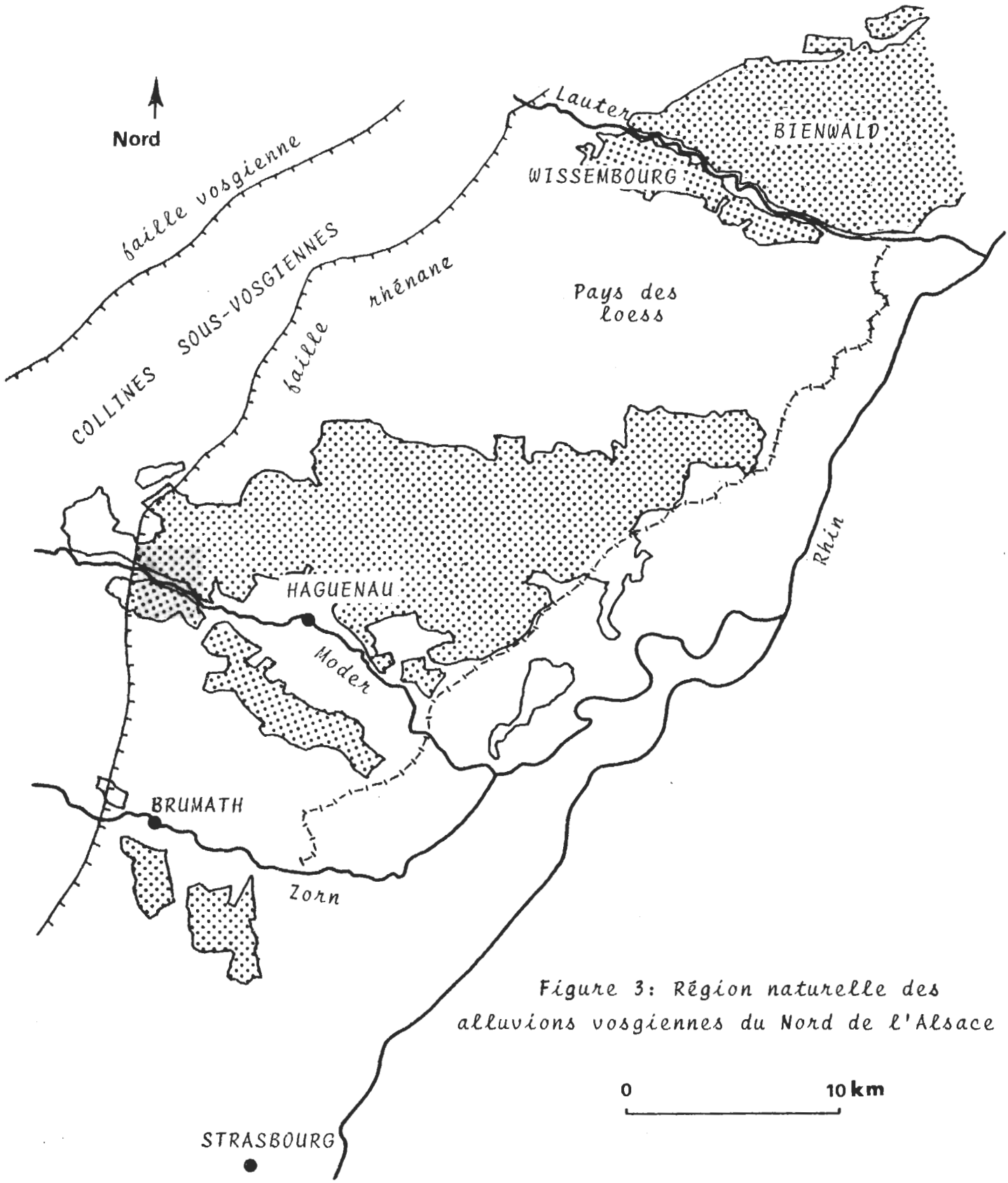


Figure 3: Région naturelle des alluvions vosgiennes du Nord de l'Alsace

La délimitation de la région dans laquelle s'insère le massif de Haguenau est en fait le premier stade de notre démarche méthodologique. Nous pourrons ainsi extrapoler avec sûreté aux autres forêts de cette région les résultats obtenus concernant la valeur indicatrice de la flore vis-à-vis des conditions stationnelles et leur lien avec la productivité des essences.

Si l'on dispose, dans le Sud de l'Alsace, d'un découpage satisfaisant (J. SITTLER, 1972, et surtout J. DELPONT et al., 1955), il n'en est pas de même dans le Bas-Rhin où n'existent que ceux, trop grossiers, de l'INSEE, de l'Inventaire Forestier National (cf.ONF, 1982) ou de G. MILLOT et al. (loc.cit.).

Nous proposons de regrouper dans une même région naturelle les forêts du Nord de la plaine d'Alsace situées sur les cônes d'alluvions siliceuses des rivières vosgiennes. Ce sont, du Sud au Nord (voir fig.3) :

- le massif du **Herrenwald**, **Krittwald**, le bois de **Geudertheim** et la forêt de **Brumath** sur les alluvions de la **Zorn** ;

- le massif de **Haguenau** sur le cône alluvial de la **Moder** ;

- reposant sur le cône alluvial de la **Lauter**, la forêt de **Wissembourg** et, immédiatement au Nord de la frontière d'Alsace, dans le Palatinat, le grand massif du **Bienwald**, comparable en tous points à celui de Haguenau.

Cette région naturelle des **alluvions vosgiennes du Nord de la plaine d'Alsace** est donc discontinue, en alternance avec les zones recouvertes de loess.

Nous en excluons les bois de Soufflenheim, Routzenheim, Leutenheim, la Donau, pourtant en continuité avec le massif de Haguenau, mais situés sur les alluvions rhénanes. Les 20 m du talus bordant le Sud-Est du massif séparent en effet très nettement ces deux régions. En particulier, la pineraie de Sessenheim-Dalhunden, sur les bancs de graviers rhénans, possède une flore médio-européenne beaucoup plus marquée comme d'ailleurs les prairies de rieds alentour.

A la charnière de ces deux régions se situe une zone intermédiaire de colluvions recouvrant les alluvions rhénanes plus ou moins calcaires. On y trouve, lorsqu'elles n'ont pas été transformées en prairies, des aunaies très riches telle celle de Forstfeld.

CHAPITRE II

L'ACTION HUMAINE DANS LE MASSIF DE HAGUENAU

21. Aperçu historique

L'histoire du massif a fait l'objet de nombreuses monographies, dont on trouvera la liste dans A.M. BURG (1961). Citons seulement celles de G. HUFFEL (1920 et 1931).

Dès l'époque néolithique, la civilisation du loess, installée sur le pourtour de la forêt, réalise d'importants défrichements.

L'âge du bronze voit une colonisation de la forêt dont témoignent les 620 tumulus recensés au sein même du massif (F.A. SCHAEFFER, 1926). Les populations sont sans doute principalement pastorales. Deux raisons peuvent expliquer cette colonisation :

- le passage d'un climat atlantique à un climat plus sec et plus chaud, asséchant et clairsemant la forêt qui devient habitable ;

- l'arrivée de peuplades venant d'Espagne par le Rhône et le Rhin, ou du Neckar, du Rhin supérieur ou de la région du Main et apportant avec elles un genre de vie moins sédentaire, et qui ont colonisé ces forêts clairiérées.

La période franque connaît un premier développement du monachisme, instrument par excellence du défrichement ; ainsi se crée le monastère de Surbourg. La forêt se nomme alors Forêt Sainte en raison des pieux anachorètes y ayant établi leur résidence (dont le célèbre moine Arbogast).

Les défricheurs se remettent au travail à la fin du XIème et pendant le XIIème siècle ; c'est la fondation des monastères de Walbourg, Koenigsbruck... Les étapes précises de ces défrichements sont reconstituées par H. DUBLED (1961).

La ville de Haguenau est fondée pendant la première moitié du XIème siècle. Dès 1164, l'empereur germanique Frédéric Barberousse accorde à ses habitants une charte de franchise dans laquelle il leur reconnaît, entre autres, des droits d'usages (1) dans la forêt pour les bois de construction, le bois de chauffage et le pâturage.

Après le traité de Wesphalie (1648) qui cède l'Alsace à la France, l'application de l'ordonnance des Eaux et Forêts édictée par Colbert (1669) provoque un conflit permanent entre la ville de Haguenau, privée brutalement de ses droits sur la forêt et le nouveau maître des Eaux et Forêts (P. SILVY-LELIGOIS, 1977). En 1696, Louis XIV déclare la ville de Haguenau copropriétaire de la forêt par indivision avec Sa Majesté, les frais de garde étant toutefois mis à la charge exclusive de la ville.

La période révolutionnaire n'apporte pas de modification essentielle au système d'exploitation de la forêt.

(1) droits que possède une collectivité de jouir, moyennant l'observation de conditions définies, d'une partie des produits d'une forêt dont elle n'est pas propriétaire.

En 1842-1845 est rédigé le premier véritable aménagement. Le mode de traitement est déjà, pour la plus grande part de la forêt, la futaie.

En 1872-1874, le service forestier allemand procède à un nouvel aménagement, conforme aux idées forestières prussiennes. Le traitement en futaie est étendu à toute la forêt, le parcellaire actuel mis en place. Chênaies et pineraies sont régénérées artificiellement, par semis. Le hêtre est planté en sous-étage des pineraies, mais aussi, massivement, l'épicéa.

22. La physionomie actuelle de la forêt.

L'essence principale, tant du point de vue économique que par la surface occupée, est le pin sylvestre. Le chêne pédonculé est nettement plus abondant que le chêne sessile ; leur mélange est fréquent (ainsi, pour nos relevés dans lesquels le chêne est présent en strate aborescente, il s'agit dans 44 % des cas de chêne pédonculé, dans 30 % des cas de chêne sessile et dans 26 % des cas d'un mélange). Le hêtre peut être localement abondant dans la strate arborescente dominante (surtout dans l'Est du massif).

Le charme est très fréquent en sous-étage des chênaies, de même que le hêtre, planté en sous-étage des pineraies.

Parmi les essences secondaires, l'épicéa se rencontre en mélange avec les pins. Frêne et aune glutineux, localisés le long des ruisseaux en forêt indivise, sont très abondants dans la Forêt de Hatten et la Forêt d'Aschbruch (1). Viennent ensuite ormes et bouleaux et, parmi les essences introduites, pin weymouth et chêne rouge.

On trouvera au tableau II la proportion de la surface occupée par chaque essence en Forêt de Haguenau, d'après les données de la révision d'aménagement de 1967. L'Atlas des forêts d'Alsace (ONF, 1980) donne les cartes de répartition des principales essences. On pourra aussi consulter les travaux d'interprétation de photos satellites de A. KHINECHE (1978) et P. FOURNIER (1980).

Tableau II : Proportion en surface des différentes essences.

Pin sylvestre	Chêne	Charme	Hêtre	Epicéa	Divers : frêne,aune, ormes, bouleaux, pin weymouth
45,5 %	26,4 %	8,8 %	8 %	4 %	7,3 %

23. Les problèmes écologiques liés à l'action anthropique.

L'action humaine a fortement modifié les groupements végétaux primitifs du massif de Haguenau, où aucune condition écologique marquée ne vient la contrecarrer. On n'observe donc plus actuellement que des **groupements secondaires.** Il importe de connaître les causes majeures de ces modifications des écosystèmes forestiers si l'on veut tenter de comprendre leur fonctionnement actuel.

(1) toponyme à rattacher aux racines germanique **asche**, le frêne,et celtique ,**brusch**, la cuvette humide.

231. L'équilibre feuillus-résineux.

Le chêne eut très certainement une extension bien supérieure à celle qu'il a actuellement. La charte de 1164 mentionnait déjà : " *Ne quercui vel fago nisi ad usus edificiorum, manum aliquis imponat*" (1). Dans les réglements forestiers successifs de la marche du Hattgau (1469-1480-1572), le chêne est largement protégé. Son emploi dans les charpentes est limité aux pièces maîtresses. Bien plus, celles-ci sont inspectées par des représentants de la communauté afin de contrôler leur bon entretien ! Il est stipulé que "tout individu qui devient bourgeois, soit par son âge, soit par immigration, doit planter un jeune chêne et veiller soigneusement sur cet arbre ; s'il vient à dépérir, il devra le remplacer jusqu'à ce qu'il soit en âge de produire du gland" (G.HUFFEL, 1931).

Le principal revenu de la forêt était en effet fourni par le panage(2) bien plus que par les coupes de bois. Lors des années de forte glandée, on menait en forêt jusqu'à 10 000 porcs.

Les premières coupes régulières débutent dans la seconde moitié du XVIIème siècle. C'est le début du commerce du bois, en particulier avec l'étranger (A.M. BURG, 1949). Dès lors, le pin sylvestre étend rapidement son domaine et s'affirme comme l'essence principale.

La généralisation, pendant la période allemande, de la régénération artificielle du pin sylvestre, liée aux besoins de productivité accrue de la fin du XIXème siècle, accélère cette tendance.

Par delà les vissicitudes historiques et économiques, se pose le problème de la place respective à attribuer au pin sylvestre et aux feuillus, en fonction de leurs exigences écologiques propres.

232. Les risques de dégradation des sols.

Les sols sableux acides de Haguenau, souvent à forte hydromorphie temporaire, sont a priori fragiles (M. BONNEAU, 1973 ; M. BONNEAU et al. 1979 ; N. DECOURT et al. 1981).

Or, d'une part le soutrage (3) a été longtemps pratiqué, et souvent à l'excès dans le massif par suite de l'insuffisance de la production régionale de paille. Il portait, par ordre d'importance, sur les feuilles mortes, les mousses, bruyères, genêts, myrtilles, fougères, graminées, joncs et parfois même sur l'humus brut.

D'autre part, la disparition de la régénération naturelle du pin sylvestre a amené le remplacement de nombreuses futaies mélangées, par larges bouquets ou pied à pied, de pins et de feuillus, par des monocultures de pin sylvestre.

(1)"On ne coupera ni le chêne ni le hêtre, si ce n'est à l'usage des constructions".

(2) panage : droit de mener des porcs à la glandée ou exercice de ce droit.

(3) soutrage : droit ou exercice du droit de récolte des végétaux ou de l'humus du sous-bois.

La classification des sols forestiers faite par les Allemands en 1874 puis 1913 semble indiquer un appauvrissement des sols (tableau III). Cependant, deux aspects de la sylviculture actuelle du pin à Haguenau tendent à limiter les risques d'appauvrissement :

- la mobilisation des réserves accumulées dans l'humus brut des pineraies par labour à la régénération (P. LEROY, 1961).

- la plantation systématique d'un sous-étage de feuillus (hêtre) à 40 ans.

Tableau III : Classification des sols forestiers de 1874 et 1913.

	1ère classe	2ème classe	3ème classe
1874	6 %	60 %	34 %
1913	1 %	42 %	57 %

233. La place respective des deux espèces de chêne.

Le chêne sessile et le chêne pédonculé ont longtemps été réunis dans la gestion forestière à Haguenau. Ainsi pour P. NOEL (1920, p.12), gestionnaire de la forêt entre les deux guerres, "à aucun point de vue essentiel le chêne rouvre et le chêne pédonculé, tous deux représentés à Haguenau, ne semblent se différencier l'un de l'autre". De même, G.HUFFEL écrit (1920, p.27) : "Les deux grands chênes français, le rouvre et le pédonculé, couvrent ensemble un peu plus du quart de la surface ; il n'y a aucun intérêt pratique à distinguer les deux variétés". Il est intéressant de constater à l'époque l'écart entre les pratiques sylvicoles et les connaissances scientifiques. A. MATHIEU soulignait en effet dès 1897, dans sa flore forestière, l'écologie différente des deux espèces : "On ne saurait attacher trop d'importance, dans les travaux de repeuplement, à cette différence fondamentale, afin de placer chacune de ces deux essences dans la station qui lui est propre".

Il faut attendre quelques années encore pour voir cette différence reconnue : "Les fortes glandées de 1922 et 1931 ont permis de constater de façon sûre que, contrairement à l'opinion antérieure et à l'indifférence attribuée jusqu'alors au rouvre et au pédonculé pour le sol, il y aurait en forêt de Haguenau environ 55 % de chêne pédonculé et 45 % de chêne rouvre, et que d'autre part le pédonculé se cantonnait en terrain frais, humide ou même mouilleux, sur l'argile prédominante, tandis que le rouvre au contraire se réservait les terrains secs, sableux ou graveleux. Cette localisation est extrêmement nette, discernable souvent sans sortir d'une seule et même parcelle et à quelques mètres de distance ; elle confirme ce que l'on sait en général aujourd'hui des préférences de ces deux espèces et peut être citée comme exemple de l'intérêt et de la nécessité d'une étude attentive de détail des stations dans la plaine haguenovienne, a priori si uniforme : quelques mètres à peine de différence de niveau y ont souvent autant d'importance que des centaines de mètres d'altitude en montagne" (P. NOEL, 1934, p.52).

L'avènement du Fond Forestier National en 1948, marque réellement le début de la distinction dans les lots de graines des deux espèces. La différenciation sur pied, lors des coupes, peut être rendue difficile par la présence d'arbres morphologiquement intermédiaires (signalés par P. LEROY, 1956).

Ainsi se posent parallèlement à Haguenau un problème écologique : "quelles stations attribuer à chacune des deux essences ? " et un problème taxonomique :"les arbres morphologiquement intermédiaires sont-ils des hybrides ? ".

De nombreux autres problèmes sylvicoles se posent à Haguenau, plus ou moins liés à l'action humaine (régénération naturelle difficile dans les chênaies hydromorphes, manque de peuplements classés de pin sylvestre pour l'approvisionnement en graines autochtones...). Si les problèmes liés à la sylviculture intensive du pin sylvestre sont spécifiques au massif de Haguenau, il existe par contre de nombreux points communs avec l'ensemble des forêts du Nord-Est de la France qui ont souvent connu une histoire économique semblable (J. DION, 1970).

La présente étude veut fournir au praticien une base de travail (la connaissance écologique des stations) pour l'aider à résoudre ces problèmes.

DEUXIEME PARTIE

METHODOLOGIE

CHAPITRE III

METHODOLOGIE

Notre but essentiel est la définition des types de station forestière dans le massif de Haguenau. Rappelons que la **station forestière** est "une étendue de terrain, de superficie variable, homogène dans ses conditions écologiques (topographie, sol, climat et végétation spontanée). Une station forestière est justiciable d'une même sylviculture, avec laquelle on peut espérer, pour une essence déterminée, une productivité comprise entre des limites fixées" (définition de la commission "vocabulaire" du groupe de travail sur la typologie des stations forestières de la Direction des Forêts, 1980).

Depuis la dernière guerre, quelques forestiers ont proposé des méthodes de délimitation des types de station forestière : P. DUCHAUFOUR et al. (1958), M. JACAMON et A. MORMICHE (1958), P. DUCHAUFOUR et al. (1961) et surtout C. BARTOLI (1966 et 1967). Ainsi a été progressivement mise au point au laboratoire de phytoécologie de l'INRA de Nancy une méthodologie d'étude des stations forestières, bien explicitée par M. BONNEAU et J. TIMBAL (1973), F. LE TACON et J. TIMBAL (1975), M. BECKER (1977), J.F. PICARD (1979), N. DECOURT et al. (1981) et J. TIMBAL (1982).

Comme l'approche phytosociologique sigmatiste, elle s'appuie sur l'étude de la végétation, qui est le meilleur indicateur des conditions de milieu. Par contre, en raison de problèmes pratiques non encore résolus par la phytosociologie sigmatiste en milieu forestier (cf. J. TIMBAL, 1970 et 1982), elle diffère par la **présentation** des résultats. J.C. RAMEAU(1981a) a bien montré la dualité des deux méthodes.

Nous ne présenterons ici que les points méritant quelques précisions ou originaux de notre étude. Pour le reste, on pourra se reporter aux auteurs ci-devant cités.

31. La collecte des données.

311. L'échantillonnage.

Le plan d'échantillonnage, établi à partir de l'exploitation des documents cités au chapitre I, repose sur une **statification** préalable du massif. Les bases en sont la géologie, la pédologie, la physionomie du couvert et la topographie.

Dans chaque strate, nous avons choisi un nombre égal de relevés, non pas au hasard mais selon un **réseau de transects** . En effet, la stratification nous a révélé une opposition Nord-Sud bien marquée au sein du massif. Nous avons effectué un échantillonnage **systématique** au long de chaque transect (un relevé tous les 250 m), en évitant bien sûr les zones de végétation non homogènes ou de transition .

Sur les 250 relevés ainsi prévus, 17 % ont été éliminés lors de la phase de terrain (tombant dans des parcelles en régénération). Une prospection **subjective** du terrain a apporté 58 relevés supplémentaires, soit au total 266 relevés. Leur localisation , avec celle des transects, est donnée en annexe II.

Nous avons choisi un échantillonnage systématique sur les transects car seule une excellente connaissance des milieux forestiers permet de distinguer a priori des végétations différentes, particulièrement dans ces milieux très homogènes.

De plus, l'objection souvent reprise selon laquelle un tel échantillonnage conduit à effectuer plusieurs relevés dans une seule et même unité de végétation (connexe), relevés qui dans l'analyse ultérieure n'auraient absolument pas la même signification que ceux provenant d'unités de végétation distinctes, nous paraît peu fondée. En effet, d'un point de vue statistique, ou ces relevés effectués dans une même communauté végétale ne montrent que des variations aléatoires et dans ce cas ne gênent en rien l'analyse, ou montrent des variations significatives ; dans ce dernier cas, il peut s'agir de variations graduelles (transition d'un groupement à un autre) ou brusques (il existe alors des unités de végétation d'un niveau inférieur à celui étudié) et il est important alors d'en tenir compte dans l'analyse.

L.F. SEMERIKOV et N.V. GLOTOV (1971) ont montré que, dans une chênaie sessile, les chênes voisins, même séparés par une trouée (clairière, ruisseau ...), appartiennent à un même peuplement continu. On comprend donc que l'unité connexe de végétation ne soit pas toujours un bon niveau d'intégration des facteurs écologiques et qu'on puisse donc, dans un premier temps, échantillonner sans en tenir compte.

312. Les données inventoriées.

On trouvera en annexe III la fiche de relevé utilisée lors de l'inventaire. Elle comprend trois aspects.

3121. Données floristiques.

Dans chacune des cinq strates inventoriées (arborescente dominante et dominée, arbustive, herbacée et muscinale), nous avons noté l'abondance-dominance de toutes les espèces présentes.

Les couples *Agrostis capillaris - Agrostis stolonifera* et *Ulmus laevis - Ulmus minor* ont posé des problèmes de détermination en raison des phénomènes d'hybridation. L'étude du couple *Quercus robur - Quercus petraea* fait l'objet d'un chapitre spécial vu son importance sylvicole. On trouvera aussi à l'annexe IV une courte note sur le couple *Viola reichenbachiana - Viola riviniana*. Enfin, parmi les espèces inventoriées, nombreux sont encore les taxons collectifs mal connus. Ainsi, R. ENGEL (1968) répertorie 29 sous-espèces de *Ranunculus auricomus* dans l'Est de la France.

La synusie vernale n'a été qu'en partie prise en compte puisque nous ne sommes passé qu'une seule fois sur chaque relevé et que ceux-ci ont été effectués de mai à septembre.

3122. Données écologiques.

Ce sont des mesures simples, en nombre restreint dans cette première phase : la pente, l'exposition, la position topographique, le couvert angulaire de chaque strate.

Les données édaphiques sont notées d'après une fosse d'environ 50 cm de profondeur ; les observations sont complétées à la tarière. Ce sont :

- le type d'humus et sa description ;
- le pH de l'horizon A_1 (le cas échéant) selon une mesure de routine faite au laboratoire avec une électrode en verre et une électrode de référence au calomel (les phases aqueuses, eau et KCl normal, sont mélangées avec la terre dans le rapport 1/2,5) ;
- la profondeur, texture et structure des divers horizons ;
- leur couleur, appréciée d'après le "Munsell Soil Color Charts" ;
- leur charge en cailloux ;
- la densité de racines ;
- l'importance de la faune (en particulier l'abondance de bousiers en surface) ;
- la nature et l'importance de l'hydromorphie ;
- la réaction à l'acide ;
- la nature de la roche-mère.

3123. Données sylvicoles.

Après description globale de la strate arborescente et du traitement forestier apparent, nous avons effectué les mesures et prélèvements explicités au chapitre VII.

La présence éventuelle de gélivures ou, pour le hêtre, de la cochenille a été notée .

32. L'interprétation des données

Les données phytosociologiques recèlent un nombre élevé de variables (288 par exemple dans l'analyse globale de nos relevés) et appellent donc des méthodes statistiques automatisées d'analyse.

321. L'analyse factorielle des correspondances.

Parmi les voies d'investigations des données phytosociologiques, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) reste un outil privilégié. Elle est très classique aujourd'hui et on pourra se reporter pour sa présentation mathématique aux ouvrages de L. LEBART et J.P.FENELON (1971), BENZECRI et al. (1973) ou L. LEBART et al. (1977). Son application à la phytosociologie est elle aussi maintenant classique, à la suite des travaux de P. DAGNELIE (1960), G. ROUX et M. ROUX (1967), J. RITTER (1972), A. LACOSTE et M. ROUX (1971 et 1972).

3211. La codification des données.

Nous avons opté pour une codification directe des relevés : les données sont codées relevé par relevé, directement après transcription des espèces selon un code préétabli.

Nous avons utilisé le code floristique de l'Université de Besançon, à cinq chiffres, plus une lettre indiquant la strate (A : arborescente dominante, D : arborescente dominée, B : arbustive, H ou blanc : herbacée et muscinale). Il est regrettable qu'aucune norme n'existe dans ce domaine. Depuis l'établissement de la liste des espèces de la flore de P. FOURNIER (1961) par J.F. PICARD et J. TIMBAL (1968), puis la codification de cette liste au CEPE de Montpellier (H. BRISSE et G. GRANDJOUAN, 1971), chaque équipe a adapté ce code à sa façon. En fait, le seul élément stable d'un code restant le nom latin des taxons, il faudrait dès maintenant établir un code basé sur la nomenclature de *Flora Europaea*, numérique et alphabétique. Le développement rapide des capacités de stockage et de traitement des données informatiques devrait de plus permettre bientôt d'obtenir des résultats directement décodés avec le nom latin en clair.

L'abondance-dominance des espèces a été codée de 1 à 6.

Les données écologiques ont été, avant codification, divisées en classes d'après l'étude de leur variabilité totale. Cette première opération apporte d'ailleurs des renseignements utiles sur le massif. On trouvera la liste des classes en annexe V.

3212. La stratification des relevés.

32121. Les strates phanérogamiques.

Nous n'avons conservé dans les analyses factorielles que deux variables par espèce ligneuse sur les quatre notées sur le terrain, l'une correspondant à la strate dont la composition spécifique est peu dépendante des coupes forestières (strate herbacée et strate arbustive), l'autre correspondant à la strate dont la composition est très dépendante des coupes (strates arborescentes dominante et dominée).

Bien sûr, "en agissant ainsi, on fait intervenir un concept morphologico-floristique, alors que le fondement de la phytosociologie est essentiellement floristique, donc systématique" (M. GUINOCHET, 1955). Mais dans les pineraies plantées de Haguenau, avec sous-étage de hêtre planté lui-aussi, la considération de la seule présence de l'espèce pin sylvestre ou de l'espèce hêtre n'apporte que peu d'information sur le milieu (ou même une information erronée) par rapport à la prise en compte séparée de leur présence dans les strates herbacée et arbustive d'une part et arborescente d'autre part. Il serait d'ailleurs envisageable de placer ces variables de la strate arborescente en éléments supplémentaires de l'analyse uniquement.

32122. Les bryophytes.

Nous avons inclus les bryophytes dans l'analyse. Sur ce point très controversé, M. ROUX et R. SALANON (1974) et G. DUME (1975) concluent, après comparaison des résultats d'AFC avec ou sans les bryophytes, que leur prise en considération n'apporte pas de modifications notables dans la discrimination des ensembles mis en évidence. Mais ces auteurs ont travaillé dans des milieux relativement riches floristiquement (en particulier milieux montagnards pour les premiers) et G. DUME limite bien la portée de ses résultats aux seules forêts mésophiles (chênaies à charme).

Par contre, dans les forêts acidophiles très pauvres floristiquement, il semble dangereux de se passer de l'information apportée par la présence de nombreuses mousses, de reconnaissance aisée, information qui peut dans ce cas ne plus être redondante avec celle contenue dans les strates phanérogamiques.

Au total, l'analyse a donc porté sur 266 relevés et 288 variables floristiques. Les variables écologiques et dendrométriques supplémentaires, n'intervenant donc pas dans le calcul des axes, sont au nombre de 238. L'analyse factorielle d'un tel nombre de variables peut théoriquement se faire sans problèmes actuellement dans n'importe quel grand centre de calcul, et il est dommage que de nombreuses études mutilent encore leurs données, en particulier en faisant passer en variables supplémentaires les espèces rares. La mise à la disposition des utilisateurs de programmes simples d'accès et performants est en fait un objectif non encore atteint en France.

3213. La prise en compte de l'abondance-dominance.

Cette donnée est souvent abandonnée lors de l'analyse, parfois sans justification aucune, au profit de la seule présence-absence. Les travaux sur le rôle de ce paramètre dans l'AFC sont peu nombreux.

G. ROUX et M. ROUX (1967) et J. TIMBAL (1968) jugent, au vu des graphiques obtenus, que les résultats sont aussi bons ou meilleurs en présence-absence qu'avec l'abondance-dominance du point de vue de la discrimination des groupes de relevés. G. AVENA et al. (1981) montrent l'intérêt supérieur des listes en présence-absence.

Pour notre part, nous avons étudié la discrimination des relevés dans les deux cas, mais aussi le comportement des espèces.

Les fig.5 et 6 montrent les cartes des relevés dans le plan factoriel des axes 1 et 2 obtenus respectivement en présence-absence et en abondance-dominance. On constate un effet Guttman très marqué avec l'abondance-dominance qui se traduit par l'allure caractéristique du nuage de points de forme parabolique. Ceci est sans doute dû au fait qu'en tenant compte de l'abondance-dominance, on diminue fortement la zone de recouvrement des aires de répartition des espèces au long de l'axe 1, ce qui accroît la liaison entre le premier facteur et les suivants (J. BACHACOU, 1973) et fait apparaître l'effet Guttman. Pour ce qui est de l'interprétation des diagrammes, nous n'avons pas observé de grandes différences entre les deux approches. Tout au plus la discrimination des groupes de relevés semble légèrement meilleure en présence-absence.

Pour étudier le comportement des espèces dans chacun des deux cas, nous avons essayé d'employer une méthode objective : sur les résultats de l'AFC en présence-absence, les variables espèces tenant compte de l'abondance-dominance ont été projetées en éléments supplémentaires. Nous avons alors examiné la distance entre le point représentatif de l'espèce en présence-absence et le point représentatif de l'espèce en abondance-dominance.

On observe en moyenne pour toutes les espèces un faible déplacement (mais significatif au seuil de 1 %) vers les abcisses négatives de l'axe 1 des points représentatifs en abondance-dominance. Or, nous verrons que cet axe correspond à la richesse chimique des milieux. Ainsi, l'optimum des espèces en abondance-dominance est légèrement décalé vers les milieux plus riches par rapport à l'optimum de présence-absence.

ANALYSE FACTORIELLE GLOBALE
(266 ESPECES x 357 VARIABLES)

Plan des axes 1 et 2 dans l'espace des relevés

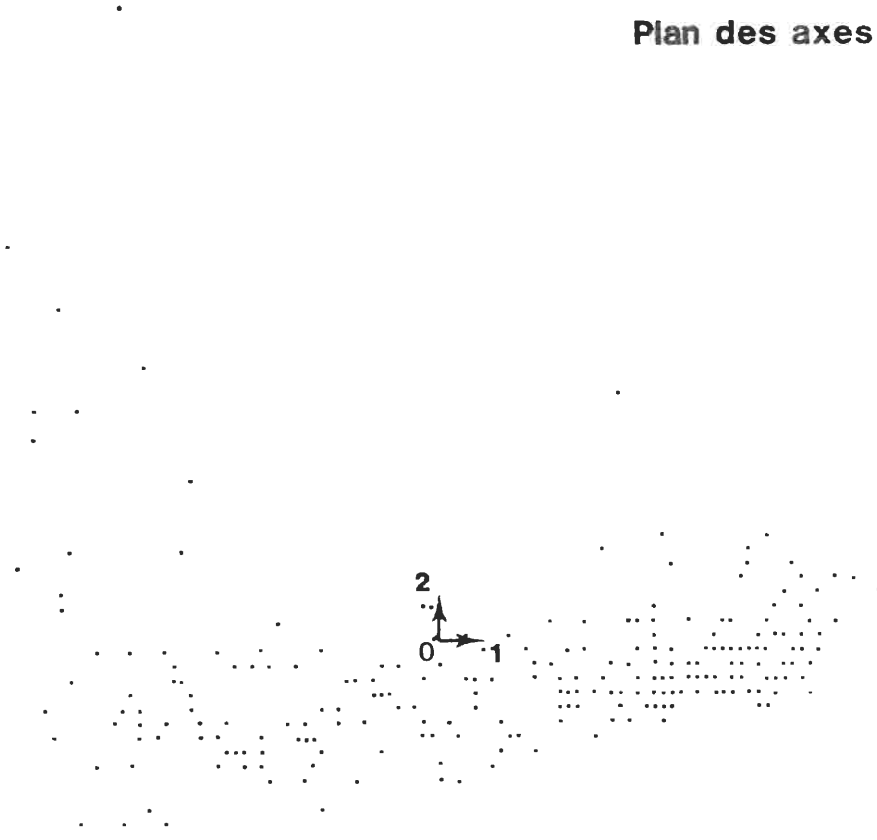


Figure 5. Espèces en présence-absence.

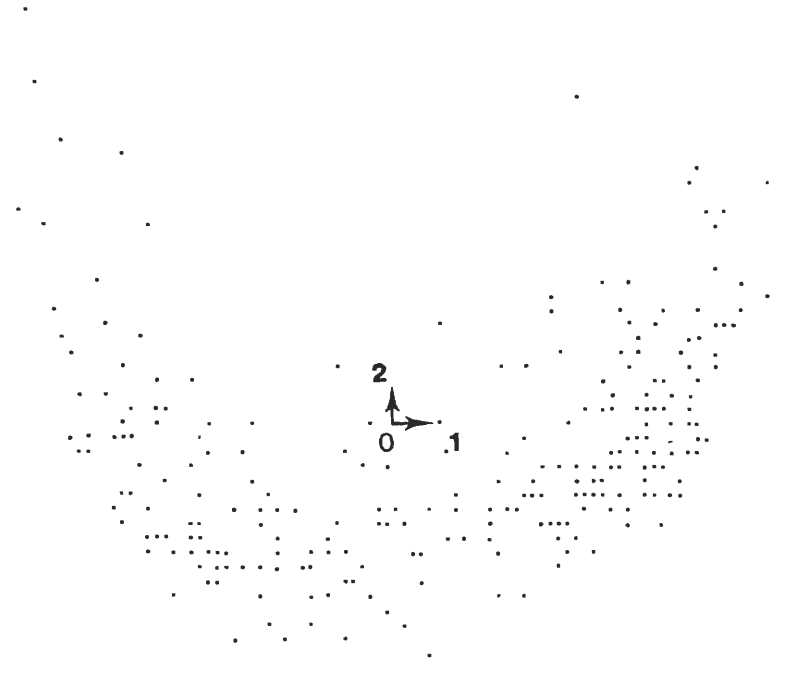


Figure 6. Espèces en abondance-dominance.

Les espèces ayant un fort décalage sont peu nombreuses . Ce sont :

Acer pseudoplatanus	H-B
Alnus glutinosa	A-D
Anemone nemorosa	
Carex elongata	
Deschampsia cespitosa	
Fraxinus excelsior	H-B
Prunus padus	H-B
Thuidium tamariscifolium	

Le déplacement de l'optimum d'abondance-dominance du frêne en strate inférieure (herbacée et arbustive) permet d'apporter un élément d'explication à une observation de terrain courante : les semis et jeunes plants de frêne se rencontrent dans des milieux très variés, sur une large gamme écologique, alors que finalement, l'arbre lui-même est cantonné à des milieux beaucoup plus restreints. Notre étude montre que si le frêne en strate inférieure est bien réparti dans une large gamme de milieux, il n'atteint une forte abondance-dominance (et donc ne laisse des chances de survie à l'espèce dans le milieu) que dans une gamme beaucoup plus réduite, dans les milieux plus riches et plus humides.

Au total, la différence entre les deux méthodes n'est pas grande, au niveau des analyses globales, car les optimums de présence-absence et d'abondance-dominance correspondent. Il peut ne pas en être du tout de même pour les analyses partielles, ou pour l'interprétation des axes d'ordre assez élevé (M. BECKER, 1979), où interviennent alors des facteurs pour lesquels l'abondance-dominance peut avoir une grande signification.

De plus, la transformation numérique des données d'abondance-dominance que nous avons utilisée (échelle de 1 à 6) n'est sans doute pas la mieux adaptée (E. van der MAAREL, 1979).

33. Présentation des résultats.

Nous présentons les résultats sous la forme d'un tableau phyto-écologique classique regroupant d'une part les ensembles de relevés homogènes en colonnes, d'autre part les groupes d'espèces qui leur sont liés en ligne.

"Ces groupes d'espèces sont appelés **groupes sociologiques** si aucune interprétation écologique n'en est faite, ou **groupes écologiques** si cette interprétation a pu être réalisée" (M. BECKER, 1979).

Construction initiale du tableau.

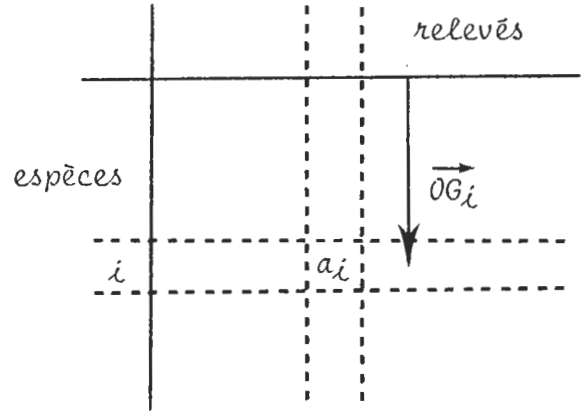
L'élaboration du tableau est facilitée par les résultats des analyses factorielles et classifications. L'approche classique consiste à disposer dans le tableau initial espèces (en lignes) et relevés (en colonnes) selon leur abcisse sur l'axe 1 de l'AFC, c'est-à-dire selon leur réponse au facteur essentiel de variation du milieu. Des retouches successives permettent d'affiner le tableau et de faire ressortir les coupures choisies.

Il est avantageux de construire directement un tableau initial déjà fortement structuré sans passer par l'AFC. Les programmes informatiques TABORD (E. van der MAAREL et al. ,1978), PHYTOTAB (R.H. WESTFALL et al. ,1982) permettent cette rationalisation de l'élaboration du tableau. Nous avons pour notre part effectué ce tri initial selon la procédure suivante, très simple :

A partir d'un tableau initial où espèces et relevés sont en ordre aléatoire, on calcule le centre de gravité de chaque colonne (relevé) :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\sum_{i=1}^{N} ai \ \overrightarrow{OGi}}{\sum_{i=1}^{N} ai}$$

ai : présence-absence ou abondance-dominance de l'espèce i dans le relevé.



On classe ensuite les colonnes par centre de gravité croissant. Puis on procède de même pour les lignes. L'itération du procédé jusqu'à convergence conduit directement à un tableau diagonalisé. Cette méthode à l'avantage d'opérer directement sur les données initiales brutes. Elle est très proche de la méthode de diagonalisation des matrices carrées de C.O. BEUM et E.G. BRUNDAGE (1950) et correspond en tous points à la méthode d'AFC dite "reciprocal averaging" des anglo-saxons (M.O. MILL, 1973). On peut, par notre méthode, imposer un ordre des relevés (ou des espèces) et ne chercher à ordonner que les espèces (ou les relevés).

CHAPITRE IV

UN CADRE CONCEPTUEL NOUVEAU POUR LES ETUDES DE VEGETATION : LA THEORIE DES ENSEMBLES VALUES. APPLICATION ET DEVELOPPEMENTS

Pour H. POINCARE, "la science n'est pas une collection de faits". Les phytosociologues ont depuis longtemps cherché à établir un cadre conceptuel rigoureux pour l'étude de la végétation. Ainsi ont été élaborées les notions d'**association végétale** et d'**individu d'association**, ou, dans le domaine forestier, de **station** et de **type de station.** M. GUINOCHET (1973) précise que l'association est une catégorie polythétique, c'est-à-dire définie par une combinaison originale de caractères dont la possession de la totalité n'est pas nécessaire ni celle d'un seul suffisante pour décider si un objet en fait ou non partie.

Nous allons présenter ici un cadre théorique, issu des développements récents de la théorie des ensembles, qui englobe les concepts précédents. Nous présentons ensuite une application pratique, issue de ce cadre, pour la classification des relevés de végétation. Les développements possibles en biologie végétale sont rapidement vus.

41. Présentation de la théorie des **ensembles valués.**

Dès 1965, L.A. ZADEH introduit en mathématiques la notion de "**fuzzy sets**"(1). A. KAUFFMANN la développe en Europe (1977). Celle-ci repose sur le fait que : "Most real_world classes are fuzzy in nature - in the sense that the transition from membership to nonmembership in such classes is gradual rather than abrupt. Thus, given an object x and a class F, the real question in most cases is not wether x is or is not a member of F, but the degree to which x belongs to F"(2) (L.A. ZADEH, 1977).

La figure 7 illustre cette notion. Dans cet espace à deux dimensions, on peut distinguer plusieurs types de points :

- les **points centraux** (z) qui sont au centre d'un ensemble (A) et qui en sont des représentants typiques ;
- les **points périphériques** (y) situés à la périphérie de l'ensemble (A) ;
- les **points intermédiaires** (x), hybrides placés entre deux (ou plus) ensembles (ici A et B) ;
- les **points étrangers** enfin (w), accidentels et n'appartenant à aucun des ensembles.

(1) La traduction littérale en est : "ensembles flous". Les travaux francophones dans ce domaine ont donné lieu à des terminologies différentes : "sous-ensembles flous" (A. KAUFFMANN,1977) ou "partitions valuées" (G. LIBERT et M. ROUBENS, 1982). Nous utiliserons ici le terme d'**ensembles valués**, moins proche de la traduction littérale, mais plus signifiant.

(2) "la plupart des classes du monde réel sontfloues par nature-dans le sens où la transition de de l'appartenance à la non-appartenance est plutôt graduelle que brusque. Ainsi, étant donné un objet x et une classe F, la vraie question dans la plupart des cas n'est pas de savoir si x est ou n'est pas élément de F,mais le degré d'appartenance de x à F".

Lors de la définition des ensembles A et B, on ne peut placer le point x dans l'un ou l'autre de ces deux ensembles. On peut par contre mettre en avant son caractère intermédiaire en lui attribuant les valeurs d'appartenance $\frac{1}{2}$ à A et $\frac{1}{2}$ à B.

On est ainsi conduit à la définition mathématique des ensembles valués. Un ensemble valué F est défini par une fonction :

$$f : F \longrightarrow [0,1]$$
$$f : x \longmapsto f(x)$$

qui à chaque élément x associe une valeur d'appartenance comprise entre 0 et 1. Pour les valeurs 0 et 1, on est ramené à l'appartenance et à la non appartenance classiques.

Figure 7 : Types de points dans un espace à deux dimensions.

On peut alors distinguer les points centraux (valeur d'appartenance proche de 1), périphériques (valeur autour de 0,8 par exemple), intermédiaires (valeurs de 0,5, 0,3,...) et étrangers (valeur proche de 0) dans un ensemble.

De nombreux objets d'étude des sciences biologiques, économiques, sociales, sont des ensembles valués (tels les différents horizons d'un sol, ou les catégories socio-professionnelles).

42. Phytosociologie et ensembles valués.

B. de FOUCAULT signale le premier l'intérêt potentiel de cette notion en phytosociologie (1980). Celle-ci peut intervenir à plusieurs niveaux.

Lors de l'étape analytique de collecte des observations (le relevé) ou lors de l'étape d'application qu'est la cartographie, on s'intéresse aux unités concrètes que sont les individus d'associations ou les stations. Or, ces unités sont des ensembles valués, car "la limite entre individus d' associations adjacents n'est en effet presque jamais tranchée. Mais la zone de transition est plus ou moins étendue selon les cas et, en outre, il peut arriver que le passage de l'un à l'autre soit si graduel que l'on a une impression de continuité" (M. GUINOCHET, 1973).

Dans l'étape synthétique, lors de la confrontation des relevés, les unités abstraites de caractère synthétique mises en évidence sont là encore des ensembles valués. M. GUINOCHET (1973) souligne la difficile appréciation globale nécessaire pour situer les coupures entre les classes de relevés. La phytosociologie sigmatiste écarte de son échantillonnage (ou du moins, de l'analyse des relevés), les relevés intermédiaires entre plusieurs types ou fragmentaires. Pour M. GUINOCHET (1973), "tous les cas ambigus, tels que mélanges d'associations, zones de contact entre individus d'association, individus d'associations fragmentaires, peuvent être interprétés grâce à la connaissance préalable des associations végétales bien caractérisées,mais seulement grâce à cette connaissance". Or, dans les faits, cette interprétation des mélanges, des types intermédiaires, n'est jamais réellement faite, faute d'une approche méthodologique adéquate.

Le cadre des ensembles valués permet, selon nous, cette approche du fait, justement, qu'il sépare relevés typiques et relevés intermédiaires ou relevés étrangers. Celui-ci apporte en partie une solution au problème du continuum en permettant de distinguer des types de végétation, mais en intégrant aussi les variations continues (relevés "hybrides").

Nous allons voir maintenant comment concrètement cette théorie peut être mise en oeuvre.

43. Application de la classification valuée en phytosociologie.

431. La classification valuée.

Dès 1969, E. RUSPINI comprend l'intérêt des ensembles valués pour la classification automatique. Les partitions fournies par la classification ne doivent plus placer chaque point dans une seule classe, mais peuvent le répartir entre plusieurs classes.J.C. BEZDEK et J.C.DUNN (1975) introduisent un algorithme itératif de classification valuée, le plus communément utilisé actuellement, dont la validation mathématique est donnée par H.H.BOCK (1979).

Cet algorithme, dont le lecteur intéressé trouvera la description dans les travaux cités, travaille sous la contrainte d'une somme des valuations égale à 1. Ainsi, l'appartenance de chaque élément aux différentes classes peut s'exprimer en pourcentage .

Le nombre de classes est fixé arbitrairement par l'utilisateur. L'algorithme démarre sur une partition initiale aléatoire, ou, si l'on a une idée a priori sur les classes à former, imposée.

L'algorithme cherche à minimiser le critère

$$\sum_{i=1}^{K} \sum_{j=1}^{N} [\delta_{F_i}(x_j)]^r \, d[x_j, CG(F_i)]$$

K : nombre de classes

N : nombre d'éléments (relevés) à classer

f_{F_i} : fonction d'appartenance de la classe Fi

d : distance

xj : élément à classer

CG (Fi) : centre de gravité de la classe Fi.

$$CG(F_i) = \frac{\sum_{j=1}^{N} [\delta_{F_i}(x_j)]^r \, x_j}{\sum_{j=1}^{N} [\delta_{F_i}(x_j)]^r}$$

Nous avons utilisé la distance euclidienne qui semble l'une des plus fiables selon B.B. LAMONT (1979).

Notons que le coefficient r permet de passer progressivement d'une classification habituelle (r =1) à une classification où tous les éléments sont équirépartis entre toutes les classes (théoriquement pour r tendant vers l'infini, concrètement dès que r =2). On passe ainsi du discontinu total au continu.

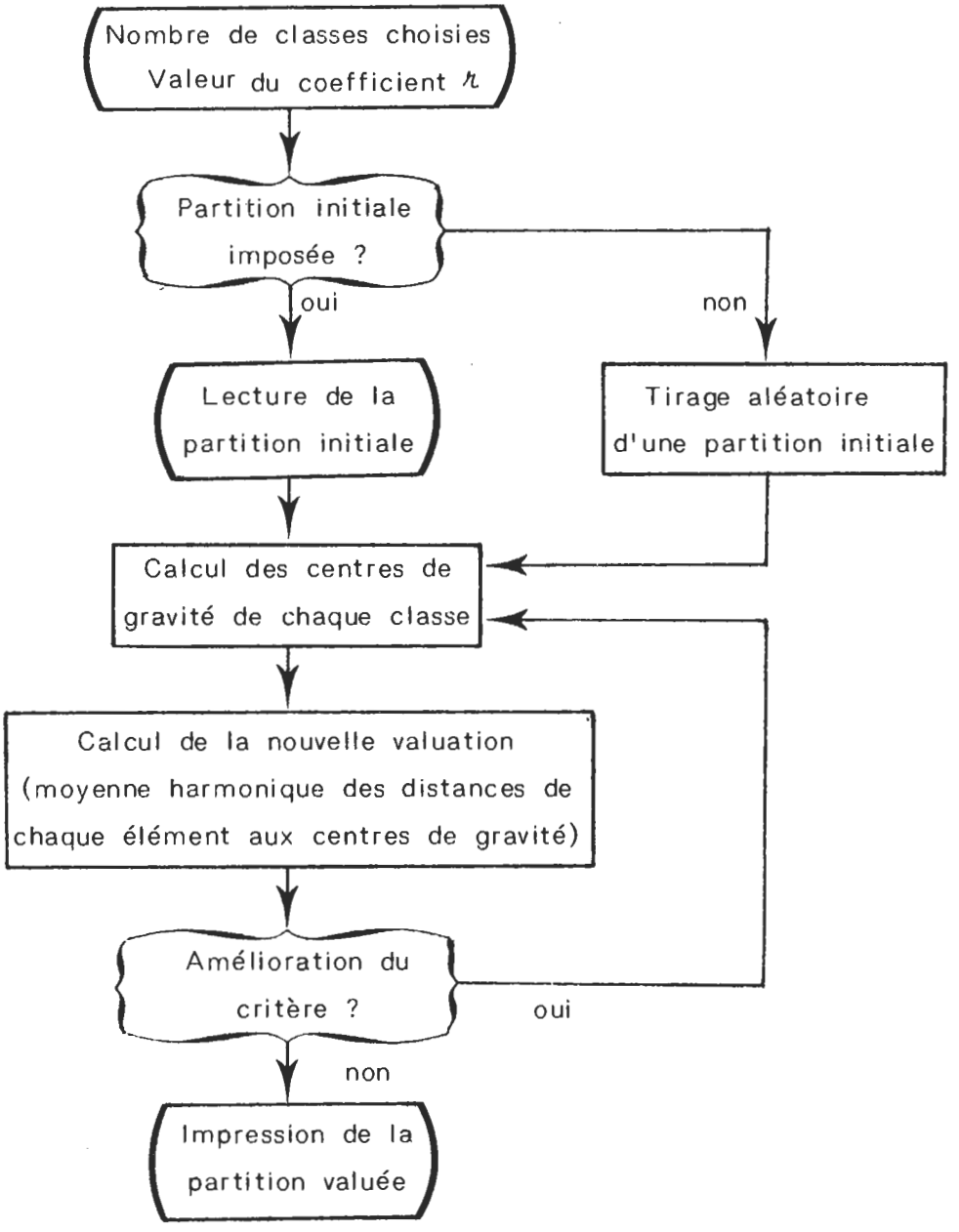


Fig. 8 : Diagramme du programme CLASVAL de classification valuée.

Nous avons réalisé à l'INRA de Nancy un programme (écrit en FORTRAN IV) de classification valuée basé sur cet algorithme (voir fig.8) et l'avons utilisé pour nos données. Nous présentons ci-après un exemple de résultats.

432. Exemple d'application.

La figure 9 montre le résultat de la classification valuée de tous nos relevés, en deux classes (r=1,1). Nous avons reporté les valeurs d'appartenance à la classe 1 (celles d'appartenance à la classe 2 en sont le complément à 1) sur le diagramme du plan des axes 1 et 2 de l'AFC. L'étude conjointe des espèces liées à cet axe (voir chapitre V) montre que la dichotomie obtenue (à partir d'une partition aléatoire) correspond parfaitement avec celle de la synsystématique divisant, au sein des forêts de plaine (*Querco-Fagetea*), d'une part les forêts acidophiles (*Quercetalia robori-petraeae* et *Quercion robori-petraeae*), d'autre part les forêts neutrobasophiles (représentées ici par les seuls *Fagetalia sylvaticae*). Cette dichotomie aurait été très difficile à situer à la seule vue des diagramme d'AFC. Cet exemple nous semble illustrer parfaitement la complémentarité de l'analyse factorielle des correspondances et de la classification automatique, souvent proclamée mais très rarement mise en application (par manque, nous semble-t-il, de logiciels adaptés et faciles d'accès). Ceci n'est pas propre à la seule classification valuée. Par contre, l'étude de la figure 9 nous permet de plus de distinguer les relevés intermédiaires entre ces deux classes. Le relevé D001 appartient ainsi pour 49 % à la classe 1 (*Quercetalia*) et pour 51 % à la classe 2 (*Fagetalia*). En voici le contenu

Relevé D001 ; 145 m ; pente nulle ; pH du A_1 : 3,9.
Strate arborescente (recouvrement 100 %) :

Pinus sylvestris 1, *Alnus glutinosa* 2, *Carpinus betulus* 5, *Fagus sylvatica* 1, *Quercus robur* 2.

Strate arbustive (recouvrement 10 %)

Carpinus betulus 2, *Crataegus laevigata* 1, *Fagus sylvatica* 1, *Frangula alnus* 1, *Ilex aquifolium* +, *Pinus sylvestris* +, *Sorbus aucuparia* 2, *Prunus fruticans* +, *Populus tremula* 1, *Picea abies* +.

Strate herbacée (recouvrement 30 %)

Deschampsia flexuosa 2, *Holcus mollis* 2, *Dryopteris carthusiana* 2, *Dryopteris filix-mas* 2, *Milium effusum* 2, *Poa nemoralis* 2, *Veronica chamaedrys* 1, *Convallaria maialis* 1, *Hedera helix* 1, *Lonicera periclymenum* 1, *Luzula pilosa* 1, *Polygonatum multiflorum* 1, *Viola riviniana* 1, *Stellaria holostea* 1, *Anemone nemorosa* +, *Carex pilulifera* +, *Rubus fruticosus* +, *Scrophularia nodosa* +, *Stachys sylvatica* +, *Teucrium scorodonia* +, *Lysimachia vulgaris* +, *Dactylis glomerata* +, *Rumex acetosa* +, *Moehringia trinervia* +, *Galeopsis tetrahit* +.

Mousses : *Polytrichum formosum*

Semis : *Carpinus betulus*

On y constate en effet un mélange d'espèces appartenant aux deux classes (et un lot d'espèces à tendance hygrophile). Une analyse plus fine du relevé montre qu'il s'agit en fait d'une mosaïque de stations fragmentaires, révélée par les variations rapides de l'humus du mull mésotrophe au moder suivant l'emplacement. Chacun des deux types de stations imbriquées ne peut être individualisé du fait de la faible surface de chaque élément de la mosaïque.

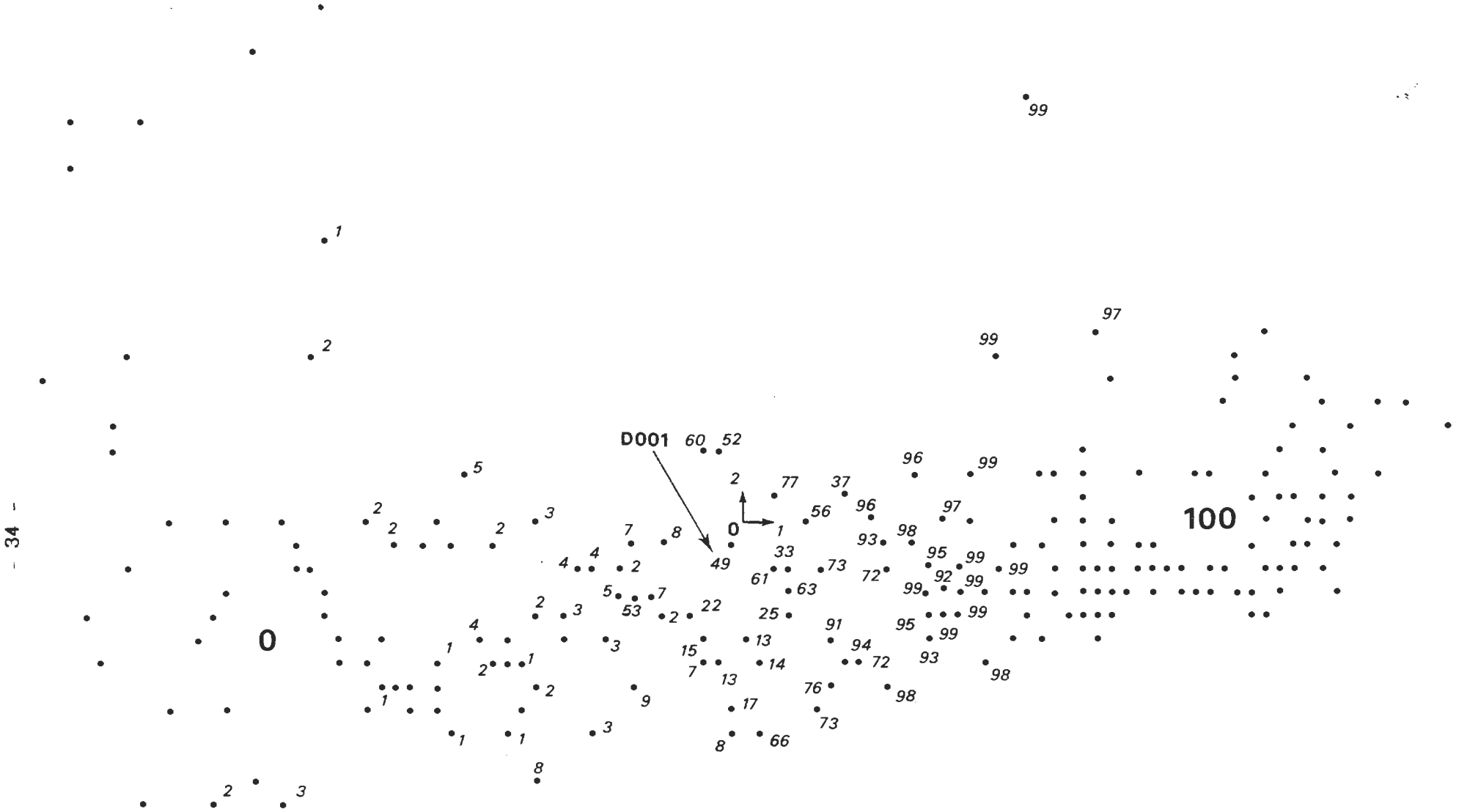


Figure 9: Classification valuée des relevés en deux classes.

Les relevés sont représentés dans le plan des axes 1 et 2 de l'AFC globale.
Leur pourcentage d'appartenance à l'ensemble "Quercion" est indiqué en italiques.
La valeur d'appartenance à l'ensemble "Fagetalia" en est le complément à 100.

Nous avons bien sûr évité de faire un seul relevé global, lors de l'échantillonnage dans ces stations en mosaïque, mais le relevé D001, dont le nombre exceptionnel d'espèces (38) indique d'ailleurs le caractère hétérogène, avait été conservé pour justement observer son "comportement" à l'analyse. La classification valuée le met parfaitement en évidence. D'autres relevés ayant des valeurs d'appartenance intermédiaires montrent des situations écologiques intermédiaires, mais cette fois homogènes. En tout état de cause, l'inclusion de tels relevés dans l'analyse ne gêne pas l'interprétation des types.

44. Discussion de la méthode et développements possibles en systématique et en synsystématique.

L'algorithme de classification utilisé a plusieurs inconvénients, dont le principal est de réaliser, à chaque étape, une valuation des éléments par rapport à un centre de gravité fixe. Il nécessite de plus l'emploi d'une distance pour le calcul des dissimilarités entre relevés. G. LIBERT et M.ROUBENS (1982) ont récemment mis au point une méthode non métrique de valuation à partir de centres variables qui nous semble plus intéressante pour un développement ultérieur des applications. Ils ont de plus testé des procédures de choix du nombre optimum de classes, problème que nous avons éludé jusqu'ici. Il nous semble en effet que, mis à part les cas (rares en milieu forestier) de groupements naturels bien tranchés, c'est finalement l'écologiste qui doit choisir le nombre de classes à mettre en évidence, même si ce nombre est totalement subjectif. Les limites, par contre, doivent alors répondre au mieux à ce nombre de classes, et pouvoir ainsi être reconnues sans équivoque sur le terrain.

Nous voudrions citer en exemple le travail de M. BIDAULT et al. (1980). L'association du *Poa chaixii-Carpinetum* y est divisé en trois sous-associations en fonction du niveau trophique, et chacune de ces trois sous-associations est elle-même toujours divisée en quatre variantes selon le niveau d'hydromorphie (variantes typique, fraîche, mésohygrophile et à tendance hygrophile). Ce schéma ne saurait bien sûr être celui qui décrit objectivement le mieux les discontinuités, si elles existent, des types de végétation. Mais il permet, une fois que les espèces repères de ces quatre coupures ont été identifiées, d'avoir un outil pragmatique d'étude du milieu.

Il serait enfin intéressant de comparer les noyaux obtenus en classification valuée avec les "formes fortes" de E. DIDAY obtenues par la méthode des nuées dynamiques (1970).

Parmi les développements possibles, notons que la **structure horizontale** de la végétation forestière est encore mal connue, faute en particulier d'outils méthodologiques adéquats. Cet état de fait est très dommageable pour la cartographie dans ces milieux où les limites entre stations sont souvent peu tranchées. L'approche par les ensembles valués pourrait être féconde.

En **systématique**, l'individu étudié n'est pas un ensemble valué, car bien délimité. Mais l'objet principal d'étude de la systématique ne concerne pas tant les individus que les populations génétiques, populations que le généticien regroupe en espèces. Or, les populations végétales sont bien des ensembles valués aux limites souvent difficiles à cerner sur le terrain. L'unité conceptuelle qu'est l'espèce est évidemment elle aussi un ensemble valué et ce d'autant plus qu'elle est mal isolée génétiquement. L'application de la théorie des ensembles valués pourrait là aussi être

utile, ainsi que nous le montrons lors de l'étude du couple *Quercus robur-Quercus petraea* (chapitre VIII). Elle a d'ailleurs déjà été proposée par J.C. BEZDEK (1974).

Finalement, la bonne adéquation de ce modèle à de nombreux phénomènes biologiques devrait en faire rapidement un outil de choix. En témoigne l'émergence non concertée du modèle dans plusieurs études récentes de végétation (R.W. BOSSERMAN et R.K. RAGADE, 1982 , Y. FENG-XIANG et al., 1982, et la présente étude).

TROISIEME PARTIE

RESULTATS DE L'INVENTAIRE

PHYTO-ECOLOGIQUE

CHAPITRE V

INTERPRETATION DES ANALYSES FLORISTIQUES. CORRELATION AVEC LES PARAMETRES ECOLOGIQUES

51. Les analyses factorielles des correspondances.

511. L'analyse globale des relevés.

La première analyse a porté sur la totalité des 266 relevés. Les valeurs propres et pourcentages d'inertie absorbés par chaque axe sont les suivants :

axe	1	2	3	4	5
valeur propre	0,54	0,21	0,20	0,18	0,16
% d'inertie	7,1	2,8	2,6	2,4	2,1

Le premier axe seul recèle une part importante de la variabilité totale.

L'interprétation des axes apporte des renseignements d'ordre écologique sur les facteurs discriminants de nos groupements végétaux et sur la hiérarchie de ces facteurs. Deux voies sont possibles pour cette interprétation :

- On peut utiliser les connaissances déjà acquises sur l'optimum et l'amplitude écologique des espèces. Les travaux de A. NOIRFALISE et P.DETHIOUX (1970), E. LANDOLT (1977), H. ELLENBERG (1979), J.C.RAMEAU (1983) fournissent, pour l'Europe occidentale, des paramètres quantifiés exprimant la réaction des espèces à divers descripteurs écologiques du milieu. On peut d'ailleurs combiner directement ces données avec les diagrammes d'analyse factorielle (S. PERSSON, 1981). L'utilisation de telles informations nécessite cependant une grande prudence en raison des phénomènes d'écotypie et de compensations de facteurs. On peut aussi utiliser les connaissances sur le comportement syntaxonomique des espèces (fournies aussi par les auteurs précédents, mais aussi par H. STIEPERAERE et K. FRANSEN, 1982 et surtout par M. GUINOCHET, 1973-1983). Dans les deux cas, les lacunes importantes de nos connaissances limitent les possibilités.

- Face à ces lacunes, la seconde voie est de mettre en évidence les corrélations entre groupes d'espèces et variables écologiques par une étude conjointe des données floristiques et écologiques. On y parvient de deux façons : soit par analyse factorielle conjointe des deux types de données (A. LACOSTE et M. ROUX, 1972), soit, ce que nous avons fait ici, par projection en variables supplémentaires des données écologiques.

5111. L'axe 1.

On remarquera tout d'abord que les relevés se répartissent le long de cet axe sans solution de continuité (fig.5).

La figure 10 donne l'abcisse des espèces ayant une corrélation (cosinus carré) avec cet axe supérieur à 0,1.

Vaccinium myrtillus (613) Betula pubescens HB (105) Picea abies AD (147)
Pinus sylvestris (267)
Deschampsia flexuosa (650) Molinia caerulea (513) Dicranum scoparium (224)

Pteridium aquilinum (397) Leucrobryum glaucum (361)

Quercus petraea HB (171) Picea abies HB (248)

Pleurozium schreberi (430) Carex pilulifera (280) Frangula alnus (422)

Quercus petraea AD (222) Dicranella heteromalla (217)

Ilex aquifolium HB (181)
Sorbus aucuparia HB (345)

Polytrichum formosum (430) Dryopteris carthusiana (300)

Maianthemum bifolium (116)

Fagus sylvatica (285)

Figure 10. Analyse globale. Espèces liées à l'axe 1. Dans cette figure et dans les suivantes, le le nombre entre parenthèses indique la corrélation avec l'axe multipliée par mille.

0

Anemone nemorosa (110) Carpinus betulus AD (105)

Milium effusum (218)
Stellaria holostea (193)
Athyrium filix-femina (206)

Deschampsia cespitosa (336)

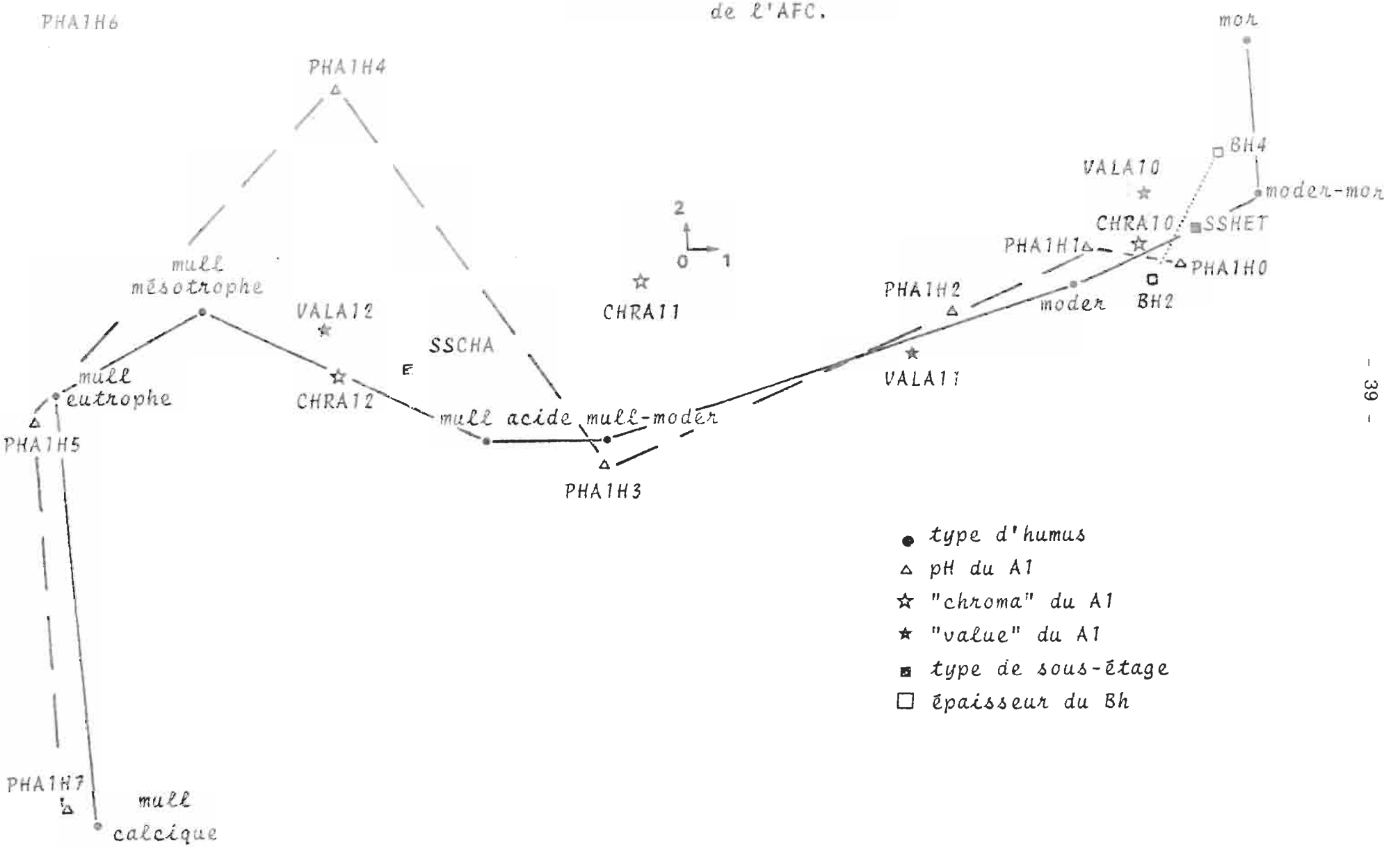
Fraxinus excelsior HB (346) Melica uniflora (146)
Crataegus laevigata HB (339) Scrophularia nodosa (185)

Carex sylvatica (401) Ajuga reptans (249) Viburnum opulus HB (121) Viola reichenbachiana (398)

Lamiastrum galeobdolon (397) Galium palustre (196) Phyteuma nigrum (172)
Fraxinus excelsior AD (303) Ranunculus ficaria (137) Rosa arvensis HB (157)
Circaea lutetiana (450) Impatiens noli-tangere (217) Acer campestre HB (193)
Cardamine pratensis (405) Potentilla sterilis (232) Vicia sepium (134)
Euonymus europaeus HB (298) Brachypodium sylvaticum (391) Fissidens taxifolius (101)
Eurhynchium stokesii (173) Mnium undulatum (313)
Veronica montana (301) Festuca gigantea (283) Stachys sylvatica (181)
Ranunculus auricomus (222) Allium ursinum (174)

Ulmus laevis HB (106) Arum maculatum (267)
Primula elatior (330) Paris quadrifolia (118)
Geum urbanum (281) Angelica sylvestris (111) Geranium robertianum (134)
Filipendula ulmaria (157) Chelidonium majus (116)

Figure 11: Variables écologiques liées à l'axe de l'AFC.



On constate qu'il oppose un ensemble d'espèces acidiphiles à un lot d'espèces neutrophiles ou neutro-basophiles, exigeantes sur le plan de la nutrition minérale et hydrique. A l'extrémité de l'axe apparaissent même des espèces à caractère nitrophile plus ou moins marqué (*Chelidonium majus, Geum urbanum...*).

On reconnaît dans le premier groupe les espèces (caractéristiques ou différentielles) des *Quercetalia robori-petraeae* , et de l'alliance du *Quercion robori-petraeae*. Le second regroupe de nombreuses espèces de l'ordre des *Fagetalia sylvaticae,* et des alliances de l' *Alno-Padion* et du *Carpinion.*

Les données écologiques (fig.11) viennent confirmer la signification de cet axe qui correspond à un gradient de **richesse chimique** du milieu. En effet, on remarque successivement les types d'humus mull calcique et mull eutrophe, puis mull mésotrophe, mull acide, mull moder, puis enfin moder, moder-mor et mor. Le pH est très lié lui aussi à cet axe, de même que la couleur de l'horizon A_1 ("value" et "chroma"), liée elle-même à la teneur en matière organique. Il est intéressant de constater que le pH au KCl est nettement moins bien corrélé avec l'axe 1 que le pH mesuré en solution aqueuse. Il semble donc que **le pH en solution aqueuse soit un meilleur indicateur de la richesse chimique du sol que le pH au KCl.** Les plantes sont en effet en contact avec des solutions aqueuses.

On remarquera que nous avons présenté les données floristiques et écologiques de deux façons différentes. Dans le premier cas, le long de l'axe 1, nous avons inscrit les abscisses des espèces atteignant une certaine valeur (arbitraire) du cosinus carré. Dans l'autre, nous avons relié, dans le plan des axes 1 et 2, les classes des variables dont la variation pouvait s'interpréter de façon cohérente. Ces choix peuvent sembler arbitraires mais rappelons, avec J.P. BENZECRI et al. (1973), qu'"en analyse multidimensionnelle, la complexité des informations traitées et des réponses obtenues est telle qu'un résultat issu de fluctuations aléatoires a très peu de chances d'être interprétable : par conséquent, on peut légitimement admettre que tout ce qui est interprétable est valide". En particulier, des espèces de faible corrélation avec l'axe 1 peuvent néanmoins parfaitement s'insérer dans le gradient basophiles-acidophiles mis en évidence. Nous nous sommes limité à un certain seuil, dans le seul souci d'une plus grande clarté. De même, la seule lisibilité nous a poussé à les représenter le long de l'axe 1 uniquement, bien qu'il soit plus informatif de les représenter dans le plan des axes 1 et 2.

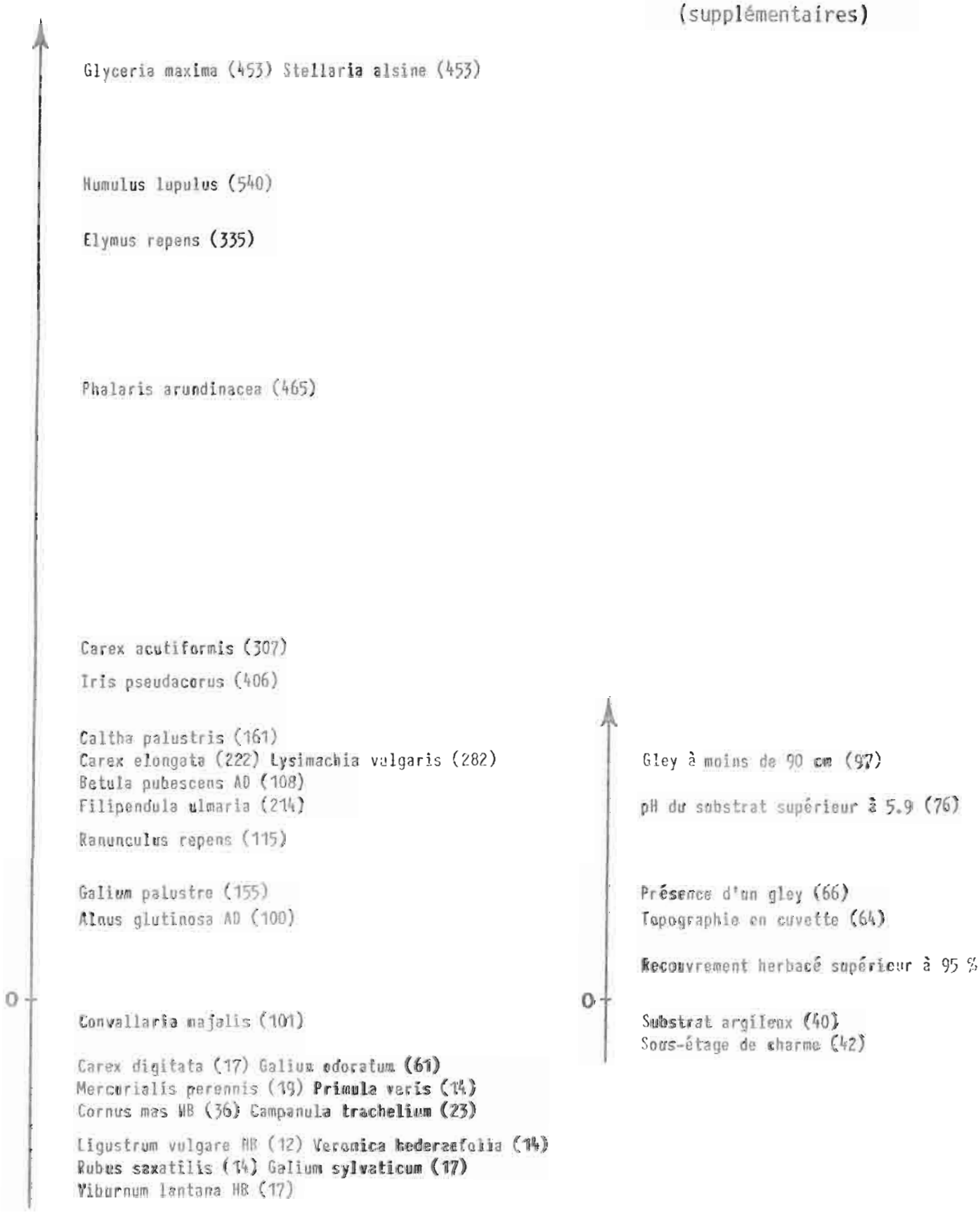
5112. L'axe 2

La figure 12 montre les espèces et les variables écologiques qui lui sont liées.

Cet axe oppose un groupe d'espèces hygrophiles à un lot d'espèces calcicoles et à tendance xérophile. Au centre se trouve *Convallaria majalis*, xérocline. Cette dernière espèce est, selon S. MULLER (1978) indicatrice d'hydromorphie en Lorraine orientale. C'est là un exemple typique des variations importantes de la synécologie pouvant intervenir dans des régions pourtant proches.

Les espèces hygrophiles sont à rattacher à divers groupements phytosociologiques des lieux humides (*Phragmitetea, Calthion palustris, Alnion glutinosae*). De cette dernière alliance , on note *Alnus glutinosa* (A-D), *Carex elongata, Lysimachia vulgaris.* Les espèces calcicoles à tendance xérophile sont liées au *Carpinion betuli.*

Figure 12. Analyse globale. Variables liées à l'axe 2.



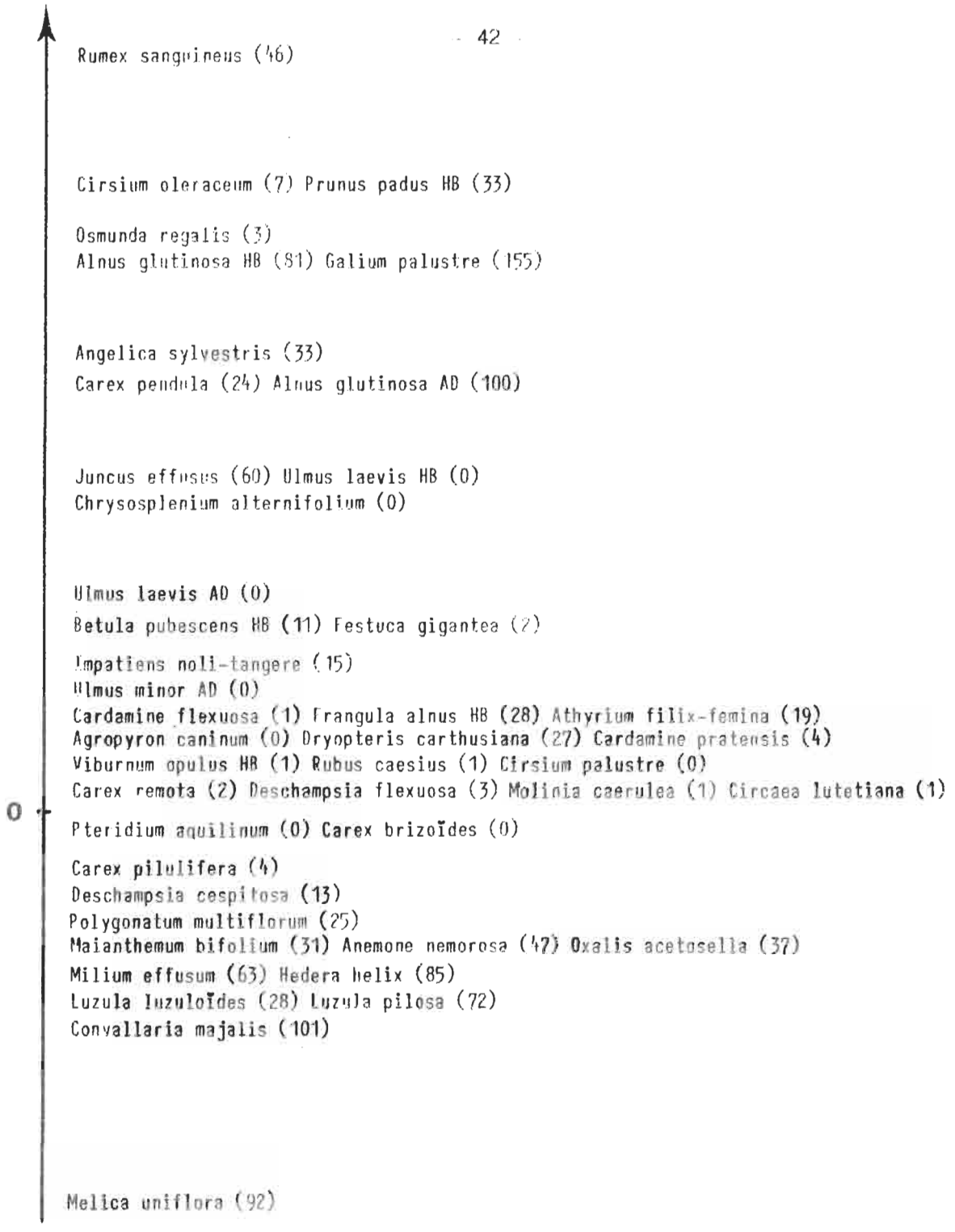


Figure 13. Analyse globale. Espèces liées à l'axe 2 après "grossissement" entre les abcisses +1 et -1

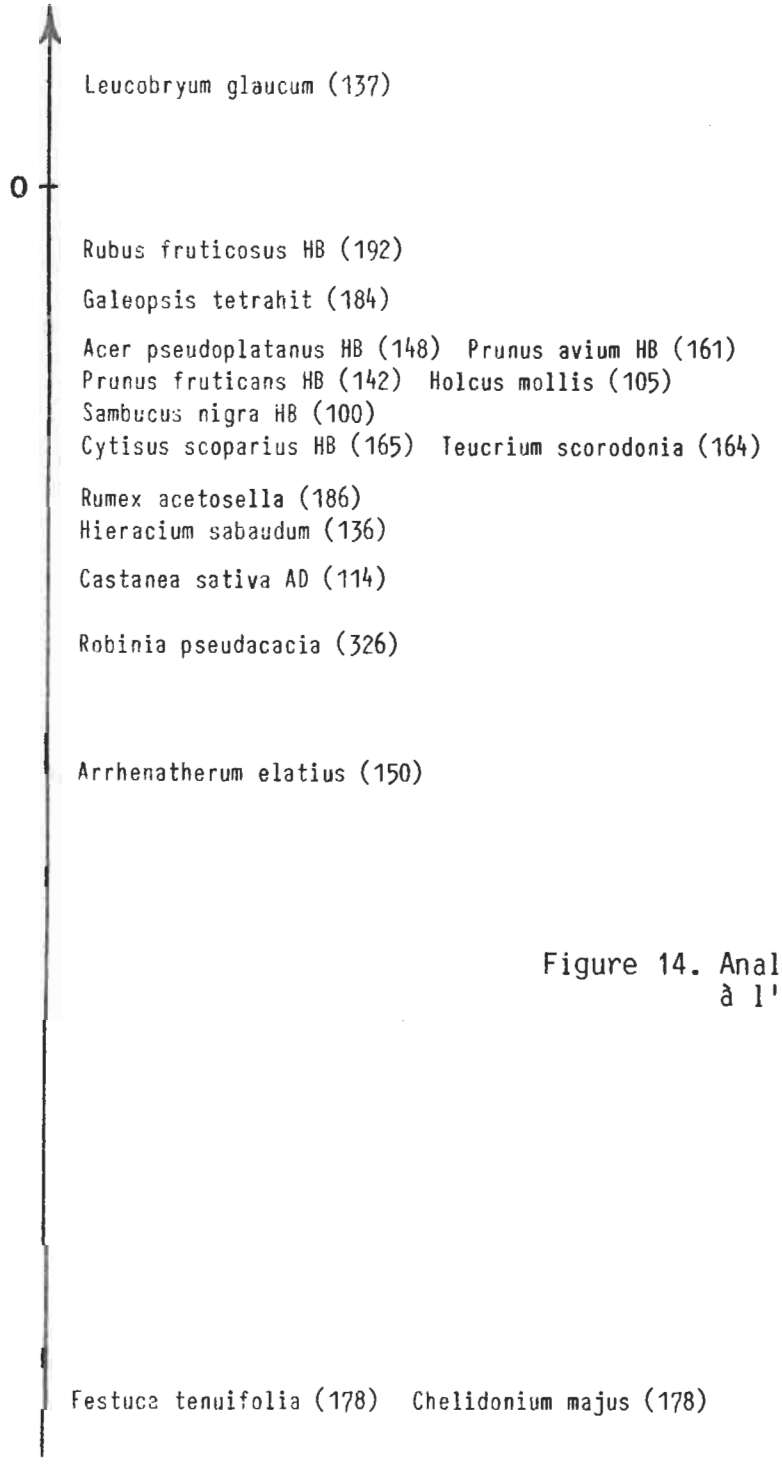


Figure 14. Analyse globale. Espèces liées à l'axe 3.

Les données écologiques montrent, pour les relevés de lieux humides, la présence d'un horizon de gley peu profond, en position topographique de bas-fond et avec un très fort recouvrement herbacé (ce dernier aspect est exceptionnel à Haguenau). Les espèces calcicoles sont liées à un humus de type mull calcique et à un pH (eau) supérieur à 6,0.

Cet axe semble donc lié au degré d'humidité du milieu. Mais, d'une part, les espèces qui lui sont liées sont pour la plupart ou très hygrophiles ou à tendance xérophile -il n'y a pas de mésohygrophiles - et, d'autre part, l'examen du diagramme des relevés (fig.5) nous montre qu'il isole à l'extrémité des abcisses positives le seul relevé 2D26, effectué dans une aunaie du pied de la terrasse, et, à l'opposé, quatre relevés de hêtraies sur limons calcaires. On pourrait donc penser que cet axe révèle non pas tant un véritable gradient d'humidité que la seule présence de ces relevés étrangers. Or, une étude plus fine, par un effet de grossissement, du comportement des espèces au long de cet axe à l'intérieur du nuage principal (fig.13) montre une succession logique des espèces.

On y voit en effet apparaître, après les espèces les plus hygrophiles précédentes, des espèces moins exigeantes sur le plan hydrique et caractéristiques de l'*Alno-Padion*. Sur les abcisses négatives se projettent les espèces mésophiles. Les espèces les plus acidiphiles semblent par contre se classer assez mal au long de ce gradient (en particulier, *Deschampsia flexuosa* et *Molinia caerulea* sont confondues), ce qui reste à expliquer.

Deux conclusions méthodologiques découlent de l'étude de cet axe :

- la présence de relevés étrangers à une analyse peut permettre de mieux structurer le nuage principal, qu'il ne faut pas hésiter alors à étudier après grossissement.

- comme pour l'axe 1, la seule prise en compte du cosinus carré n'est pas un indicateur suffisant de l'intérêt des variables.

5113. Les axes suivants.

L'axe 3 différencie un petit groupe de relevés auquel est lié un ensemble d'espèces nitrophiles (fig.14). Aucune variable écologique, parmi celles échantillonnées, ne lui est réellement liée (on arrive ici aux limites de l'emploi de telles variables).

Les axes suivants apportent peu de renseignements.

5114. Conclusion de l'analyse globale.

La classification valuée (voir fig.9) permet de diviser l'ensemble des relevés en deux sous - ensembles correspondant aux ordres des *Fagetalia sylvaticae* et des *Quercetalia robori-petraeae*. La projection des relevés bibliographiques en éléments supplémentaires (fig.15) permet de confirmer l'emplacement de la coupure et de séparer, le long de l'axe 2, un relevé de l'*Alnion glutinosae*, un groupe de relevés de l'*Alno-Padion* et les relevés du *Carpinion*. Les relevés des milieux acides restent, le long de ce second axe, très groupés. Les espèces s'ordonnent sur ces deux axes en fonction de leur synécologie.

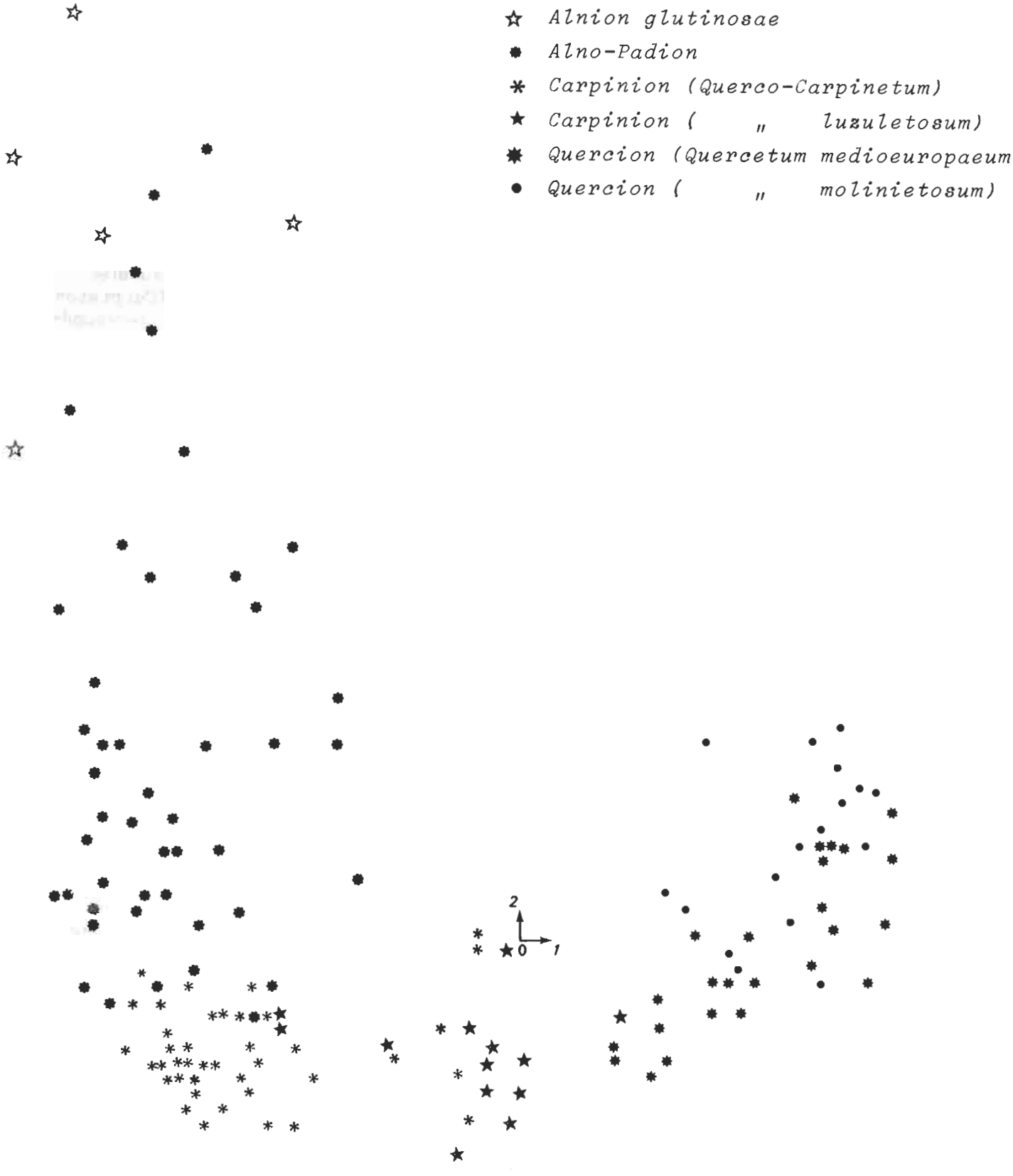


Figure 15: Analyse globale. Relevés bibliographiques supplémentaires dans le plan des axes 1 et 2.

La richesse chimique du sol est donc le premier facteur de variation de la végétation dans le massif de Haguenau, le degré d'humidité le second. Ce dernier facteur n'est nettement traduit par la végétation que dans les milieux plus riches.

Mais on verra par exemple que le facteur hydrique, qui semble n'intervenir que secondairement dans la discrimination des pineraies, joue un rôle par contre plus important que la richesse chimique sur la productivité du pin.

512. Analyse partielle des relevés des *Fagetalia sylvaticae*.

Nous avons réuni dans une même analyse les relevés d'aunaies-frênaies (*Alno-Padion*) et des chênaies-charmaies ou chênaies-hêtraies (*Carpinion*), car leurs liens floristiques et écologiques sont étroits. Ils sont d'ailleurs regroupés par certains auteurs dans une seule alliance (*Fraxino-Carpinion*).

5121. Signification des axes.

La figure 16 montre la répartition des relevés dans le plan des axes 1 et 2 de l'AFC, seuls axes interprétables. On observe en fait une répartition des relevés quasiment identique à celle de l'analyse globale, et une signification semblable des axes.

Si l'on retrouve à l'extrémité négative de l'axe 1 (voir Fig.17) les espèces de milieux riches mises en évidence à l'analyse globale, on constate par contre que le pôle acide est cette fois occupé par un faible lot d'espèces acidophiles (*Deschampsia flexuosa, Melampyrum pratense*) et un important groupe d'espèces acidoclines (ou acidoclines à acidophiles) : *Lonicera periclymenum, Luzula luzuloïdes, Maianthemum bifolium*...

De même sur l'axe 2 (fig.18), l'élimination du relevé 2D26 fait ressortir les espèces mésohygrophiles, masquées lors de l'analyse globale (*Athyrium filix-femina, Deschampsia cespitosa, Festuca gigantea*...).

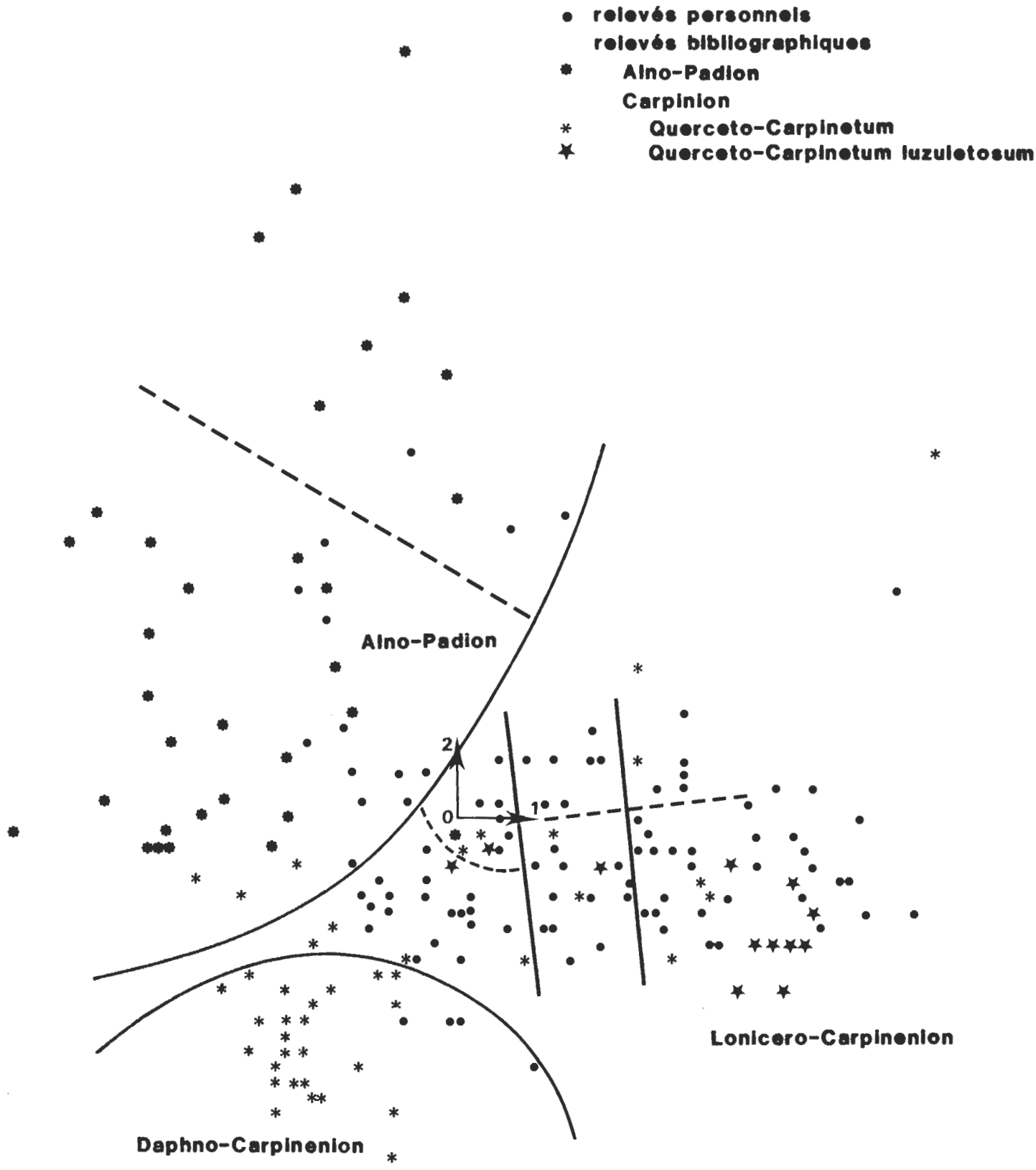
5122. Classement des relevés et rattachement aux unités syntaxonomiques supérieures.

La limite entre aunaies-frênaies de l'*Alno-Padion* et chênaies-charmaies du *Carpinion* est matérialisée sur la fig.16. On peut distinguer au sein de l'*Alno-Padion* deux sous-unités en fonction du niveau trophique.

Les relevés du *Carpinion* forment pour leur part une unité dans laquelle ne se distinguent réellement que les quatre relevés déjà mentionnés lors de l'analyse globale. L'alliance, qui recouvre de très nombreux groupements, a été l'objet d'innombrables études, analysées par J.C. RAMEAU (1974). Récemment S. MULLER (1978) propose l'individualisation, au sein du *Carpinion*, de la sous-alliance du *Lonicero - Fagenion* regroupant les hêtraies-chênaies mésotrophes proches des *Quercetalia robori - petraeae*. De même, R. BRAQUE (1978) propose la division de cette alliance en trois sous-alliances (*Mercurialo - Carpinenion* basophile, *Asperulo-Carpinenion* central et *Hyperico-Carpinenion* acidophile). Finalement, J.C. RAMEAU (1981b) propose l'individualisation de deux sous-alliances principales pour le *Carpinion*, le *Daphno-Carpinenion* calcicole à neutrophile et le *Lonicero-Carpinenion* méso-neutrophile à mésoacidophile. Nous avons retenu ce dernier point de vue et nos relevés

Figure 16. **Analyse partielle des Fagetalia**

Plan des axes 1 et 2 dans l'espace des relevés.



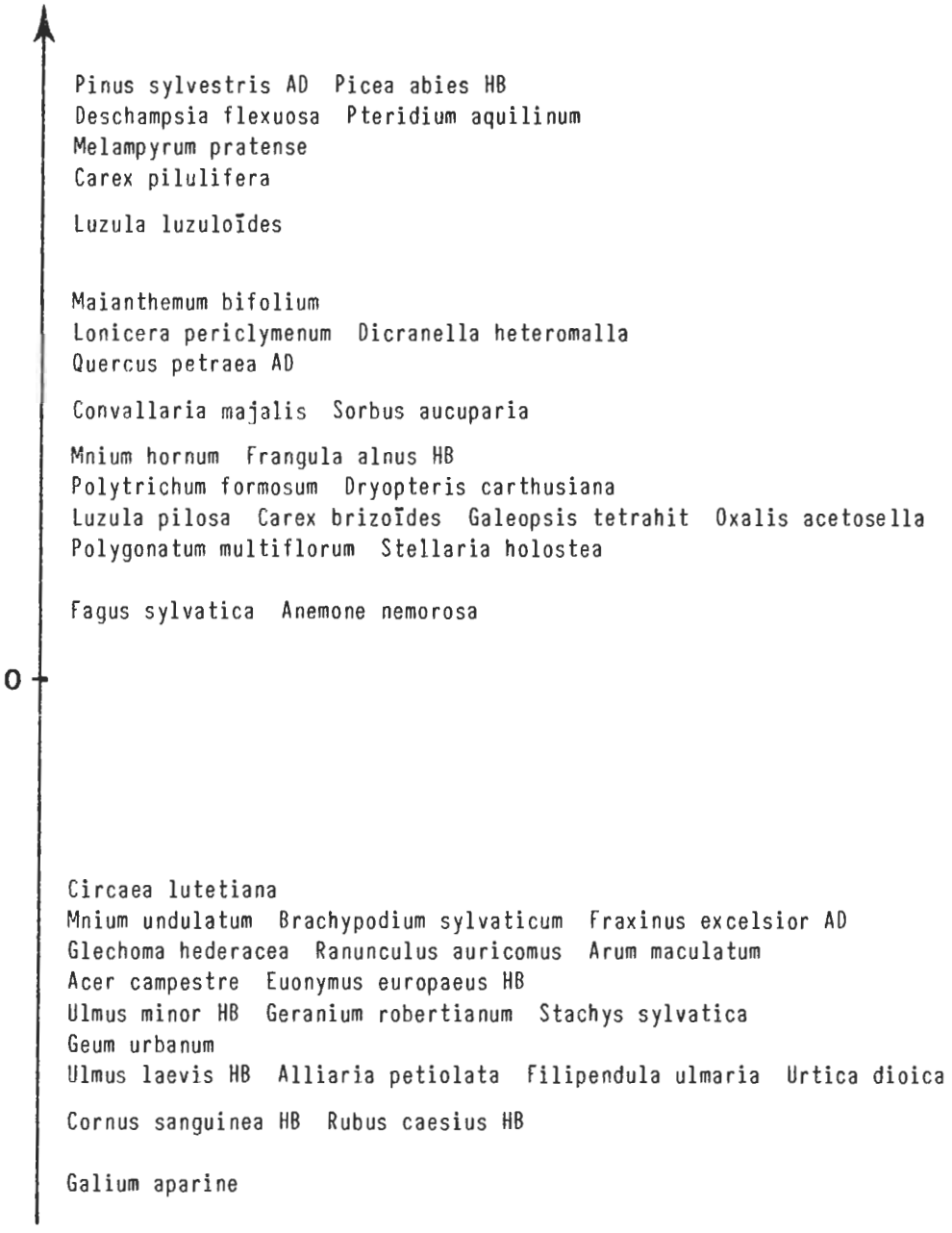


Figure 17. Analyse partielle des relevés des *Fagetalia sylvaticae*. Espèces liées à l'axe 1.

Figure 18. Analyse partielle des relevés des *Fagetalia sylvaticae*. Espèces liées à l'axe 2.

sont tous à rattacher au *Lonicero-Carpinenion* dans lequel sont présents des taxons acidoclines et duquel sont absentes les espèces calcicoles. Les quatre relevés de hêtraies calcicoles à neutrophiles où l'on rencontre les différentielles *Ligustrum vulgare, Viburnum lantana, Cornus mas, Mercurialis perennis* font la transition avec le *Daphno-Carpinenion*.

Au sein de cette sous-alliance, l'AFC nous a permis de distinguer trois sous-unités en fonction du niveau trophique, elles-mêmes subdivisées en deux groupes selon le niveau d'hydromorphie (voir Fig.16). A ce niveau, les divisions (ou plutôt leur nombre) sont déjà très subjectives.

513. Analyse partielle des relevés des *Quercetalia robori petraeae*.

Le nuage des relevés reste homogène dans cette analyse. L'examen du diagramme des espèces permet de distinguer quatre pôles (Fig.19).

Le premier correspond à la présence d'espèces acidoclines ou neutrophiles à large amplitude (*Polygonatum multiflorum, Anemone nemorosa, Convallaria maialis, Carex brizoïdes...*) qui différencient les relevés proches du *Carpinion*.

Un second est caractérisé par les hygrophiles des milieux acides (*Osmunda regalis, Vaccinium uliginosum...*). On y observe les espèces des *Alnetea glutinosae* ou des milieux tourbeux telles les mousses *Sphagnum palustre* et *Polytrichum commune*.

Le troisième pôle différencie les relevés ouverts de type lande avec la présence de *Luzula multiflora, Potentilla erecta , Agrostis capillaris,* différentielles ou caractéristiques des *Calluno-Ulicetea*.

Le dernier pôle regroupe des relevés à flore nitrophile de sols pauvres *(Galeopsis tetrahit, Moehringia trinervia, Veronica officinalis,...)* et quelques espèces des *Fagetalia (Acer pseudoplatanus, Dryopteris filix-mas Viola reichenbachiana,...)*. On remarque aussi la présence du robinier. Ces relevés, très ouverts eux-aussi, comportent les espèces les plus héliophiles du *Quercion robori-petraeae (Teucrium scorodonia, Holcus mollis, Hieracium laevigatum)* qui se rencontrent d'ailleurs plutôt dans les ourlets des forêts acidophiles (*Trifolio-Teucrienion scorodoniae*).

La répartition des relevés et espèces au sein du nuage principal s'effectue en fonction de ces quatre pôles, et on peut y distinguer, selon l'axe d'allongement principal, une variation liée à la richesse chimique et, selon l'axe perpendiculaire, une variation en fonction du degré d'hydromorphie. Mais il faut insister sur le fait que ces variations sont beaucoup moins nettes que lors de l'analyse des chênaies-charmaies du *Carpinion*. La prise en compte de l'abondance-dominance dans l'analyse n'a pas amélioré la discrimination des relevés. C'est donc très arbitrairement que nous avons subdivisé ce nuage principal en trois groupes en fonction du niveau trophique, eux-mêmes différenciés en deux sous-unités en fonction du niveau d'hydromorphie.

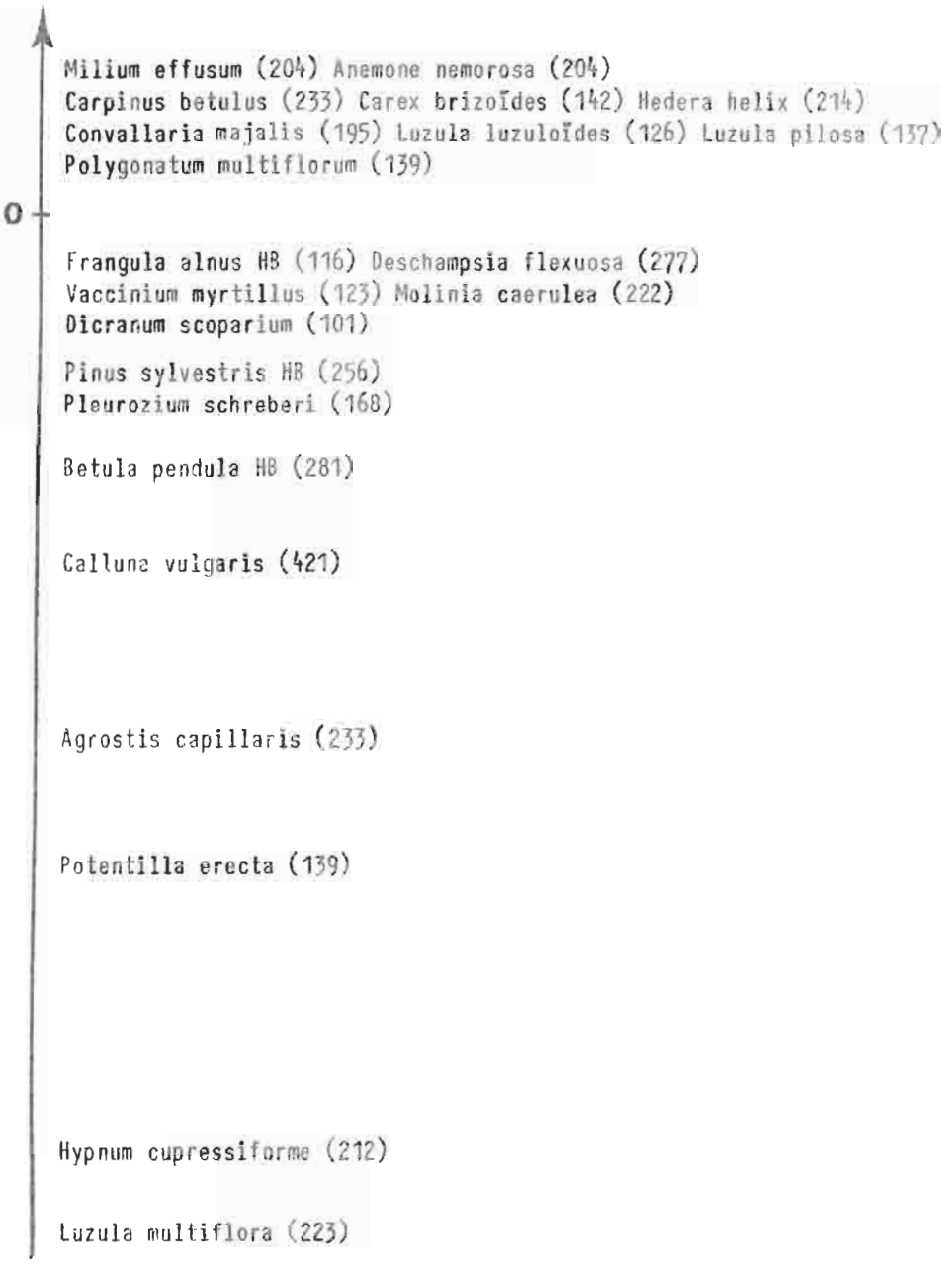


Figure 19a. Analyse partielle des relevés du *Quercion robori-petraeae*. Espèces liées à l'axe 1.

Mnium affine (215) Carex flacca (165)
Robinia pseudacacia AD (150)

Veronica officinalis (158)

Viola reichenbachiana (172) Robinia pseudacacia HB (333)

Acer platanoïdes (109) Ajuga reptans (204)

Hieracium sabaudum (120)

Castanea sativa AD (115)

Rumex crispus (187)
Dryopteris filix-mas (120) Prunus avium HB (120)
Acer pseudoplatanus HB (119)

Holcus mollis (131) Teucrium scorodonia (180)

Cytisus scoparius (112) Moehringia trinervia (105)

Rubus idaeus (135) Corynephorus canescens (1)

Galeopsis tetrahit (116)

Figure 19b. Analyse partielle des relevés du *Quercion robori-petraeae*. Espèces liées à l'axe 2.

0

Polytrichum formosum (120) Fagus sylvatica HB (134)
Molinia caerulea (103)
Vaccinium myrtillus (231) Fagus sylvatica AD (198)
Quercus petraea AD (192) Ilex aquifolium (144)

Leucobryum glaucum (244)

Osmunda regalis (4) Frangula alnus AD (4) Betula pubescens AD (29)
Sphagnum palustre (123) Sphagnum girgensohnii (49)

Carex nigra (19)

Polytrichum commune (68)

Vaccinium oliginosum (24)

52. Le tableau phyto-écologique.

Les résultats des analyses factorielles des correspondances ont permis d'ordonner espèces et relevés dans le tableau phyto-écologique. Celui-ci est présenté en annexe VI.

521. Les groupes écologiques.

Les noms des groupes écologiques définis ci-dessous sont purement indicatifs et relatifs au seul contexte forestier étudié.

Groupe A : espèces hygrophiles.

Il rassemble les espèces exigeant une bonne alimentation en eau. On peut y distinguer deux sous-groupes. Le premier, à amplitude réduite, est composé d'espèces exigeantes sur le plan trophique et liées à la présence d'eau libre dans le sol tout au long de l'année.

A_1 :
- *Angelica sylvestris*
- *Caltha palustris*
- *Carex acutiformis*
- *Carex pendula*
- *Carex pseudocyperus*
- *Cirsium oleraceum*
- *Elymus caninus*
- *Filipendula ulmaria*
- *Glyceria fluitans*
- *Humulus lupulus*
- *Iris pseudacorus*
- *Lycopus europaeus*
- *Lysimachia vulgaris*
- *Mnium affine*
- *Myosotis scorpioides*
- *Phalaris arundinacea*
- *Phragmites australis*
- *Prunus padus*
- *Ranunculus repens*
- *Rumex obtusifolius*
- *Rumex sanguineus*
- *Scutellaria galericulata*
- *Valeriana dioica*
- *Valeriana officinalis*
- *Viburnum opulus* B.

Le second sous-groupe, A_2, a une amplitude beaucoup plus large sur le plan trophique, même s'il garde son optimum sur milieux riches.

A_2 :
- *Alnus glutinosa* (strates herbacée et arbustive)
- *Carex elongata*
- *Carex remota*
- *Eupatorium cannabinum*
- *Impatiens glandulifera*
- *Juncus effusus*
- *Salix caprea* (toutes strates)

Groupe B : espèces calcicoles à tendance xérophile

Campanula trachelium
Carex digitata
Cornus mas
Galium sylvaticum
Ligustrum vulgare
Mercurialis perennis
Primula veris
Viburnum lantana

Ces espèces sont rares ou très rares à Haguenau et cantonnées aux placages de limons calcaires, souvent chauds et secs. Nous avons retrouvé dans deux relevés la mercuriale pérenne, non signalée à Haguenau depuis P.C. BILLOT (observation de 1836).

Groupe C : espèces calcicoles-nitrophiles

Acer campestre
Alliaria petiolata
Allium ursinum
Arum maculatum
Cardamine flexuosa
Geranium robertianum
Geum urbanum
Paris quadrifolia
Primula elatior
Rosa arvensis
Stachys sylvatica
Ulmus laevis
Urtica dioica

On y trouve mélangées des espèces calcicoles et des nitrophiles. Leur optimum se situe sur les mulls eutrophes, à bonne alimentation en eau.

Groupe D : espèces neutro-nitroclines

Les espèces suivantes ont leur optimum sur mull eutrophe ou mull mésotrophe. En fonction des exigences hydriques, on peut y distinguer trois sous-groupes.

D_1 : *Alnus glutinosa* A
Fraxinus excelsior (strates arbustive et arborescente)
Galium palustre
Mnium undulatum

Ce sous-groupe rassemble des espèces à tendance hygrophile.

D_2 : *Brachypodium sylvaticum*
Cardamine pratensis
Circaea lutetiana
Eurhynchium stokesii
Festuca gigantea
Glechoma hederacea

Impatiens noli-tangere
Lychnis flos-cuculi
Mycelis muralis
Phyteuma nigrum
Poa trivialis
Ranunculus auricomus
Ranunculus ficaria
Veronica montana
Viburnum opulus H

Le sous-groupe D_2 est composé d'espèces des sols humides (où elles ont leur optimum) ou plus secs.

D_3 : *Carpinus betulus* A
Crataegus monogyna
Fissidens taxifolius
Fragaria vesca
Galium odoratum
Heracleum sphondylium
Potentilla sterilis
Veronica chamaedrys
Vicia sepium

Ce dernier sous-groupe est absent des milieux les plus humides.

Groupe E : espèces neutrophiles à large amplitude.

Ce sont des espèces de large amplitude, mais cantonnées cependant au mull. Le sous-groupe E_2 est composé d'espèces de milieux plus secs.

E_1 : *Acer pseudoplatanus*
Ajuga reptans
Carex sylvatica
Crataegus laevigata
Dactylis glomerata
Deschampsia cespitosa
Dryopteris filix-mas
Euonymus europaeus
Fraxinus excelsior H
Lamiastrum galeobdolon
Scrophularia nodosa
Viola reichenbachiana

E_2 : *Corylus avellana*
Melica uniflora
Poa nemoralis
Prunus avium
Viola riviniana

Groupe F : espèces neutro-acidoclines.

Elles sont fréquentes sur toute la gamme des mulls et peuvent apparaître sur le moder.

F_1 : *Athyrium filix-femina*
Carex pallescens
Carpinus betulus D
Milium effusum
Moehringia trinervia
Rubus idaeus
Stellaria holostea
Thuidium tamariscifolium

F_2 : *Hypericum perforatum*
Luzula sylvatica
Sambucus nigra
Sorbus torminalis

Ce dernier sous-groupe est d'amplitude beaucoup plus réduite. Les espèces, absentes des milieux les plus riches, présentent un caractère xéro-héliophile.

Groupe G : espèces neutro-acidophiles.

Elles sont très bien représentées à Haguenau.

G_1 : *Anemone nemorosa*
Atrichum undulatum
Carex brizoïdes
Carpinus betulus (strates herbacée et arbustive)
Galeopsis tetrahit
Hedera helix
Mnium hornum
Oxalis acetosella
Populus tremula
Polygonatum multiflorum

Convallaria majalis
Luzula pilosa

Les deux dernières espèces ont leur optimum dans les milieux secs. *Carex brizoïdes* et *Oxalis acetosella*, par contre, préfèrent les zones humides.

G_2 : *Rubus fruticosus*
Eurhynchium striatum
Quercus robur

Ce dernier sous-groupe comporte des espèces qui, malgré un léger optimum sur milieux eutrophes à mésotrophes, sont presque des ubiquistes dans le massif.

Groupe H : espèces acidoclines.

Le premier sous-groupe est constitué d'espèces, comme celles de G_2, presque ubiquistes, mais cette fois-ci à optimum dans les milieux acides.

H_1 : *Dryopteris carthusiana*
Fagus sylvatica
Polytrichum formosum
Sorbus aucuparia H

H_2 : *Agrostis stolonifera*
Betula pendula (strate arborescente)
Dicranella heteromalla
Lonicera periclymenum
Luzula luzuloïdes
Maianthemum bifolium
Quercus petraea (strate arborescente)

Groupe I : espèces acidophiles

Carex pilulifera
Deschampsia flexuosa
Frangula alnus
Ilex aquifolium
Melampyrum pratense
Pinus sylvestris (strate arborescente)
Pteridium aquilinum
Sorbus aucuparia B

Cytisus scoparius
Dryopteris dilatata
Teucrium scorodonia

Les trois dernières n'apparaissent pas sur le mor. Le genêt à balais n'existe que sous forme de jeunes plants à vitalité généralement réduite par suite de l'éclairement insuffisant du sous-bois. Il ne prend un développement important qu'au sein du groupe suivant.

Groupe J : espèces acidophiles strictes.

J_1 : *Betula pendula*
Betula pubescens
Carex curta
Castanea sativa
Cytisus scoparius
Dicranum scoparium
Frangula alnus
Galium saxatile
Leucobryum glaucum
Luzula campestris
Molinia caerulea
Picea abies
Pinus sylvestris
Pleurozium schreberi
Prunus serotina
Quercus petraea
Quercus rubra
Vaccinium myrtillus

Calluna vulgaris

Cette dernière espèce se cantonne aux milieux les plus pauvres.

J_2 : *Anthoxanthum odoratum*
Epilobium angustifolium
Pseudoscleropodium purum

se rencontrent en milieux plus ouverts.

Groupe K : espèces hygro-acidophiles

Betula pubescens
Polytrichum commune
Sphagnum palustre
Sphagnum cf *girgensohnii*

Ce sont les espèces, principalement des mousses, liées à l'hydromor.

Groupe L : espèces nitrophiles anthropiques.

Robinia pseudacacia
Castanea sativa
Rumex acetosella
Chelidonium majus
Festuca tenuifolia
Hieracium laevigatum
Arrhenaterum elatius
Holcus lanatus

Ces espèces, pour la plupart à caractère nitrophile, sont liées à la présence du robinier, planté çà et là en sous-étage des pineraies.

522. Conclusion.

Celles-ci ont été ordonnées dans le tableau selon le gradient de richesse chimique des sols mis en évidence sur l'axe 1 des analyses floristiques. Dans les milieux riches, certaines unités ou sous-unités ont été distinguées selon la présence ou l'absence de groupes d'espèces liées au régime hydrique des sols, traduit par le second gradient des analyses floristiques.

Mais, dans les milieux acides, très représentés, aucune différence floristique marquée, si ce n'est la présence sporadique du groupe A_2, ne permet de séparer les relevés sur sols hydromorphes de ceux sur sols secs (sauf pour les cas extrêmes où les hygro-acidophiles du groupe K apparaissent). Seule une étude pédologique très attentive permet alors le diagnostic ; encore la simple observation morphologique classique s'avère-t-elle elle-même insuffisante - nous le verrons - et a-t-il fallu recourir à des observations plus spécifiques (niveaux des nappes).

C'est pourquoi nous pensons préférable de présenter, avant la description détaillée des différents types de stations, les unités pédologiques du massif.

CHAPITRE VI

ETUDE PEDOLOGIQUE

L'analyse, dans le chapitre précédent, de la variabilité stationnelle sur une base floristique doit être complétée, avant la définition des types de station, par l'étude de la variabilité pédologique, afin de pouvoir établir les corrélations végétation - sol et de mettre éventuellement en évidence des types de stations non ou mal individualisés par leur flore. Nous présentons donc ci-après les principaux types de sols rencontrés dans le massif, avec les variantes importantes à connaître pour la compréhension des types de stations et surtout leurs critères morphologiques de distinction.

Les analyses jointes, effectuées par le Laboratoire d'analyse des sols d'Arras (INRA), sont classiques :

- granulométrie 5 fractions,
- fer libre par la méthode Deb,
- aluminium libre par la méthode Tamm,
- manganèse facilement réductible,
- pH en solution aqueuse ou de KCl normal,
- capacité d'échange par la méthode Metson,
- taux de saturation à pH 7,
- carbone organique par la méthode Anne, matière organique,
- azote total par la méthode Kjeldahl,
- acide phosphorique par la méthode Duchaufour.

61. Sols des forêts hygrophiles : gleys

Nous présentons tout d'abord les sols de type gley car ils représentent des types extrêmes, très localisés.

611. Gley humique à anmoor méso-eutrophe

Description du profil (relevé 2D26).

0-50 cm A_{11} : anmoor épais, brun très foncé (10YR2/2), structure fondue, consistance plastique, enracinement très abondant, transition nette, pH 5

50-70 cm A_{12} : horizon tourbeux, matière organique non décomposée

70-80 cm Go : horizon sableux, quelques taches rouille, structure polyédrique peu développée, quelques racines, transition distincte

80cm et plus Gr : gley limono-argilo-sableux, blanc-grisâtre, massif, absence de racines, pH 6.

Nous n'avons pas effectué l'analyse de ce type de sol, marginal pour notre étude. D'après la description morphologique, il s'agit très certainement d'un gley humique à anmoor méso-eutrophe. L'intérêt écologique exceptionnel des stations correspondantes nous amène à préciser toutefois les conditions géomorphologiques et hydrographiques locales.

Situés au pied de la terrasse de Haguenau, ces sols se développent sur une alternance d'alluvions sableuses vosgiennes ou de colluvions sableuses de la terrasse avec des colluvions loessiques, le tout reposant sur les alluvions calcaires rhénanes plus ou moins profondes.

La nappe d'eau, permanente, raccorde la nappe du Pliocène de Haguenau et celle des alluvions rhénanes.

D'après R. SCHAEFER (1962), la transformation de ce type de forêt en prairie amène la formation de tourbe, épisode dont est peut-être témoin l'horizon A_{12} de notre profil.

Entre Schirrheim et Oberhoffen, au niveau de Forstfeld, les alluvions calcaires sont proches et l'humus est alors plutôt un anmoor eutrophe. On peut aussi rencontrer cette unité hors du domaine des alluvions rhénanes, entre Oberhoffen et Haguenau, là où se raccordent les nappes de Haguenau et de la Moder, et enfin, au sein même du massif, aux niveaux de petits chenaux de crue à nappe phréatique affleurante, ou dans les bas-fonds de la frênaie, dans les zones à loess (Forêt de Hatten).

612. Gley oxydé à hydromull.

Description du profil (relevé 3D18).

Humus de type hydromull eutrophe à mésotrophe

0-5 cm A_1 : brun clair (10YR6/3), matière organique non visible, argilo-limoneux, structure en gros agrégats polyèdriques (5 à 10 cm en moyenne), compacts, racines nombreuses, forte activité biologique, nombreux filaments mycéliens, transition progressive

5-26 cm (B) : horizon semblable au A_1, mais argileux, transition brutale

26-85 cm Go: ocre-rouille (10YR 6/6), très argileux, massif, compact, enracinement faible

85 cm et plus Gr : gris-clair (2.5Y7/0), argilo-sableux, massif, quelques taches de décoloration blanchâtres.

L'analyse en est donnée au tableau IV a.

C'est un sol hydromorphe à humus aéré eutrophe. L'hétérogénéité texturale du sol est à mettre en rapport avec des variations d'alluvionnement, de même sans doute que les variations de la teneur en fer. Le sol est mésotrophe en surface, eutrophe en profondeur. Cette unité est localisée dans le fond des vallons du massif.

Tableau IV : Gley oxydé à hydromull

Prof. cm	Hor.	Granulométrie (%) Ag	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn °/.. m.s.	pH eau	pH KCl	complexe absorbant m.e./100 g m.s. T	Ca	Mg	K	100S/T	C °/.. m.s.	N °/.. m.s.	C/N	MO °/.. m.s.	P_2O_5 °/.. m.s.
a) type eutrophe																					
0-5	A_1	40.4	29.3	11.0	11.5	7.8	1.91	0.40	0.382	4.9	3.7	20.3	10.1	2.78	0.340	65	34.2	3.31	10.3	58.8	0.14
5-26	(B)	41.6	25.4	9.0	13.5	10.5	2.76	0.39	0.255	5.6	3.8	18.0	11.9	3.96	0.220	89	10.5	1.18	8.9	18.0	0.09
b) type oligotrophe																					
0-14	A_1	20.9	13.7	12.1	12.1	41.2	0.35	-	[illegible]	4.5	3.4	14.1	2.4	0.40	0.118	20.7	36.5	3.5	10.4	62.7	0.13

Tableau V : Pseudogley

Prof. cm	Hor.	Granulométrie (%) Ag	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn °/.. m.s.	pH eau	pH KCl	complexe absorbant m.e./100 g m.s. T	Ca	Mg	K	100S/T	C °/.. m.s	N °/.. m.s.	C/N	MO °/.. m.s.	P_2O_5 °/.. m.s.
a) Pseudogley primaire à hydromull eutrophe																					
0-20	A_1g	25.1	10.0	4.7	11.3	48.9	0.45	-	0.053	4.9	3.9	12.6	4.9	2.11	0.315	58.1	36.8	2.79	13.1	63.2	0.20
20-56	(B)g	20.0	8.0	3.9	12.5	55.5	0.50	-	0.059	5.2	3.7	10.0	4.8	2.37	0.158	73.3	9.2	0.71	13.0	15.8	0.09
b) Pseudogley primaire à hydromull mésotrophe																					
0-25	A_1g	15.3	9.3	5.6	11.2	58.6	0.30	-	[illegible]	4.6	3.5	8.4	1.3	0.82	0.108	26.5	17.1	1.07	16	29.4	0.11
25-78	(B)g	13.8	5.9	4.7	9.8	60.8	0.67	-	0.106	5.5	4.0	9.6	4.9	3.76	0.131	91.6	4.8	0.46	10.4	8.2	0.08
c) Pseudogley podzolique																					
0-2	A_1g	14.1	15.3	11.1	12.9	46.9	0.20	0.16	0.006	3.8	3.0	22.4	1.1	0.32	0.241	7.4	118.5	4.65	25.5	203.8	0.15

La variation principale dans cette unité est celle de la richesse chimique, liée aux différents types d'alluvions. L'analyse du relevé 7D20, qui montre le même type de profil que précédemment, en est un exemple (tableau IV b.). Ce profil, développé sur substrat sableux (horizon A_1 limono-argilo-sableux), a des propriétés chimiques nettement différentes : l'humus est un hydromull acide, le pH du A_1 est légèrement inférieur, et le taux de saturation bas (oligotrophe).

613. Gley réduit à anmoor oligotrophe.

Description du profil (relevé 2D19).

0-50 cm A_{11} : anmoor oligotrophe (pH eau : 3,8, pH KCl : 3,0), noir, massif, plastique

50-65 cm A_{12} : matière organique non décomposée

65 cm et plus Gr : sable gris-beige, caillouteux, avec nombreux débris organiques non décomposés, odeur de H_2S.

Ce type de sol hydromorphe, à humus très riche en matière organique, est localisé aux bas fonds sableux ou argilo-sableux, souvent dans d'anciens bassins d'accumulation de type mare, comblés d'une argile cumulique. Un plan de l'Aschbruch, levé en 1817, indique dans cette forêt 23 grandes mares ou étangs, dont quelques-uns mesuraient jusqu'à 5 ha ; ils sont aujourd'hui tous asséchés et c'est dans ces conditions qu'on rencontre ces types de sol.

62. Les sols sur substrat marneux : Pseudogleys.

Les marnes décarbonatées, mélangées et recouvertes de limons non loessiques et de sables, sont le lieu principal d'apparition des pseudogleys. Mais on rencontre également ceux-ci sur les sables quaternaires et tertiaires ou sur les limons loessiques lorqu'existe une poche argileuse suffisamment proche de la surface. Il faut d'ailleurs éviter de confondre, sur le terrain, le substrat marneux, dont la couleur verte est due aux argiles et les taches de fer liées à l'altération, avec l'horizon réduit d'un gley. Ce substrat marneux est en fait très sec en période estivale !

On peut distinguer à Haguenau trois types de pseudogleys, selon leur richesse chimique, elle-même très liée à la texture des horizons de surface.

621. Pseudogley primaire à hydromull eutrophe, sur alluvions limono-argilo-sableuses.

Description du profil (relevé 8D03).

Humus de type mull eutrophe à mésotrophe selon l'emplacement

0-20 cm A_1g : brun foncé (10YR4/2), limono-argilo-sableux, structure polyédrique grossière, consistance plastique, nombreuses racines et forte activité biologique (lombrics), nombreuses petites taches ferriques, transition nette

20-56 cm (B)g : rouille, limono-sableux, compact, massif, avec gros agrégats, racines absentes, bariolé de taches gris-beige

56-71 cm (B)gC : horizon de transition sablo-argileux

71-80 cm C_{Ca} : gris-verdâtre à taches rouille diffuses

80 cm et plus CCa : marnes calcaires (précipitation de carbonates), gris-verdâtre, taches rouille bien individualisées.

L'analyse des horizons de surface est donnée au tableau Va.

Ce type de sol a des propriétés chimiques excellentes (C/N bas, taux de saturation élevé...). L'hétérogénéité granulométrique du profil entraîne l'existence d'une nappe perchée temporaire. Celle-ci est responsable des phénomènes d'oxydo-réduction qui se développent dans les horizons de surface. Mais le plancher argileux est assez profond pour assurer une bonne alimentation en eau pendant une longue période et la texture en surface assez fine pour permettre le développement d'un humus bien structuré. On trouve sur les substrats loessiques du Nord-Est du massif des sols limoneux aux propriétés chimiques identiques avec cependant des réserves hydriques plus importantes.

L'observation fréquente dans ce type de sol de revêtements argileux sur les agrégats de l'horizon (B)g ("clay-skin") ainsi que la différenciation d'un horizon A_{12} plus clair pourraient indiquer un processus de lessivage. Certaines analyses montrent d'ailleurs des teneurs en argile, fer ou manganèse supérieures dans l'horizon (B)g par rapport à celles de l'horizon A_1. Mais d'une part, l'hétérogéité initiale des alluvions peut à elle seule expliquer ces variations, d'autre part, les revêtements argileux observés peuvent correspondre à l'horizon Bt d'un ancien sol lessivé dont les horizons supérieurs (A_1 et A_2 en partie) ont été tronqués par une reprise d'érosion. Ces revêtements ne seraient plus dans ce cas actifs aujourd'hui.

Il n'est donc pas possible d'assurer s'il s'agit alors de pseudogleys (secondaires) ou de sols bruns lessivés à pseudogley.

622. Pseudogley primaire à hydromull mésotrophe sur alluvions limono-sableuses.

Description du profil (relevé 8D02).
Humus de type hydromull mésotrophe

0-25 cm A_1g : brun, limono-sableux, structure polyédrique fine, fin chevelu racinaire abondant, quelques taches ferriques petites et diffuses, transition nette

25-70 cm Bg : brun, limono-sableux, fortement marmorisé, faible structure polyédrique, racines absentes, transition progressive

70 cm et plus CCa : marnes calcaires

Ce profil est en tous points semblable au précédent, mais diffère par ses propriétés analytiques (tableau Vb) qui indiquent un sol plus pauvre, lié à la texture plus grossière des alluvions.

623. Pseudogley podzolique.

Descriptions du profil (relevé 1D05).

1,5-0 cm Ao : hydromoder, litière moyennement épaisse

0-7 cm A_1g : brun-noir (10YR3/2), limono-sableux, massif, enracinement moyen, nombreuses petites taches d'oxydation, pH3,9, transition nette

7-35 cm A_2g : gris (10YR5/1) sableux, progressivement sablo-argileux, structure massive, légèrement lamellaire, enracinement abondant, nombreuses concrétions noires ferro-manganiques, transition progressive

35-75 cm BgC: gris-verdâtre, argileux (marnes décalcifiées), bariolé de rouille et de gris

75 cm et plus CCa: marnes calcaires.

Nous donnons au tableau Vc l'analyse de l'horizon A_1g du même type de sol, mais prélevé dans un autre relevé (7D24), dont la morphologie du profil est moins typique que celle présentée ci-dessus. D'un point de vue chimique, le taux de saturation de ce type de sol est très bas (7 % ici), le pH très acide (3,8), le C/N très élevé (26).

Cette unité se développe sur les placages alluviaux sableux ou sablo-limoneux peu épais (inférieur à 1 m) reposant sur des assises argileuses peu perméables. Lorsque ces alluvions sont nettement sableuses et d'épaisseur comprise entre 60 cm et 1 m, il faut une certaine pente pour permettre un ressuyage temporaire, sinon on passe à des podzols hydromorphes. Pour une épaisseur d'alluvions inférieure à 50 cm, l'évapotranspiration permet la disparition de la nappe d'eau temporaire.

Le bilan hydrique de ces sols dépend donc à la fois de la profondeur du plancher argileux et de la nature des alluvions. En effet, plus les marnes sont proches de la surface (elles peuvent affleurer et on rencontre alors des sols de type pélosol-pseudogley), et plus les alluvions sont sableuses, plus rapidement disparaîtra la nappe perchée pendant la période sèche.

La richesse chimique par contre est peu liée à la profondeur des marnes, celles-ci étant toujours plus ou moins profondément décalcifiées.

63. Les sols sur limon.

631. Sur limon drainé : Sol lessivé acide.

Description du profil (relevé D024).

Humus de mull mésotrophe, acitivité biologique moyenne (bousiers)

0-10 cm A_1 : brun (10YR4/2), texture limono-sableuse, structure grumeleuse fine, enracinement abondant, transition nette

10-32 cm A_2 : jaunâtre (10YR7/ 6), limono-sableux, structure lamellaire peu marquée, enracinement moyen, transition nette

32-110 cm Bt : brun jaunâtre (10YR6/6), limon argilo-sableux, structure polyédrique, enracinement abondant disparaissant rapidement en profondeur, transition nette

110 cm et plus C : limono-sableux jaunâtre (2-5Y6/5).

L'analyse en est donnée au tableau VI.

Tableau VI : Sol lessivé acide

		Granulométrie (%)								pH		Complexe absorbant m.e./100 g m.s.								
Prof. cm	Hor.	Ag	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn °/.. m.s.	eau	KCl	T	Ca	Mg	K	100S/T	C °/.. m.s.	N °/.. m.s.	C/N	MO °/.. m.s.	P_2O_5 °/.. m.s.
0-10	A_1	10.9	11.2	10.8	51.2	15.9	0.43	0.14	0.586	4.3	3.7	7.6	1.4	0.22	0.208	24.1	30.9	1.91	16.2	53.1	0.12
10-32	A_2	10.6	11.3	10.7	51.6	15.8	0.42	0.15	0.475	4.5	3.8	5.3	0.3	0.05	0.074	8.0	6.5	0.48	13.5	11.1	0.03
32-110	Bt	26.6	8.8	8.0	50.1	6.5	1.23	0.35	0.185	5.3	3.9	12.8	10.3	1.10	0.280	91.3	2.8	0.35	8.0	4.8	0.05

Tableau VII : Composition moyenne des sables

		Granulométrie (%)										Complexe absorbant m.e./100 g m.s.								
Prof. cm	Hor.	Ag	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn °/.. m.s.	Si °/.. m.s.	pH eau	T	Ca	Mg	K	100S/T	C °/.. m.s.	N °/.. m.s.	C/N	MO °/.. m.s.	P_2O_5 °/.. m.s.
-	-	1.6	1.4	1.1	12.8	83.1	0.23	0.15	0.005	2.0	4.8	1.8	0.55	0.10	0.032	-	-	-	-	0.06	0.01

Tableau VIII : Sol brun acide

		Granulométrie (%)								pH		Complexe absorbant m.s./100 g m.s.								
Prof. cm	Hor.	Ag	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn °/.. m.s.	eau	KCl	T	Ca	Mg	K	100S/T	C °/.. m.s.	N °/.. m.s.	C/N	MO °/.. m.s.	P_2O_5 °/.. m.s.
0-10	A_1	7.1	8.1	4.6	10.6	69.6	0.35	0.11	0.083	4.0	3.3	8.6	0.4	0.11	0.149	7.7	21.4	1.41	15.2	36.8	0.49
10-85	(B)	3.8	4.7	2.2	4.2	85.1	0.28	0.16	0.091	4.4	3.8	4.4	0.1	0.02	0.036	3.5	4.9	0.34	14.4	8.4	0.83

Tableau IX : Sol ocre podzolique (d'après B.PARE, 1977).

		Granulométrie (%)								pH		Complexe absorbant m.s./100 g m.f.									
Prof. cm	Hor.	Ag.	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn °/.. m.s.	eau	KCl	T	Ca	Mg	K	100S/T	C °/.. m.f.	N °/.. m.f.	C/N	MO °/.. m.s.	P_2O_5 °/.. m.s.
0-7	A_1	2.9	0.5	2.6	5.4	82.6	0.75	0.1	-	3.5	-	14.2	1.1	0.14	0.19	10.1	85.2	3.47	24.5	146.1	-
7-10	A_1B_h	3.4	3.6	1.9	6.7	84.5	0.5	0.1	-	3.5	-	5.4	0.5	0.06	0.05	11.3	15.8	0.81	19.5	27.1	-
10-40	Bs	2.6	2.7	2.1	6.8	85.7	0.35	0.4	-	3.7	-	2.6	0.4	0.03	0.01	16.9	5.7	0.45	12.6	10.0	-
40-90	Bs/C	1.0	0.7	1.9	7.8	88.6	0.15	0.15	-	4.4	-	0.9	1.4	0.03	0.006	-	0.2	0.13	-	0.3	-
90 et plus	C	0.5	1.1	1.5	13.1	83.8	0.15	0.1	-	4.6	-	0.8	0.4	0.02	0.009	-	0.09	0.15	-	0.1	-

Les indices d'entraînement élevés du fer de l'argile (respectivement 2,9 et 2,5), les transitions nettes entre les horizons, la structure lamellaire de l'horizon A_2 placent ce sol dans les sols lessivés acides. Mais l'humus bien structuré, à C/N relativement bas (16), l'absence d'hydromorphie dans l'horizon Bt sont encore des caractères de sol brun lessivé, de même que l'abondance des racines et la très forte capacité d'échange de l'horizon argillique Bt. On notera la forte teneur en manganèse.

On rencontre aussi des types plus évolués, tel le sol du relevé 2D07, avec un humus de type mull acide à mull-moder, un pH plus faible en A_1 (pH eau : 3,9, pH KCl : 3,3), un horizon A_2 plus épais (30 cm) et un horizon Btg légèrement marmorisé.

Ces variations, identifiables sur le terrain, sont importantes à prendre en compte, car elles sont liées à des types de stations différents et jouent un rôle significatif sur la productivité forestière.

Ces sols sont circonscrits aux buttes recouvertes de placages de limons éoliens du centre du massif.

632. Les sols sur limons hydromorphes.

Dans la partie Nord-Est du massif, et particulièrement en Forêt d'Aschbruch se rencontrent des sols développés sur substrats loessiques limoneux à limono-sableux, reposant sur les assises argileuses imperméables du soubassement géologique, souvent entrecoupés de bancs sableux. La topographie plane, légèrement en cuvette, entraîne la présence de sols pour la plupart hydromorphes, baignés par une nappe phréatique à forte amplitude de battement.

Ces sols sont complexes, de type sol alluvial hydromorphe à hydromull et à gley calcaire profond, selon B. PARE (1977). La profondeur des loess et la teneur en éléments fins jouent sur la richesse chimique de ces sols, eutrophes à mésotrophes, jamais pauvres.

La teneur en argile règle en partie le degré d'hydromorphie et peut, lorsqu'elle dépasse un certain seuil (33 % selon B. PARE, loc.cit.), entraîner la formation d'horizons gleyfiés "perchés" au-dessus d'horizons limoneux ou limono-sableux plus grossiers, qui ne sont que marmorisés (donc des sols de type amphigley).

64. Les sols sur substrat sableux.

Les sables alluviaux de la terrasse de Haguenau, anciens, sont très pauvres. Le tableau VII donne la composition moyenne de ces sables sur quinze échantillons analysés, prélevés dans la partie supérieure de l'horizon C.

On constate la très faible teneur en argile (moins de 2 %), en limons (moins de 3 %) et en minéraux ferromagnésiens. Les sables du Pliocène sont de teinte blanchâtre, moins riches en sesquioxydes (fer principalement) que les sables quaternaires. Ces derniers sont de couleur très variable. On note, parmi les auteurs ayant étudié ce substrat, les termes "brun ", "roux", "rouille", "brun-roux", "brun-jaunâtre", "jaune-rouille"... Précisons, à l'aide du code Munsell, les couleurs que nous avons observées. Ce sont, selon une composante jaune croissante :

- la teinte "rouille" : 2.5YR 5/6,
- la teinte "rousse" : 5YR 5/ 8, 5YR 5/6, 5YR 5/4, avec parfois une tendance rosée : 5YR 6/4,
- la teinte "ocre" : 7.5YR 5/6, avec là aussi une tendance rosée : 7.5YR 6/4.

Ces deux dernières couleurs sont de loin les plus fréquentes. Si nous insistons sur ces variations de la couleur de l'horizon C, c'est parce qu'elle prêtesouvent à confusion avec un processus de différenciation pédologique des profils. Elle est en effet parfois difficile à distinguer de la couleur rouille des horizons B_s d'accumulation ferrique des sols de la série podzolique.

641. Les sols sur substrat sableux drainé.

6411. Sol brun acide.

Description du profil (relevé 9D16).

2-0 cm Ao : humus de type mull-moder, litière moyennement épaisse

0-10 cm A_1 : brun, sablo-limoneux, structure polyédrique grumeleuse enracinement abondant, transition progressive

10-85 cm (B) : brun à roux, sableux, structure particulaire, enracinement disparaissant progressivement, transition progressive

85 cm et plus C : sable quaternaire roux.

Les analyses sont consignées au tableau VIII

Ce profil montre toutes les caractéristiques d'un sol brun acide (diminution du fer et de l'argile en profondeur, diminution du rapport C/N...), si ce n'est le taux de saturation exceptionnellement bas en A_1 pour ce type de sol. On note par contre une forte teneur en phosphore. Le sol, profond, est propice à un bon enracinement.

La teneur plus élevée de l'horizon (B) en aluminium libre marque peut-être un début de podzolisation. Mais sans doute est-elle plutôt à relier aux différences texturales entre A_1 et (B), montrant une hétérogénéité du substrat. La fraction limoneuse de l'horizon A_1, supérieure à 10 %, est à l'origine des bonnes qualités sylvicoles de ce type de sol.

6412. Sol ocre podzolique.

Description du profil (relevé 9D15).

1,5-0 cm Ao : humus de type moder, litière moyennement épaisse

0-5 cm A_1 : noir, sableux avec grains de quartz blancs, structure massive, chevelu racinaire dense, transition progressive

5-17 cm A_1Bh : brun-chocolat, sableux, structure massive, racines nombreuses, transition progressive

17-100 cm B_s : brun-ocre, sableux, structure particulaire, disparition progressive des racines, limite progressive

100 cm et plus C : sable blanchâtre, fine structure particulaire, pas de racines, faible charge en cailloux.

Ce type de profil est le plus communément rencontré à Haguenau sur sables épais. Morphologiquement, il se distingue du précédent par la structure et la texture du A_1, l'apparition d'un horizon d'accumulation de matière organique Bh et la couleur, plus ocre, de l'horizon Bs.

Nous allons tout d'abord cerner les variations morphologiques du profil qui nous sont apparues importantes pour la compréhension des types de stations. Nous essaierons ensuite d'en donner une interprétation pédogénétique.

Type d'humus.

Il s'agit le plus souvent d'un moder, parfois d'un moder-mor ou d'un mor (ou "dysmoder"). Nous avons constaté une remarquable convergence morphologique des humus sur ce type de sol vers le type moder, sous des types de végétation indiquant pourtant des différences de richesse chimique notables. Cette particularité était déjà soulignée par B. PARE (1977). Elle serait à mettre en rapport avec la pauvreté en éléments minéraux fins des matériaux sableux, empêchant la mise en place d'une structure bien agrégée.

Texture des horizons de surface.

Elle est le plus souvent grossière, mais on peut observer des profils à composante limoneuse plus importante, dans le Nord-Est du massif surtout, sablo-limoneuse ou même limono-sableuse. Le profil reste par ailleurs identique.

Epaisseur de l'horizon Bh.

Nous avons vu lors de l'analyse factorielle globale que ce paramètre était fortement lié à la richesse chimique du milieu telle qu'elle est exprimée par la végétation. On sait par ailleurs que le degré de différenciation de cet horizon est lié au degré d'évolution du sol.

Au sein des sols sableux, il est donc intéressant de distinguer les horizons Bh d'épaisseur inférieure à 5 cm de ceux supérieurs à 7 cm d'épaisseur. Mais cette mesure est fortement subjective car les transitions sont toujours très progressives entre les horizons A_1, Bh et Bs. La couleur la plus fréquemment observée pour cet horizon est "chocolat" (10YR 3/4), avec parfois une teinte plus rouge (5YR 3/3).

Couleur de l'horizon Bs.

On sait qu'une des caractéristiques des sols ocres podzoliques est la couleur ocre vive de l'horizon d'accumulation ferrique (horizon spodique) Bs. Nous avons relevé la couleur des horizons B rencontrés. Celle-ci va du brun-foncé (10YR 4/3 - 10YR 4/4, parfois 7,5 YR 4/4) au brun-ocreux (10YR 5/6 - 10YR 5/8).

Il est utile là encore, au sein de cette continuité des couleurs, de séparer les sols en deux groupes, selon que la "value" de la couleur de l'horizon Bs est supérieure ou égale à 5/, ou inférieure ou égale à 4/. On ne peut bien sûr affirmer que ce seuil permet de séparer horizons cambiques et horizons spodiques, que seules des analyses chimiques fines (S. BRUCKERT et B. SOUCHIER, 1975) permettent d'identifier avec sûreté.

Ici aussi, ce paramètre de couleur est rendu très subjectif par la continuité des horizons Bh, Bs et C.

Caractères analytiques.

On trouvera au tableau IX une analyse extraite du travail de B. PARE (1977) correspondant à ce type de sol.

La décroissance du rapport C/N de A vers B, ainsi que de la fraction argileuse et du fer libre, sont des caractères de sol brun stricto sensu. La présence d'un horizon Bh et la redistribution d' aluminium libre marquent le début de la podzolisation.

Ce type de profil se situe donc à la charnière des sols ocres podzoliques peu évolués et des sols bruns ocreux à micro-podzolisation de surface marquée par l'horizon A_1Bh.

La podzolisation peut être plus marquée, avec début de redistribution du fer. Mais l'indice d'entraînement de celui-ci reste faible (1,3 en moyenne pour cinq analyses montrant un entraînement non nul), toujours inférieur à 1,6. L'humus est alors plus souvent de type moder-mor ou mor.

Le tableau X montre l'analyse de deux horizons A_1 de sols à texture sablo-limoneuse (relevé D059) et limono-sableuse (relevé D005). On remarquera l'importante variabilité du rapport C/N (17 à 27) alors que l'humus reste dans les deux cas un moder typique. La capacité d'échange cationique augmente avec la teneur en limon. Mais le taux de saturation reste faible. En fait, la meilleure aptitude sylvicole de ces sols à fraction limoneuse importante réside surtout dans leur plus grande capacité de rétention en eau.

642. Les sols sur sable hydromorphe : sol podzolique hydromorphe ou podzol hydromorphe.

L'hydromorphie résulte d'un engorgement lié à une topographie et à une sous-topographie argileuse horizontale ralentissant très fortement l'écoulement latéral de la nappe. Celle-ci oscille sur place en fonction de la pluviométrie saisonnière et annuelle, atteignant la surface du sol en période humide, s'abaissant fortement en période sèche. Localement, le bilan en eau est différent, selon que la nappe disparaît totalement en période sèche lorsque le plancher argileux est proche (on observe alors des pseudogleys podzoliques), ou qu'elle est permanente jusqu'en surface (gley à anmoor oligotrophe). Le sol le plus fréquent est le sol podzolique hydromorphe.

Description du profil (relevé 5D07).

1,5 -0cm Ao : moder-mor hydromorphe, litière très épaisse.

0-9 cm A_1 : noir (10YR 2/1), limono-sableux, très humifère, structure massive, enracinement abondant, transition nette

9-16 cm Bh : "chocolat" (10YR 3/4), sableux, massif, enracinement abondant, transition nette

16-50 cm A_{21} : gris-brun foncé, sableux, particulaire, 50 % de taches décolorées, enracinement disparaissant progressivement, transition nette

Tableau X : Sol ocre podzolique - variante à fraction limoneuse importante

Prof. cm	Hor.	Granulométrie (%) Ag.	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn°/₀₀ m.s.	pH eau	pH KCl	Complexe absorbant m.e./100 g m.s. T	Ca	Mg	K	100S/T	C°/₀₀ m.s.	N°/₀₀ m.s.	C/N	MO°/₀₀ m.s.	P_2O_5°/₀₀ m.s.
a) Sablo-limoneux																					
0-10	A_1	4.6	9.2	4.7	19.0	62.5	-	-	-	3,7	-	10.4	0.5	0.10	0.146	7.2	35.5	2.05	17.3	61.0	0.10
b) Limono-sableux																					
0-6	A_1	11.8	14.8	14.8	12.9	45.7	-	-	0.031	3.7	2.7	19.6	1.2	0.31	0.383	9.7	140.3	5.22	26.9	241.3	0.19

Tableau XI : Sol podzolique hydromorphe

Prof. cm	Hor.	Granulométrie (%) Ag.	Lf	Lg	Sf	Sg	Fe % m.s.	Al % m.s.	Mn°/₀₀ m.s.	pH eau	pH KCl	Complexe absorbant m.e./100 g m.s. T	Ca	Mg	K	100S/T	C°/₀₀ m.s.	N°/₀₀ m.s.	C/N	MO°/₀₀ m.s.	P_2O_5°/₀₀ m.s.
0-9	A_1	8.7	15.2	14.5	11.2	50.4	0.09	0.05	ε	3.8	2.8	9.6	0.4	0.16	0.165	7.6	70.2	2.23	31.5	120.7	0.08
50-66	A_{22}	9.7	9.9	11.7	15.4	53.3	0.06	0.12	ε	4.3	3.8	4.6	0.1	0.02	0.050	3.7	15.8	0.65	24.3	27.1	0.06
66 et plus	Bgs	6.8	9.2	10.0	14.1	59.9	1.08	0.25	0.008	4.5	4.1	3.1	0.1	0.03	0.040	5.5	3.4	0.21	16.2	5.8	0.13

50-66 cm A_{22} : gris clair (10YR 7/2), sableux, particulaire, entièrement décoloré, quelques rares concrétions ferro-manganiques à la base, transition progressive

66 cm et plus Bgs : gris clair (10YR 7/3), sableux avec nombreux silex, 80 % de concrétions ferro-manganiques.

L'analyse chimique (tableau XI) montre un indice d'entraînement élevé du fer (18), typique des podzols. Mais l'humus, de type intermédiaire, l'horizon A_2 incomplètement décoloré, la mauvaise différenciation du Bh permettent de rattacher ce sol à un sol podzolique hydromorphe. La disparition totale du manganèse est due à l'entraînement par la nappe.

Lorsque la nappe remonte plus fréquemment en surface, l'horizon A_2 est complètement blanchi (10YR 7/1 ou même 10YR 8/1). L'humus est toujours dans ce cas de type mor. Ces sols se rapprochent des **podzols hydromorphes**, bien que l'on n'observe jamais d'horizon Bh noir bien différencié. Leurs caractères analytiques sont identiques à ceux du relevé 5D07 (très grande pauvreté en tous éléments).

Parfois l'horizon B_s, qui peut atteindre 50 à 100 cm d'épaisseur, est induré de concrétions aliotiques de plusieurs décimètres de diamètre.

Fréquemment s'observe un horizon de gley sableux, gris-verdâtre, légèrement moucheté de rouille en profondeur.

Sur les sables blancs pliocènes, très pauvres en fer, les profils peuvent être peu différenciés, car très peu de fer est redistribuable. En période sèche **l'hydromorphie peut passer totalement inaperçue**, même pour un observateur expérimenté. Plusieurs auteurs (G. JUNG, 1962 ; J.M. SCHILLY, 1965 ; ...) ont décrit des podzols humo-ferrugineux drainés qui sont selon nous des sols podzoliques ou des podzols hydromorphes. Or, on verra au chapitre VII que la distinction est fondamentale vis-à-vis de la productivité des peuplements forestiers. L'intensité de l'hydromorphie n'est en fait appréciable facilement et de façon sûre que par comparaison des niveaux de nappe en période humide (hivernale).

65. Conclusion.

Le tableau XII récapitule les relations entre types de stations, qui seront définies au chapitre suivant, et sols. Il fait apparaître cinq groupes de sols, dont voici les caractères d'identification.

Un **horizon minéral massif gris ou gris-verdâtre**, gorgé d'eau (hydromorphie permanente), définit les gleys des stations hygrophiles. Ce sont :

- les gleys réduits à anmoor oligotrophe, avec un Gr gris sous un A_1 noir, massif, épais, humique ;

- les gleys à anmoor mésotrophe, avec un Go et un A_1 de même type que précédemment ;

- les gleys oxydés à hydromull, avec un Go rouille sous un A_1 brun-clair de structure polyédrique bien constituée. L'humus est eutrophe sur les alluvions à forte composante argilo-limoneuse, plus acide lorsque la composante sableuse s'accroît.

Un **horizon Bg ou (B)g**, rouille à taches grises, reposant sur le plancher argileux, ou lui-même déjà argileux, caractérise les pseudogleys,

- les pseudogleys primaires montrent une succession A_1Bg, avec un humus plus ou moins eutrophe selon la texture des alluvions,

- les pseudogleys podzoliques, sur alluvions le plus souvent sableuses, ont un profil de type A_1 A_2 Bg, avec un horizon A_2 gris contenant des concrétions ferro-manganiques.

Un **horizon d'accumulation d'argile Bt**, structuré en polyèdres, caractérise les sols lessivés :

- proches des sols bruns lessivés si l'humus est bien structuré (mull méso-trophe) avec un Bt non hydromorphe et colonisé par les racines,

- plus évolués lorsque l'humus est plus acide (mull acide) avec un Bt hy-dromorphe (Btg), compact.

Un **horizon (B) d'altération**, le plus souvent sableux particulaire, brun rouille, sans Bh au-dessus, caractérise les sols bruns acides.

Un **horizon Bs de couleur vive**, ocre-jaune ou ocre-rouille, de structure le plus souvent particulaire, surmonté d'un horizon Bh, définit un sol de série pod-zolique. On distingue :

- les sols bruns ocreux, à Bh peu épais, Bs de couleur brune, humus de type moder ou mull-moder,

- les sols ocres podzoliques, à Bh de plus de 7 cm d'épaisseur, Bs de couleur plutôt ocre, humus de type moder à mor.

- les sols podzoliques hydromorphes dans lesquels s'individualise un horizon A_2 gris-clair,

- les podzols hydromorphes avec un horizon A_2 blanc.

Quelques types de sols n'entrent pas dans ces groupes. Ce sont les sols développés sur limons hydromorphes : sols alluviaux hydromorphes à gley calcaire profond et amphigleys.

Les sols qui ont été présentés dans ce chapitre sont des exem-ples types, de compréhension relativement simple. Mais on rencontre souvent des cas plus complexes, liés à l'hétérogénéité des alluvions. Le substrat présente des lentilles de sable, de limon et d'argile de taille variable, enchevêtrées les unes dans les autres. Le sable est blanchi, gris ou rouille, indépendamment de sa pro-fondeur ; les limons sont plus ou moins décolorés. Le tout repose sur des couches d'argile et est engorgé.

En conclusion, plusieurs problèmes pédologiques posés par les sols du massif de Haguenau sont à souligner :

. Sur sables épais drainés, les processus de podzolisation semblent peu avancés, malgré les conditions "favorables" énoncées au chapitre II (enrésinement, substrat très pauvre...). Il y a un décalage frappant avec les séries évolutives dé-crites ailleurs (P. DUCHAUFOUR, 1948 ; B. SOUCHIER, 1971). Est-ce un effet du climat, moins humide et/ou plus chaud, à Haguenau, que les climats atlantique

et montagnard ? Ou assiste-t-on au contraire à un début d'évolution de sols bruns ocreux par suite de la généralisation de l'enrésinement ?

. Sur ces mêmes sables épais, la convergence morphologique des humus vers le type moder reste aussi à expliquer.

. La nature exacte des horizons Bg des pseudogleys sur marnes doit être déterminée (revêtements argileux fossiles ou actifs).

. Dans les milieux étudiés, enfin, il est souvent difficile d'apprécier l'hydromorphie à sa juste valeur ou même de la mettre seulement en évidence.

Sur les sols sableux épais, on peut la sous-estimer :

- soit qu'il n'y ait pas de fer dans le substrat (sables tertiaires),

- soit que le fer ait été totalement entraîné latéralement par une nappe pour se déposer ailleurs.

Or l'absence de fer rend fort délicate l'estimation de l'hydromorphie qui doit alors se baser sur l'appréciation de l'intensité de décoloration de l'horizon éluvial.

Mais l'hydromorphie peut aussi être surestimée :

- soit en confondant un substrat lithochrome (marnes oligocènes vertes bariolées de taches rouille) avec un phénomène d'hydromorphie (type gley dans ce cas),

- soit en attribuant les cuirasses observées dans les sols podzoliques ou les podzols hydromorphes à une hydromorphie fonctionnelle. En effet, ces niveaux aliotiques peuvent être fossiles.

CHAPITRE VII

PRESENTATION DES TYPES DE STATION

Nous présentons, dans ce chapitre, pour chacun des types de station proposés dans le tableau de l'annexe VI, sa localisation topographique et géographique si elle est particulière, sa composition floristique, ses différentes variantes et les données écologiques qui lui sont liées, particulièrement pédologiques.

L'étude des sols permet de justifier la différenciation de certains types de stations qui ne peuvent pas être caractérisés, par ailleurs, par une combinaison originale des groupes écologiques, mais qui montrent des aptitudes sylvicoles pourtant très différentes.

Enfin, les types de station ainsi définis sont rattachés à la synsystématique phytosociologique.

Les noms employés pour la désignation des stations se rapportent à leur physionomie et à leur écologie. Comme les noms des groupes écologiques, ils n'ont qu'une valeur relative au contexte forestier de Haguenau.

71. Les aunaies-frênaies de l'*Alno-Padion* (type de station n°1000)

Localisation géographique. Topographie.

Les aunaies-frênaies occupent les bas de talus, les dépressions et essentiellement les couloirs relativement étroits des ruisseaux et rivières qui traversent le massif d'Ouest en Est (Sauer, Halmuhlbach, Brumbach, Moder,...). A l'Est du massif, au pied de la terrasse de Haguenau, les aunaies-frênaies ont une extension beaucoup plus importante, dans les bois de Soufflenheim et de Routzenheim en particulier.

Physionomie.

Les quatre arbres suivants sont les plus fréquents : *Fraxinus excelsior, Quercus robur, Alnus glutinosa* et *Carpinus betulus*, ce dernier étant le plus souvent dominé. Ils forment une strate arborescente dense (recouvrement de 90 % en moyenne). La strate arbustive est peu développée (environ 25 % de recouvrement), composée principalement d'espèces à pouvoir colonisateur élevé : *Fraxinus excelsior, Carpinus betulus, Fagus sylvatica*, souvent accompagnés de *Crataegus laevigata, Acer campestre* et *Euonymus europaeus*.

La strate herbacée, toujours à très fort recouvrement (100 %), peut se présenter sous un faciès de magnocaricaie.

Flore.

C'est le type de station le plus riche floristiquement. Il est caractérisé par la présence des groupes d'espèces A, C, D_1, D_2, E_1, F_1, G_1, du groupe G_2 moins fréquent et du groupe H_1, très faiblement représenté. On rencontre donc toutes les espèces depuis les calcicoles-nitrophiles jusqu'aux neutro-acidophiles, ainsi que les hygrophiles.

La flore recèle quelques raretés botaniques pour le massif de Haguenau : *Anemone ranunculoïdes, Leucoium vernum, Equisetum hyemale, Scutellaria galericulata.* L'orme lisse *(Ulmus laevis)*, dont J. TIMBAL (1981) a souligné l'intérêt et l'extension dans les forêts d'Alsace, est localement abondant, accompagné d'une autre espèce médioeuropéenne, *Prunus padus.* On rencontre aussi le rare *Thelypteris palustris* sur les substrats limoneux du Nord-Est du massif.

Variations.

L'analyse factorielle nous avait montré la présence de deux sous-unités. Elles se différencient l'une de l'autre par les espèces suivantes :

. Sous-unité oligotrophe à mésotrophe (n°1100).

Agrostis stolonifera, Alnus glutinosa, Carex vesicaria, Glyceria fluitans, Juncus effusus, Lysimachia vulgaris, Scutellaria galericulata.

. Sous-unité eutrophe (n°1200)

Anemone nemorosa, Cardamine pratensis, Carex sylvatica, Circaea lutetiana, Fraxinus excelsior, Glechoma hederacea, Hedera helix, Impatiens noli-tangere, Milium effusum, Oxalis acetosella, Primula elatior, Ranunculus ficaria.

Dans chacune de ces deux sous-unités, on peut distinguer un faciès à grands *Carex (Carex acutiformis, Carex pendula* ou *Carex vesicaria).*

Ecologie.

Ces stations sont surtout caractérisées par leur régime hydrique. Le sol est saturé d'eau pendant la période humide et le plus souvent inondé. En été, la nappe s'abaisse plus ou moins. L'hydromorphie se manifeste dès la surface par un humus hydromorphe, de type mull eutrophe ou mésotrophe. Le sol est soit un gley oxydé, soit un sol alluvial à gley. Ces sols sont riches, à rapport C/N bas (10 en moyenne), à taux de saturation en bases élevé. Le pH de l'horizon A_1 varie entre 4,4 et 5,8 (moyenne 5,0).

La sous-unité 1100, de type mésotrophe à oligotrophe, est caractérisée par une moins grande richesse chimique (pH 4,4, C/N de 13, humus de type hydromull acide, taux de saturation plus faible) et une plus forte hydromorphie que la sous-unité 1200.

Les faciès à grands *Carex* indiquent les zones plus humides, à sols semi-tourbeux. Le niveau de la nappe, mesuré dans deux stations de la sous-unité 1200, l'une typique (relevé 2D41), l'autre à faciès de magnocaricaire à *C.acutiformis* (relevé 2D28) montre dans ce dernier une plus longue persistance de la nappe en surface (fig.20a).

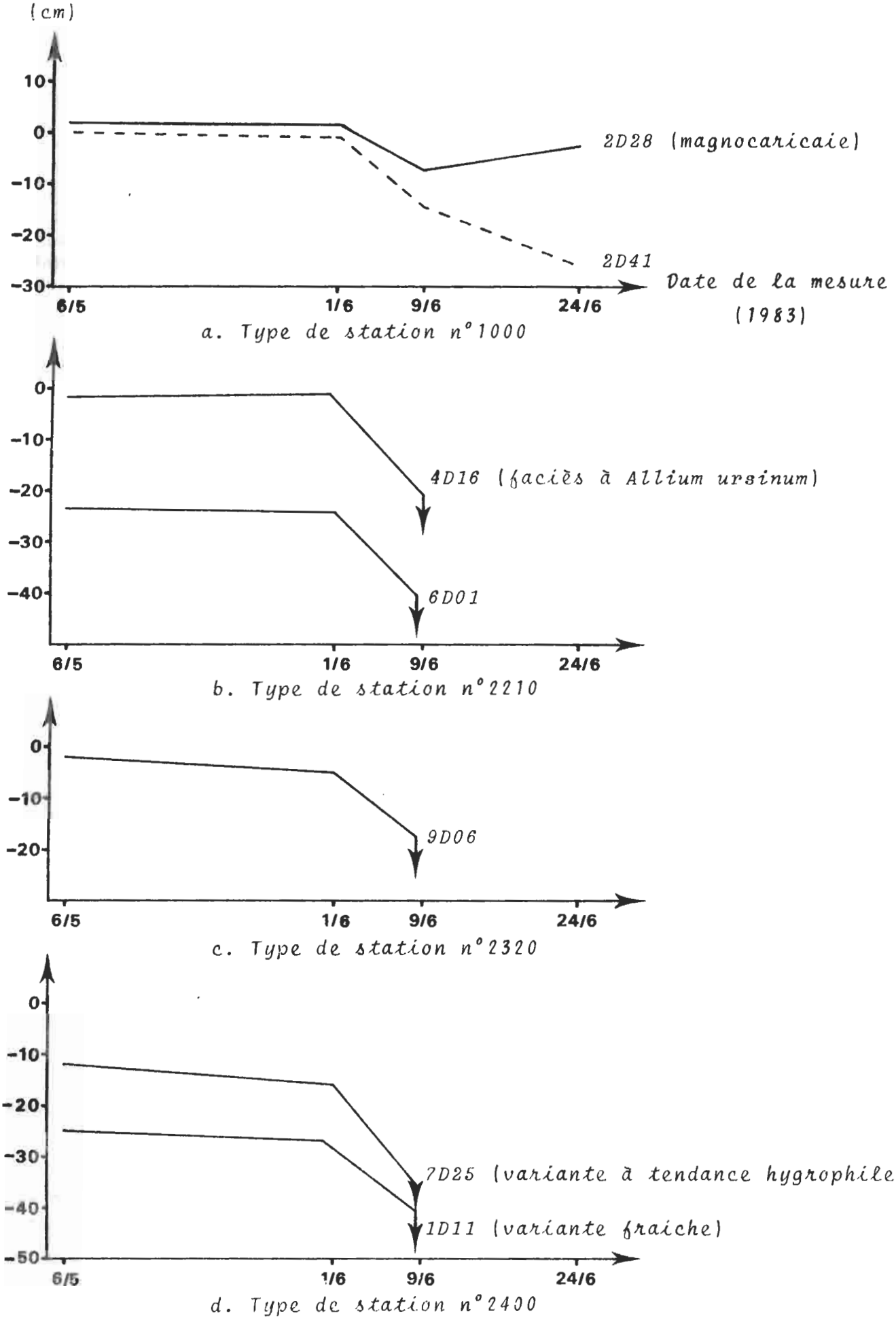
72. Les chênaies, hêtraies et pineraies de substitution du *Carpinion.*

(groupe de stations n°2000).

Celles-ci sont parfaitement caractérisées par la présence d'espèces neutrophiles (groupe E) et l'absence des acidophiles strictes (groupe J).

Elles sont localisées sur les substrats argileux ou limoneux de l'Ouest et du Nord-Est du massif.

Figure 20: Hauteur de la nappe.



Le chêne pédonculé est l'essence dominante la plus fréquente mais le chêne sessile est souvent présent et le pin sylvestre leur a parfois été substitué.

Nous avons distingué quatre types de stations dans cet ensemble.

721. Hêtraies calcicoles (type de station n°2100).

Localisation géographique. Topographie.

Ce type de station est rare à Haguenau. En effet, sur les loess bien drainés que ce type de station occupe, les forêts ont presque partout été éliminées et les cultures dominent. Cette unité est donc souvent cantonnée aux zones de pentes, soit sur le talus même de la terrasse de Haguenau, soit, à l'Ouest du massif, sur les premiers reliefs des collines sous-vosgiennes.

Physionomie.

C'est une hêtraie avec chêne sessile et charme subordonnés. Le recouvrement arborescent est fort (100 %), la strate arbustive très réduite (5 %), composée principalement de *Fagus sylvatica, Carpinus betulus, Acer campestre, Crataegus laevigata*. La strate herbacée est dense (95 % de recouvrement), la strate muscinale nulle ou presque.

Flore.

Cette unité est caractérisée par les espèces calcicoles du groupe B. Les groupes C et D_2 sont faiblement représentés, les groupes D_3, E_1, E_2, F_1, G_1, G_2 et H_1 toujours présents. Les acidophiles à large amplitude (H_2) apparaissent.

La présence d'espèces telles *Galium odoratum, Fraxinus excelsior* (en strate inférieure), *Arum maculatum, Mercurialis perennis, Campanula trachelium* est très liée au traitement en futaie, en Lorraine du moins (M. BECKER, 1979).

Ecologie.

Ce type de station se rencontre sur sols bruns faiblement lessivés sur loess bien drainé. L'humus est un mull eutrophe ou mésotrophe, parfois calcique. L'horizon A_1 a un pH très variable selon qu'il est ou non décalcifié : 4,5 à 7,4 (moyenne 5,7). Ces sols sont bien structurés et perméables. Localement, en bas de pente, on rencontre des sols bruns marmorisés.

722. Les chênaies et chênaies - frênaies calcicoles-nitrophiles.
(type de station n° 2200).

7221. Variante type. (2210)

Localisation géographique. Topographie

Cette unité se rencontre surtout en position de bas de pente, en bordure des thalwegs peu marqués du massif, plus rarement en légère cuvette.

Physionomie.

La strate arborescente, de fort recouvrement (95 % en moyenne), est dominée par le chêne pédonculé, accompagné du hêtre et du frêne. Le sous-étage de charme est constant, à fort recouvrement. Dans ces stations en futaie et régénérées naturellement, le maintien du chêne pédonculé face au charme, beaucoup

plus compétitif, n'est possible que par l'intervention continue de l'homme. Les régénérations manquées montrent un peuplement continu de charme.

La strate arbustive basse est le plus souvent totalement absente. Là aussi, charme, hêtre et frêne dominent. L'aubépine (*Crataegus laevigata*) est constante. On rencontre aussi fréquemment le fusain, l'orme champêtre, le noisetier, l'érable sycomore, et l'érable champêtre qui peut atteindre ici une grande taille.

La strate herbacée a un recouvrement le plus souvent total, alors que la strate muscinale est très faiblement représentée. *Lamiastrum galeobdolon* et *Deschampsia cespitosa* dominent.

Flore

Ce type de station est caractérisé par la présence des calcicoles nitrophiles (groupe C) et des groupes D à H (neutro-nitroclines à acidoclines). Il est donc là encore très riche.

Variations

On peut distinguer deux sous-unités selon une richesse chimique décroissante.

. Sous-unité eutrophe :

présence de *Chrysosplenium alternifolium, Alliaria petiolata, Corydalis bulbosa, Euonymus europaeus , Mercurialis perennis, Paris quadrifolia, Poa trivialis, Veronica chamaedrys.*

. Sous-unité mésotrophe :

absence de ces espèces, et présence de *Thuidium tamariscifolium.*

Localement, on observe des faciès à *Allium ursinum* dans chacune des deux sous-unités.

Ecologie

Ces stations sont localisées sur les sols à mull le plus souvent eutrophe, sinon mésotrophe, et à forte hydromorphie temporaire (sols de type pseudogley à hydromull eutrophe). Le pH, élevé, varie de 4,3 à 6,6 (médiane 4,9). L'horizon de pseudogley est très proche de la surface(environ 20 cm).

La sous-unité eutrophe est caractérisée par des sols très argileux dès la surface (à tendance pélosolique) alors que la sous-unité eutrophe à mésotrophe montre des sols à forte composante limoneuse avec une discontinuité texturale plus marquée. L'horizon de pseudogley est plus profond (environ 35 cm).

Dans tous les cas, la nappe, très haute pendant toute la période hivernale (zones inondées), disparaît plus ou moins brusquement au début de l'été (voir fig.20 b). Le faciès à *Allium ursinum* est plus humide.

7222. Variante à tendance hygrophile : chênaies-frênaies-aunaies eutrophes. (2220)

Localisation géographique. Topographie.

Cette variante des chênaies eutrophes est localisée dans le Nord-Est du massif, sur substrats limoneux, en particulier dans la vaste cuvette de la forêt d'Aschbruch, ou en bas de pente.

Physionomie.

La strate arborescente est plus étagée que dans la variante typique. L'aune glutineux y apparaît. La strate arbustive a un fort recouvrement (40 %) et on y rencontre, en plus des espèces de la variante typique, l'orme champêtre et l'orme lisse. La strate herbacée moins recouvrante est dominée par la seule canche cespiteuse. La strate muscinale prend dans cette variante une plus grande importance (recouvrement 15 %).

Flore.

Elle est presque identique à celle de la variante typique, mais :

- les espèces calcicoles du groupe C sont moins constantes,
- il apparaît les espèces différentielles suivantes : *Alnus glutinosa, Frangula alnus, Dryopteris carthusiana, Mnium hornum, Plagiochila asplenioides*
- les espèces des groupes D_3 et E_2 sont presque toutes absentes.

Equisetum hyemale peut apparaître dans cette unité, en faciès.

Ecologie.

Ce type de station se rencontre sur les pseudogleys ou les sols alluviaux hydromorphes à gley profond. L'humus est un mull mésotrophe, parfois eutrophe. Le pH est de 4,5 en moyenne. L'hydromorphie est très forte, plus importante que dans la variante typique.

723. Les chênaies et hêtraies neutro-nitroclines
(type de station n° 2300).

7231. Variante type (2310)

Localisation géographique. Topographie.

Elles se rencontrent en mi-pente, dans le centre et l'Ouest du massif.

Physionomie.

Ce sont des futaies de chêne pédonculé ou de hêtre dominant. Le chêne sessile est souvent présent en strate arborescente dominante, le frêne plus rare. Le sous-étage de charme est toujours bien fourni. La strate arbustive, de faible recouvrement, est pauvre (hêtre, charme, aubépine épineuse). La strate herbacée a un recouvrement moins important que dans le type de station n° 2200 (80 %).

Flore.

Les espèces du groupe C disparaissent, alors que celles du groupe H_2 deviennent plus fréquentes.

Ecologie.

Les sols de cette unité sont des pseudogleys à mull mésotrophe, rarement des sols lessivés à pseudogley (ce sont alors des hêtraies pures). Le pH de l'horizon A_1 varie de 4,2 à 5,4 (4,6 en moyenne). L'horizon de pseudogley est très

proche de la surface (17 cm en moyenne) et l'hydromorphie de même type que dans la chênaie-frênaie.

7232. Variante à tendance hygrophile. (2320)

Localisation géographique. Topographie.

Cette unité est localisée dans la cuvette de la forêt d'Aschbruch et dans quelques fonds de thalwegs limoneux du massif.

Physionomie.

C'est là encore une chênaie-frênaie-aunaie, parfois une chênaie pure, à sous-étage de charme, dense (90 % de recouvrement). La strate arbustive est pauvre (charme et hêtre), la strate herbacée dominée par *Carex brizoïdes*, souvent accompagné de *Deschampsia cespitosa* (recouvrement 85 %). Les mousses sont, comme dans la variante à tendance hygrophile du type de station n°2200, abondante (recouvrement 15 %).

Flore.

Ce type de station se distingue bien du précédent par la présence du groupe D_1, et, comme précédemment, par la présence d'espèces acidophiles à tendance hygrophile : *Frangula alnus, Dryopteris carthusiana, Sorbus aucuparia.*

La flore herbacée est marquée par l'abondance du *Carex brizoïdes.*

Ecologie.

Les sols, développés pour la plupart sur substrat limoneux, sont de type sol alluvial hydromorphe à gley ou de type amphigley. L'humus est un mull mésotrophe ou un mull acide. Le pH oscille entre 3,7 et 4,5 (moyenne 4,1). L'hydromorphie est très forte (cf.fig.20c), mais l'eau disparaît de la surface pendant l'été.

724. Les chênaies, hêtraies et pineraies de substitution neutrophiles (type de station n°2400).

7241. Variante type . (2410)

Localisation géographique. Topographie.

Cette unité est fréquente dans le Nord-Est du massif (bois de l'Hôpital en particulier) et dans les massifs au Sud de la ville de Haguenau, là où les sables épais sont mélangés à des limons. Elle se rencontre aussi çà et là dans le reste du massif, le plus souvent en position topographique haute.

Physionomie.

C'est une chênaie pédonculée ou sessile, une hêtraie, une pineraie ou un mélange de ces quatre essences, avec ou sans sous-étage de charme ou de hêtre. Le couvert est dense (100 %). La strate herbacée est dense lorsqu'il n'y a pas de sous-étage. Les arbustes les plus fréquents sont *Carpinus betulus, Fagus sylvatica, Frangula alnus, Picea abies* et *Sorbus aucuparia.*

Flore

Ce type de station est marqué par l'apparition des espèces acidophiles du groupe I. Les neutrophiles à large amplitude du groupe E deviennenent plus rares mais sont encore présentes. Les groupes A à D disparaissent.

Ecologie.

Les sols sont très typiques, de type sol brun acide développés sur substrats sablo-limoneux épais. L'humus est un mull-moder ou un moder, rarement un mull mésotrophe ou acide. Le pH de l'horizon A_1 est de 3,8 en moyenne.

7242. Variante fraîche. (2420)

Localisation géographique. Topographie.

Unité très répandue sur tous les types de substrat du massif, souvent en fond de thalweg ou en position de légère cuvette.

Physionomie.

C'est une chênaie pédonculée, mélangée dans un quart des cas de chêne sessile, avec souvent présence du hêtre, dominant un sous-étage de charme. Le pin est présent plus rarement que dans la variante sèche. La strate arbustive, toujours de très faible recouvrement, renferme de façon constante le hêtre et le charme, souvent aussi le houx et l'alisier torminal. La strate herbacée est souvent marquée par l'extension du *Carex brizoïdes*. La strate muscinale est très réduite.

Flore.

Par rapport à la variante sèche, cette unité se distingue par la présence (peu marquée) des hygrophiles du groupe A_2, mais surtout par la constance du *Carex brizoïdes* et de *Deschampsia cespitosa*.

Ecologie.

Cette unité est présente sur sols moyennement riches et hydromorphes de type pseudogley podzolique ou sol alluvial hydromorphe à gley profond. Le pH moyen de l'horizon A_1 est de 4,0, l'humus de type mull-moder ou moder, moins souvent mull acide. La figure 20d montre les variations de la nappe dans le relevé 1 D11 de cette unité.

7243. Variante à tendance hygrophile. (2430)

Localisation géographique. Topographie.

Localisée aux cuvettes limoneuses du Nord-Est du massif (Aschbruch, Hatten).

Physionomie.

C'est une chênaie le plus souvent pédonculée, parfois sessile, à fort recouvrement (100 %) avec sous-étage de charme, mais dans lequel le frêne et l'aune sont constants. La strate arbustive, réduite, est constituée de hêtre. La strate herbacée est un tapis de *Carex brizoïdes*.

Flore.

Cette variante se différencie donc, comme les autres variantes à tendance hygrophile du *Carpinion*, par la présence du frêne et de l'aune. Les ormes sont par contre absents de cette unité. *Carex brizoïdes* et *Frangula alnus* en strate herbacée sont constants.

Ecologie.

Les sols sont le plus souvent des pseudogleys podzoliques, relativement pauvres et très hydromorphes (humus de type moder ou hydromoder, pH moyen de 3,6). On constate sur la figure 20d une hydromorphie plus importante que dans l'unité précédente.

73. Les chênaies et pineraies acidophiles du *Quercion robori-petraeae*. (groupe de stations n°3000).

Elles se distinguent floristiquement par l'apparition des espèces acidophiles strictes du groupe J et la disparition des neutrophiles à large amplitude du groupe E. Toutefois, c'est à ce niveau que la coupure est la plus délicate, et l'on peut rencontrer des relevés sans espèces ni du groupe E, ni du groupe J.

Le chêne pédonculé est très fréquent dans ces forêts, ce qui peut paraître surprenant au vu de son écologie. Nous pensons que dans bien des cas, cette essence a été systématiquement favorisée pour les raisons économiques évoquées au chapitre II.

Sur une base floristique, ces relevés du *Quercion* ont été divisisés en quatre types de stations : chênaies et pineraies neutro-acidoclines, chênaies et pineraies acidoclines, chênaies et pineraies acidophiles et chênaies et pineraies hygro-acidophiles. Mais il nous est apparu nécessaire de subdiviser les trois premiers types de station en une variante sèche et une variante fraîche.

731. Caractérisation de l'hydromorphie dans les stations du *Quercion*

L'étude des sols nous a montré trois degrés d'hydromorphie dans les sols acides de Haguenau :

- les sols secs sur substrats sableux épais,
- les sols hydromorphes de type sol podzolique ou podzol hydromorphe,
- les sols très hydromorphes de type gley acide.

La figure 21 montre le comportement de la nappe dans les deux derniers types.

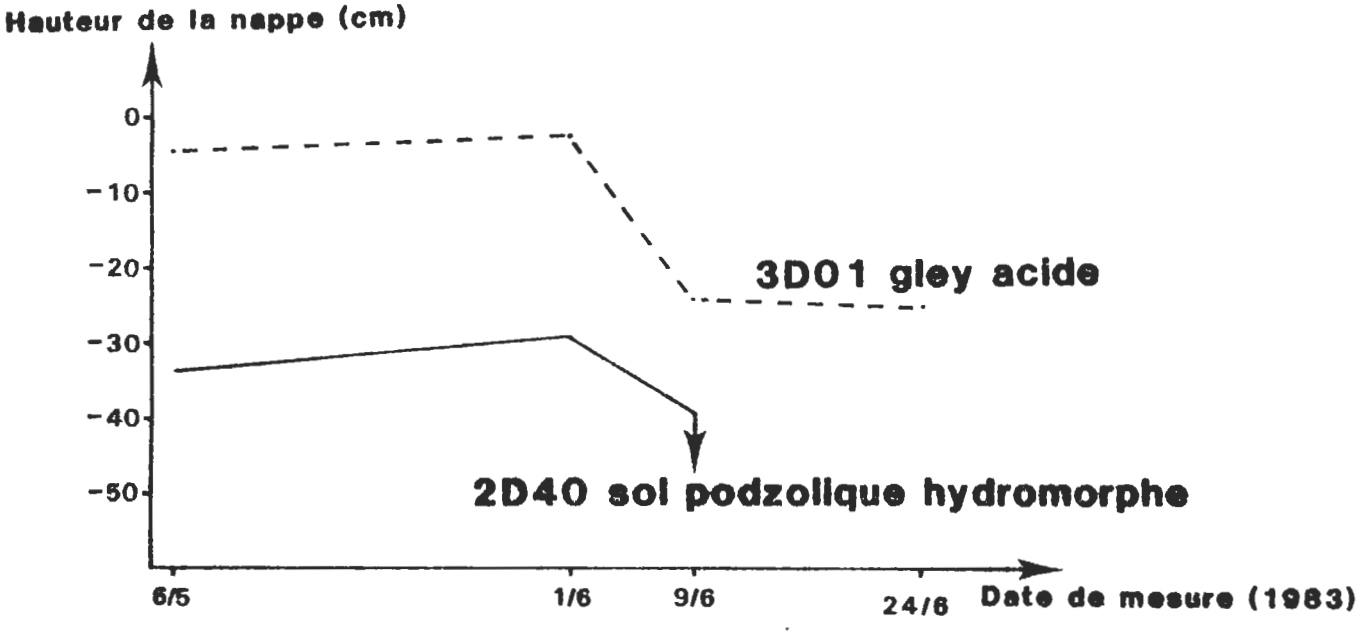


Figure 21. Niveau de la nappe en sol acide hydromorphe.

Or, si le groupe écologique K permet de distinguer les sols très hydromorphes, l'analyse de la végétation ne nous a pas permis de distinguer les deux premiers types. *Molinia caerulea*, espèce réputée indicatrice de l'hydromorphie semble indifférente à ce paramètre, restant liée dans les analyses à *Deschampsia flexuosa* qui n'a pourtant pas les mêmes tolérances.

Le profil des fréquences relatives de *Molinia caerulea* en fonction de la profondeur d'apparition des traces d'hydromorphie observée sur le profil de sol (fig.22), comparé à celui de *Deschampsia cespitosa*, montre bien la relative indifférence de la molinie vis-à-vis de ce paramètre. Celle-ci apparaît en effet aussi souvent en sol sec qu'en sol très hydromorphe (environ 45 % des relevés). La molinie semble donc pouvoir présenter un **caractère xérophile** net.

Ou il s'agit d'un phénomène d'écotypie déjà mis en évidence pour la molinie dans d'autres situations (G. LEMEE et M. GUINOCHET, 1950), ou il y a remplacement de facteur : M. BOURNERIAS (1979) précise que la molinie est souvent abondante dans la variante sub-montagnarde (à atmosphère plus humide) de la chênaie sessiliflore oligotrophe du bassin parisien, à sol sec. De même on peut observer la molinie par plages importantes dans l'étage montagnard des Vosges, sur sols bien drainés. (1) Enfin, il peut s'agir d'une méconnaissance de l'écologie de l'espèce, qui serait beaucoup plus tolérante à la sécheresse qu'on ne le pense habituellement. Des résultats écophysiologiques récents (D.LASSERRE, 1983) confirment cette hypothèse : en effet, le potentiel de sève de base de la plante reste égal à celui du sol, même en période de sécheresse.

Dans les situations sèches, la molinie se présente avec un coefficient d'abondance-dominance de +,1 ou 2. En situations hydromorphes, elle peut atteindre des coefficients d'abondance-dominance plus élevés (jusqu'à 5), mais cela est très rarement le cas à Haguenau, en raison du caractère très nettement héliophile et sciafuge de la molinie (M. BECKER, 1971), qui disparaît dès qu'un couvert suffisant est installé.

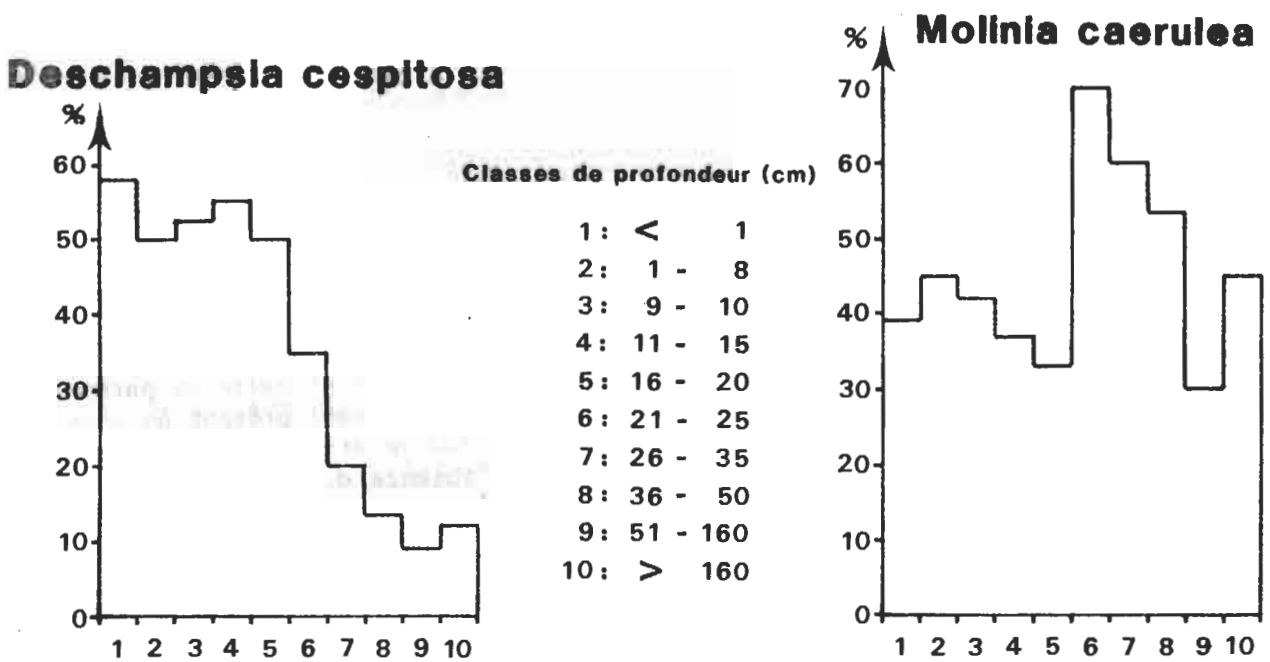


Figure 22 .Profil des fréquences relatives selon la profondeur d'hydromorphie observée sur le profil .

(1) Signalons aussi le travail de J. STEIN (1981), dont nous n'avons eu que tardivement connaissance, qui constate les mêmes phénomènes en Ardenne orientale.

Les subdivisions des types de station n°3100, 3200 et 3300 ne s'appuient donc que sur une base pédologique. L'étude des relations station-production montre par la suite que ce découpage est bien nécessaire.

732. Les chênaies et pineraies neutro-acidoclines (type de station n°3100)

7321. Variante sèche. (3110)

Localisation géographique. Topographie.

Cette unité se rencontre en toutes situations sur les substrats sableux épais.

Physionomie.

C'est une pineraie pure, avec ou sans sous-étage de charme ou de hêtre. La strate herbacée a un recouvrement important.

Flore.

Les espèces acidophiles strictes apparaissent, alors que les neutrophiles à large amplitude disparaissent. Certaines espèces montrent un optimum dans ce type de station : *Rubus fruticosus*, *Anthoxanthum odoratum*, *Dryopteris dilatata*.

Ecologie.

Les sols sont peu évolués, de type brun acide ou brun ocreux, à humus de type moder, bien drainés.

7322. Variante fraîche. (3120)

Localisation géographique. Topographie.

Cette unité est fréquente en toutes situations sur toute l'étendue du massif.

Physionomie.

Pin sylvestre, chêne sessile, chêne pédonculé et hêtre se partagent la strate dominante, dense. Le charme est encore très souvent présent en sous-étage. La strate arbustive comprend le hêtre, le charme et le houx. L'importance de la strate herbacée est liée à la présence ou l'absence du sous-étage.

Flore.

Comme il a été mentionné en introduction des chênaies et pineraies acidophiles du *Quercion* , aucune espèce ne vient différencier cette unité de la précédente. *Carex brizoïdes* ou *Molinia caerulea* peuvent toutefois atteindre un recouvrement, lorque le sous-étage est absent, plus important que dans la variante sèche.

Ecologie.

Les sols de ce type de station sont hydromorphes, de type pseudogley podzolique à podzol hydromorphe. L'humus est de type moder ou hydromoder (pH moyen 3,5).

733. Les chênaies et pineraies acidoclines (type de station n°3200).

7331. Variante sèche. (3210)

Localisation géographique. Topographie.

Cette unité se rencontre en toutes situations sur les sables épais du Sud et de l'Est du massif.

Physionomie.

C'est une pineraie-chênaie, rarement une pineraie ou une chênaie pure, à recouvrement faible (60 %), avec un sous-étage de hêtre constant et de fort recouvrement (100 %). La strate herbacée est donc le plus souvent réduite à néant, de même que les strates arbustive et muscinale. Le chêne pédonculé accompagne le rouvre dans un quart des relevés de ce type de station. La strate arbustive est composée de hêtre, épicéa et bourdaine principalement.

Flore.

Les espèces neutroclines du groupe F se raréfient ; celles du groupe G_1 deviennent moins recouvrantes et moins fréquentes.

Ecologie.

Cette unité est caractérisée par la grande sécheresse des sols, et leur richesse chimique moyenne. Ce sont des sols de type brun acide, brun ocreux, rarement ocre podzolique, à horizon Bh moyennement développé. L'humus est de type moder, à pH moyen de 3,6.

7332. Variante fraîche. (3220)

Localisation géographique. Topographie.

La variante fraîche se rencontre plus souvent en bas de pente dans le domaine des sables épais.

Physionomie.

C'est une pineraie, une pineraie-chênaie ou une chênaie pure, à sous-étage de hêtre. Chêne pédonculé et chêne sessile sont aussi fréquents l'un que l'autre, et souvent en mélange. La strate arbustive comprend principalement le hêtre, le houx, la bourdaine, l'épicéa, le charme et le sorbier des oiseleurs. Mais elle est souvent absente, de même alors que la strate herbacée.

Flore.

Elle est très semblable à celle de la variante sèche. Seules s'expriment des tendances : *Quercus petraea* A, *Maianthemum bifolium*, *Lonicera periclymenum* deviennent moins abondants ; *Molinia caerulea* peut atteindre un fort recouvrement dans les trouées.

Ecologie.

Cette variante se développe sur sols hydromorphes de la série podzolique, principalement sol podzolique hydromorphe, ou sur pseudogley podzolique. L'humus, souvent hydromorphe, est un moder, moder-mor ou mor. Le pH est de 3,7.

734. Les chênaies et pineraies acidophiles (type de station n°3300).

7341. Variante sèche. (3310)

Localisation géographique. Topographie.

Cette unité est située dans le Sud du massif, dans les zones à sable épais, en position haute ou à mi-pente.

Physionomie.

C'est une pineraie très ouverte (60 % de recouvrement), avec ou sans sous-étage de hêtre, et mélangée dans un tiers des cas de chêne sessile, très rarement de chêne pédonculé.

L'importance des strates arbustives, herbacées et muscinales est directement liée à la présence ou l'absence du sous-étage. Les arbustes les plus fréquents sont *Fagus sylvatica*, *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus*, *Ilex aquifolium* et *Picea abies*.

La strate herbacée est dominée par la myrtille, la canche flexueuse plus rarement par la callune.

Flore.

Les espèces neutroclines du groupe F disparaissent et celles du groupe G deviennent très rares. Les espèces du groupe J_3 apparaissent. C'est l'un des deux types de station du massif susceptibles d'abriter le pin sylvestre à l'état spontané. La concurrence du hêtre et des chênes devient en effet faible dans ce milieu "extrême".

Ecologie.

Etablies sur sols secs de type brun ocreux ou ocre podzolique, ces stations sont pauvres chimiquement et très déficientes en eau. Le pH, très acide, varie entre 3,3 et 3,7 (3,5 en moyenne). L'humus est le plus souvent un moder, parfois un moder-mor ou un mor.

Ce type de station est directement en contact à Haguenau avec les pelouses sableuses sèches à *Corynephorus canescens*, avec lesquelles il entretient des liens dynamiques étroits.

7342. Variante fraîche. (3320)

Localisation géographique. Topographie.

Cette variante se rencontre le plus souvent en situation de bas de pente dans la zone à substrat sableux du Sud du massif, ou en toute situation topographique lorsqu'existe une lentille argileuse proche de la surface du sol.

Physionomie.

Elle est identique à celle de la variante typique. Le chêne pédonculé estun peu plus fréquent. La strate herbacée est dominée par la myrtille, la fougère aigle ou la molinie.

Flore.

Elle est identique à celle de la variante typique. La molinie peut atteindre ici un fort recouvrement, contrairement à la canche flexueuse qui s'efface. *Dryopteris carthusiana* est très constant .

Ecologie.

Ce type de station se rencontre sur les sols hydromorphes de la série podzolique à humus de type moder-mor ou mor, parfois moder. Le pH, le plus acide de tous les types étudiés, est de 3,4 en moyenne. La figure 21 montre l'évolution de la nappe dans ces stations, de profondeur moyenne et disparaissant le plus souvent en été.

7343. Variante nitrophile à *Robinia pseudacacia*. (3330)

Localisation géographique. Topographie.

La variante à robinier est localisé sur les sables épais, au Sud de la ville de Haguenau, en particulier dans la forêt communale de Haguenau, ou dans le massif de Brumath. On la rencontre aussi à la lisière Sud de la forêt indivise.

Physionomie.

Ce sont des pineraies dans lesquelles le robinier a été récemment introduit (XVIIIème siècle) en sous étage, en remplacement du hêtre. Le châtaignier lui est souvent lié, et peut être dominant.

Flore.

Elle est très particulière, puisque se côtoient les acidophiles strictes du groupe J et des neutrophiles à large amplitude du groupe E qui réapparaissent ici. Le groupe L est caractéristique de cette unité, et indique la tendance nitrophile, comme d'ailleurs la présence de *Rubus idaeus*, *Galeopsis tetrahit*, *Holcus mollis*...

L'apparition de ces espèces est liée à l'enrichissement du sol en azote par suite de l'activité fixatrice du robinier et peut être aussi à une certaine rudéralisation de ces milieux proches du centre urbain.

Ecologie.

Le sol est de type brun acide ou brun ocreux, peu évolué et sec.

735. Les chênaies et pineraies hygro-acidophiles.

(type de station n°3400).

Localisation géographique. Topographie.

Elles sont localisées dans les cuvettes de la zone à substrat sableux du massif.

Physionomie.

C'est une pineraie-chênaie ou une chênaie pure assez ouverte (recouvrement 70 %) : chêne sessile et chêne pédonculé sont représentés à égalité. La strate herbacée présente l'aspect caractéristique de la moliniaie en touradons bien développés.

Flore.

Cette unité est caractérisée par les hygro-acidophiles du groupe K. Certaines acidophiles deviennent rares ou absentes (*Carex pilulifera*). On notera par contre que *Deschampsia flexuosa* a encore une fréquence de présence de 92 % avec un coefficient d'abondance-dominance ne dépassant toutefois pas 2.

Ecologie.

Les sols sont de type gley à hydromor ou podzol hydromorphe. L'humus est un hydromor ou un hydromoder ; le pH est acide (3,7 en moyenne).

74. Les stations peu représentées à Haguenau.

741. Les aunaies mésotrophes à eutrophes.

Nous n'en possédons qu'un relevé.

Relevé 2D26 ; 135 m ; plat ; au pied de la terrasse de Haguenau ; pH de l'horizon A_1 : 4,5 ; pH du substrat : 6.

Strate arborescente (recouvrement 90 %) :

Alnus glutinosa 5, *Betula pubescens* 3

Strate arbustive (recouvrement 5 %) :

Acer pseudoplatanus 2, *Alnus glutinosa* 1, *Frangula alnus* 1, *Sorbus aucuparia* 1.

Strate herbacée (recouvrement 100 %) :

Carex acutiformis 5, *Glyceria maxima* 3, *Carex elongata* 2, *Impatiens glandulifera* 2, *Dryopteris carthusiana* 2, *Rubus fruticosus* 2, *Athyrium filix-femina* 1, *Holcus mollis* 1, *Iris pseudacorus* 1, *Galium palustre* 1, *Juncus effusus* 1, *Stellaria*

alsine 1, Lysimachia nemorum +, Humulus lupulus +, Phalaris arundinacea +, Carex muricata s.l. *+, Elymus caninus +.*

Localisation géographique. Topographie.

Au sein du massif, ce groupement est très rare et localisé (bas-fonds marécageux de l'aunaie-frênaie). Par contre, il devient plus fréquent en bordure de la zone de marécages et de tourbières de la vallée de la Moder, entre Haguenau et Oberhoffen, en contrebas de la terrasse. Il est aussi présent en bordure du ried rhénan du Nord de l'Alsace, entre Schirrheim et Kurtzenhouse, ou, plus au Nord, au niveau de Forstfeld, toujours au pied de la terrasse.

Physionomie.

C'est une aunaie pure, avec dans le cas présent un sous-étage de bouleau pubescent. La strate arbustive est très clairsemée. Le tapis herbacé est dominé par les espèces de roselières et de magnocaricaies. Les mousses sont rares.

Flore.

Elle est constituée des espèces hygrophiles du groupe A. On y rencontre des espèces rares à Haguenau : *Hottonia palustris, Carex pseudocyperus, Stellaria alsine, Equisetum maximum.*

Notre relevé, qui contient *Betula pubescens, Frangula alnus, Sorbus aucuparia,* exprime une tendance acidophile.

Ecologie.

Le sol est de type gley à anmœur mésotrophe ou eutrophe. Ce type d'aunaie occupe des sites inondés presque toute l'année par une nappe dont le niveau descend rarement, même en été. Les horizons superficiels, tourbeux ou semi-tourbeux, ont un pH moyen de 5.

Les projets d'assainissement destinés à favoriser le développement du frêne au dépens de l'aune peuvent amener la disparition totale de ce groupement rare, dont la richesse n'est pas seulement floristique mais aussi faunistique.

742. Les chênaies-pineraies-boulaies acidophiles.

En voici un relevé :

Relevé 2D19 ; 146 m ; plat ; bas de pente en bordure de cuvette ; pH du A_1 : 3,8.

Strate arborescente (recouvrement : 75 %) :

Pinus sylvestris 4, Betula pubescens 3, Betula pendula 2, Alnus glutinosa 2, Carpinus betulus 1, Fagus sylvatica 1, Quercus robur 2.

Strate arbustive (recouvrement 5 %)

Frangula alnus 2, Sorbus aucuparia 2, Betula pubescens 2, Fagus sylvatica 1.

Strate herbacée (recouvrement 90 %)

Molinia caerulea 3, Pteridium aquilinum 3, Rubus fruticosus 3, Vaccinium myrtillus 3, Deschampsia flexuosa 2, Lonicera periclymenum 2, Luzula pilosa 2, Dryopteris carthusiana 2, Carex nigra 2, Carex curta 2, Dryopteris dilatata 1, Oxalis acetosella 1, Maianthemum bifolium 1, Juncus effusus 1, Stellaria media 1, Athyrium filix-femina +, Carex pilulifera +, Polygonatum multiflorum +, Teucrium scorodonia +, Lysimachia nemorum +, Carex elongata +, Agrostis stolonifera +.

Strate muscinale (recouvrement 5 %)

Sphagnum palustre 2, Eurhynchium striatum 1, Leucobryum glaucum 1, Mnium hornum 1, Polytrichum formosum 1, Dicranum scoparium +.

Localisation géographique. Topographie.

Cette unité, très rare, se rencontre en situation de cuvette dans les zones sableuses.

Physionomie.

C'est un peuplement très ouvert, à strate arborescente renfermant l'aune, le bouleau pubescent, le chêne (pédonculé et sessile) et le pin sylvestre. La strate herbacée est dominée par les touradons de la molinie.

Flore.

On trouve toujours un lot important d'espèces acidophiles, des espèces des bas-marais acides (*Carex curta*, *Carex nigra*), des prairies humides (*Molinia caerulea*, *Juncus effusus*). On peut y rencontrer l'osmonde royale, rare à Haguenau.

Ce type stationnel pourrait avoir constitué un refuge pour le pin sylvestre à l'état spontané. Les analyses en sols sableux que nous menons actuellement nous ont montré des proportions toujours importantes de pollens de pin sylvestre (au moins 20 %) dès la base du profil palynologique dans ce type de station.

Ecologie.

Les sols sont de type gley à anmcoroligotrophe. L' hétérogénéité écologique du relevé 2D19 résulte d'une hétérogénéité topographique qui fait que certaines espèces baignent dans l'eau alors que d'autres ont à supporter une relavive sécheresse par suite de l'accumulation importante de sphaignes mortes ou d'une litière de résineux.

75. Place synsystématique des types de station.

La place synsystématique des types de station que nous avons précédemment définis est difficile à situer en raison des imprécisions actuelles de la classification phytosociologique.

- Les stations d'aunaie eutrophe se rattachent à l'alliance de l'*Alnion glutinosae* (classe des *Alnetea glutinosae*). Selon une division édaphique, nos relevés se rattachent à la sous-alliance de l'*Irido-Alnenion*, mésotrophe à eutrophe, et selon une division biogéographique, ils appartiennent à la grande association médioeuropéenne du *Carici elongatae-Alnetum*.

- Les aunaies-frênaies de Haguenau sont à rattacher soit au *Carici remotae-Fraxinetum*, soit au *Pruno-Fraxinetum*, deux associations par ailleurs très proches et dont la distinction floristique est actuellement imprécise.

- Les stations du *Carpinion* se rattachent au *Querco-Carpinetum medioeuropaeum* selon le système proposé par R. TUXEN (1937), ou au *Stellario-Carpinetum* subatlantique selon le schéma de E. OBERDORFER (1957). J.C. RAMEAU (1981) souligne que, "quelle que soit la région considérée, trois tendances s'expriment généralement au sein de ces forêts avec :

. une sous-association mésoacidophile ; apparition de certaines transgressive des *Quercetalia robori-petraeae*...

. une sous-association mésoneutrophile avec *Arum maculatum*, *Allium ursinum*... et quelques arbustes "calcicoles"...

. une sous-association centrale dépourvue de ces différentielles..."

C'est exactement ce que nous observons à Haguenau, où le type de station 2200 correspond à la sous-association méso-neutrophile, proche du *Querco-Carpinetum medioeuropaeum stachyetosum sylvaticae*, le type de station 2300 à la sous-association centrale et le type de station 2400 à la sous-association méso-acidiphile proche du *Querco-Carpinetum medioeuropaeum luzuletosum*.

Le type de station 2100, se rapproche pour sa part de la sous-association calcicole du *Querco-Carpinetum medioeuropaeum primuletosum veris*.

- Nos stations de l'alliance du *Quercion* s'intègrent toutes selon nous au *Quercetum medioeuropaeum* selon la division phytogéographique de J. BRAUN-BLANQUET (1932) et au *Fago - Quercetum* selon la division édaphique de R. TUXEN (1955). Elles se distinguent cependant de cette dernière association par la présence de *Luzula luzuloïdes*. N. SOUGNEZ (1967) propose pour cette variante submontagnarde le nom de *Fago-Quercetum submontanum*.

Nos relevés sont très proches d'autre part de l'alliance du *Luzulo-Fagenion* (*Fagetalia*) puisqu'on peut y trouver *Festuca sylvatica*, *Prenanthes purpurea*, rares toutefois. Mais nous préférons, selon S. MULLER (1975), rattacher nos relevés aux chênaies acidophiles de plaine, réservant l'alliance du *Fagion* aux seuls groupements montagnards. Chacun des quatre types de stations 3100 à 3400 correspond alors à une sous-association du *Fago-Quercetum*.

Les pineraies-chênaies hygrophiles à aune et bouleau pubescent se rattachent au *Querco roboris-Betuletum*.

La variante à robinier du type de station 3300 est très proche des robiniaies et châtaigneraies décrites par G. LAPRAZ (1967) dans la région d'Andlau.

La présence de pin sylvestre éventuellement autochtone a amené certains auteurs à distinguer à Haguenau des groupements particuliers d'indigénat du pin sylvestre : *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris* dans les zones tourbeuses et *et Querco sessiliflorae-Betuletum* dans les zones xéroacidiphiles. Or, si l'écologie

de ces stations peut en effet laisser supposer l'indigénat du pin, aucune flore ne permet de les distinguer des chênaies ou des pineraies de substitution installées sur le même type de station. *Vaccinium uliginosum*, rare à Haguenau, n'est d'ailleurs absolument pas cantonnée aux zones tourbeuses mais apparaît aussi dans le type hydromorphe de la pineraie - chênaie acidiphile, sur podzol hydromorphe. Nos relevés ne peuvent non plus être inclus dans les groupements à pin sylvestre autochtone définis par E. OBERDORFER (R. BOISELLE et E. OBERDORFER, 1957) dans le Pfälzer Wald.

Type de station	Aunaies-frênaies 1000	Hêtraies calcicoles 2100	Chênaies-frênaies calcicoles 2200		Chênaies et hêtraies neutro-nitroclines 2300		Chênaies, hêtraies et pinerales de substitution neutrophiles 2400			Chênaies et pinerales neutro-acidoclines 3100		Chênaies et pinerales acidoclines 3200		Chênaies et pinerales acidophiles 3300			Pinerales hygro-acidophiles 3400
Unité			variante type 2210	variante à tendance hygrophile 2220	variante type 2310	variante à tendance hygrophile 2320	variante type 2410	variante fraîche 2420	variante à tendance hygrophile 2430	variante sèche 3110	variante fraîche 3120	variante sèche 3210	variante fraîche 3220	variante sèche 3310	variante fraîche 3320	variante nitrophile 3330	
Importance spatiale	AC	R	C	AC	C	AC	AC	C	AC	AC	C	CC	CC	CC	CC	R	AR
Position topographique	Bas fond inondable	Pente	Bas de pente	Cuvette	Mi-pente	Cuvette	Haut de pente	Bas de pente	Cuvette	Variable	variable	Variable	Bas de pente	Haut de pente	Bas de pente	Variable	Cuvette
Substrat	Limons alluviaux	Colluvions loessiques	Marnes	Limons loessiques	Marnes	Limons loessiques	Marnes sableuses	Sables argileux	Limons sableux	Sables	Sables argileux	Sables	Sables argileux	Sables	Sables argileux	Sables	Sables argileux
Type d'humus	Hydromull eutrophe	Mull calcique	Hydromull eutrophe	Hydromull mésotrophe	Hydromull mésotrophe	Hydromull acide	Mull-moder	Mull-moder	Hydromoder	Moder	Hydromoder	Moder	Hydromoder à hydromor	Moder à mor	Hydromor	Moder	Hydromor
pH moyen	5.0	5.7	4.9	4.5	4.6	4.1	3.8	4.0	3.6	3.5	3.5	3.6	3.7	3.5	3.4	-	3.7
Type de sol	Gley oxydé	Sol brun faiblement lessivé	Pseudogley primaire	Sol alluvial hydromorphe	Pseudogley Sol lessivé	Sol alluvial hydromorphe	Sol brun acide	pseudogley podzolique	Pseudogley podzolique	Sol brun acide à brun ocreux	Pseudogley podzolique	Sol brun acide à ocre podzolique	Sol podzolique hydromorphe Podzol hydromorphe	Sol brun ocreux à ocre podzolique	Sol podzolique hydromorphe Podzol hydromorphe	Sol brun acide à brun ocreux	Gley acide Podzol hydromorphe

A Hygrophiles-neutrophiles
A Hygrophiles à large amplitude
B Calcicoles à tendance xérophile
C Calcicoles-nitrophiles
D Neutro-nitroclines
E Neutrophiles à large amplitude
F Neutro-acidoclines
G Neutro-acidophiles
H Acidoclines
I Acidophiles
J Acidophiles strictes
K Hygro-acidophiles
L Nitrophiles anthropiques

TABLEAU XII. TABLEAU SYNTHETIQUE DES TYPES DE STATION.

QUATRIEME PARTIE

ETUDE SYLVICOLE

CHAPITRE VIII

ETUDE DES POTENTIALITES FORESTIERES

81. Introduction.

L'étude des propriétés sylvicoles des stations est le prolongement logique de l'étude du milieu. Nous l'avons abordée sous deux aspects :

- les relations station - production,
- les relations station - qualité du bois.

Les relations station - production ont été appréciées par l'intermédiaire de l'accroissement moyen annuel sur le rayon et surtout de la hauteur moyenne des arbres dominants, dont on sait qu'elle discrimine très bien, à âge égal, les classes de fertilité dans le cas d'un traitement en futaie mené classiquement.

Les relations station - qualité du bois ont été basées sur la mesure du couple de torsion, nécessaire pour faire tourner une tarière de Pressler, à une profondeur donnée dans l'arbre. Cette valeur est en corrélation étroite avec la densité du bois, elle-même sous la dépendance de plusieurs importantes caractéristiques mécaniques du bois (H. POLGE et R. KELLER, 1970).

L'ensemble des données relatives à la productivité et à la qualité des produits intervient directement sur la rentabilité économique des stations, et donc sur les orientations de la gestion forestière.

82. Méthodologie.

821. Choix des placettes.

L'étude a porté sur le pin sylvestre, les deux espèces de chêne, le hêtre et, plus accessoirement, le frêne.

Lors de l'inventaire phyto-écologique, nous avons effectué, dans toutes les stations, les mesures et prélèvements dendrométriques sur un, deux ou trois individus de chacune des essences présentes dans le relevé.

Cette démarche entraîne un déséquilibre de l'échantillonnage.

Le déséquilibre porte déjà sur les différentes essences, qui sont représentées en fonction de leur fréquence de rencontre dans l'ensemble des relevés. Ainsi, nous avons échantillonné 216 pins sylvestres, 168 chênes pédonculés, 93 chênes sessiles, 90 hêtres et 23 frênes. On remarquera cependant que la stratification initiale de l'échantillonnage phyto-écologique a bien joué au niveau de la distinction zone à chênes et zone à pins sylvestres puisqu'on retrouve un nombre d'arbres équivalent dans chacune de ces deux grandes catégories.

Mais le déséquilibre intervient surtout pour la représentation des différents types de stations. L'échantillonnage systématique au long des transects entraîne bien sûr, malgré la stratification initiale, une représentation des différents types de station en fonction de la surface qu'ils occupent. Mais ceci n'est pas a priori un inconvénient majeur puisqu'alors les résultats dendrométriques deviennent d'autant plus fiables que le type de station est mieux représenté, donc plus important pour l'aménagiste.

822. Mesures et prélèvements.

8221. Sur le terrain.

Les arbres sont choisis dans l'étage dominant et dans les limites de la placette. On effectue ensuite les opérations suivantes :

- mesure de la circonférence au ruban, à 1m30 du sol,
- mesure de la hauteur totale de l'arbre avec un dendromètre Blume-Leiss,
- prélèvement d'une carotte, à 1m30 du sol, à l'aide d'une tarière de Pressler (type à 2 filets pour les bois durs et à 3 filets pour les bois tendres). Les feuillus sont sondés jusqu'à environ 15 cm, et le pin sylvestre jusqu'au coeur,
- au cours du prélèvement, mesure du couple de torsion (torsiomètre gradué de 0 à 650 kg.cm), selon la méthode décrite par H. POLGE et R. KELLER (1970). Le sondage est effectué dans une direction perpendiculaire au plan d'inclinaison éventuel du tronc (très fréquent pour le pin sylvestre de Haguenau) afin d'éviter le biais introduit par les contraintes du bois de réaction. Toutes les mesures de couples ont été effectuées par un même opérateur, avec la même tarière et le même torsiomètre, précautions dont G. NEPVEU (1979) a souligné l'importance.

8222. Au laboratoire.

Nous avons mesuré, pour chaque carotte

- la largeur moyenne de cerne sur la longueur totale de la carotte,
- la largeur et le nombre d'années d'aubier. Cette mesure peut se faire directement pour les chênes. Pour le pin sylvestre par contre, la distinction entre coeur et aubier ne peut se faire qu'après coloration différentielle au vert de bromocrésol en solution aqueuse à 0,413 °/₀₀ (N.P. KUTSCHA et I.B. SACHS, 1962). Le réactif colore en vert l'aubier, plus acide, et laisse le coeur tel quel. Les carottes de hêtre enfin ont résisté à toutes nos tentatives de différenciation de l'aubier.

La Station de recherches sur la Qualité des Bois de l'INRA-Nancy a effectué les mesures de l'infradensité pour toutes les carottes de chêne, par la méthode de saturation intégrale.

$$\text{Infradensité} = \frac{\text{Poids de la carotte anhydre}}{\text{Volume de la carotte saturée en eau}}$$

L'âge des arbres qui figure dans les paragraphes suivants est une mesure exacte pour les pins sylvestres, qui ont été carottés jusqu'au coeur. Pour les feuillus par contre, cette donnée est estimée à partir de l'accroissement moyen annuel sur la carotte et de la circonférence.

Ce calcul, qui présuppose un rythme de croissance sensiblement constant tout au long de la vie de l'arbre, introduit un biais important. On observe en effet couramment la décroissance de la taille des cernes avec l'âge. Aucune loi ne permettant actuellement de relier de façon fiable ces deux paramètres, le problème paraît difficilement soluble. Il serait d'ailleurs peut-être plus intéressant de ramener les données étudiées, lorsqu'elles dépendent de l'âge, non plus à l'âge lui-même, si difficile à estimer, mais au diamètre qui, lui, est connu exactement. Cette approche, qui en est à ses débuts (J.B. STOUT et D.L. SHUMWAY 1982), reste à explorer.

83. Relations station -production

831. Accroissement moyen annuel sur le rayon.

Celui-ci est très lié à l'âge de l'arbre, beaucoup plus qu'au diamètre.

	Accroissement moyen annuel sur le rayon mm	Corrélation	
		avec l'âge	avec le diamètre
Pinus sylvestris	2,41	-0,83**(1)	-0,51**
Quercus robur	2,31	- 0,71**	-0,29**
Quercus petraea	2,04	-0,68**	-0,03^{NS}
Fagus sylvatica	2,74	-0,74**	+0,05^{NS}
Fraxinus excelsior	1,85	-0,50*	+0,02^{NS}

Tableau XIII. Accroissement moyen annuel sur le rayon.

La décroissance de l'accroissement moyen annuel avec l'âge masque donc largement les différences stationnelles et doit être corrigée si l'on veut comparer des stations comportant des arbres d'âges différents. Les dendroclimatologues ont proposé diverses méthodes de **standardisation** des accroissements annuels (H.C. FRITTS, 1976), par ajustement à des équations linéaires, polynômiales ou exponentielles. Les accroissements du pin sylvestre ont été ramenés à 128 ans par correction linéaire et ceux du chêne à 192 ans par correction exponentielle.

Pin sylvestre.

L'accroissement moyen annuel varie de 5,0 mm dans le jeune âge à 1,0 mm au- delà de 150 ans. Il est de 1,8 mm en moyenne à 128 ans.

On observe les valeurs suivantes, par types de station et pour un âge de 128 ans :

(1) NS : non significatif
* : significatif au seuil de 5 %
** : significatif au seuil de 1 %

- Chênaies et pineraies de substitution neutrophiles (2400) : 1,89 mm
- chênaies et pineraies neutro-acidoclines (3100) : 1,85 mm
- chênaies et pineraies acidoclines (3200) : 1,82 mm
- chênaies et pineraies acidophiles (3300) : 1,73 mm

Il y a donc décroissance faible mais régulière de l'accroissement moyen , des stations les plus riches aux stations les plus pauvres. Si l'on étudie la répartition pour chaque variante, on constate une influence plus forte encore de l'alimentation en eau :

type de station	2400	3100	2200	3300
variante sèche	1,96	1,60	1,74	1,53
variante fraîche	absent	2,03	1,87	1,83

La croissance est toujours plus forte en milieu hydromorphe qu'en milieu sec. Les chênaies-pineraies hygro-acidophiles (3400) ont d'ailleurs les accroissements les plus forts : 2,06 mm. Cet accroissement s'effondre dans les stations hygrophiles de chênaies-boulaies : 1,45 mm ou dans la variante à tendance hygrophile du type de station 2400 : 1,68 mm.

Chêne.

Globalement, l'accroissement moyen annuel du chêne pédonculé est significativement plus élevé que celui du chêne sessile (tableau XIII). Mais, lorsqu'on raisonne par type de station, ce classement varie.

Les valeurs en mm par types de station sont les suivantes :

Type de station	*Quercus robur*	*Quercus petraea*
1000	1,76	absent
2100	absent	1,96
2200	1,96	1,49
2300	1,72	1,59
2400	1,75	1,78
3100	1,78	1,59
3200	1,75	1,60
3300	absent	1,44
3400	1,67	1,65

A part un maximum dans les stations les plus riches et un minimum dans les milieux hygro-acidophiles, les performances du chêne pédonculé restent relativement constantes. Celles du chêne sessile par contre sont beaucoup plus variables. Son maximum se place dans les hêtraies calcicoles. Les faibles valeurs obtenues dans les chênaies-frênaies calcicoles et les chênaies neutro-nitroclines sont à relier à l'engorgement excessif de ces stations.

Dans les stations à sol sableux du *Quercion*, l'hydromorphie par contre augmente l'accroissement moyen du chêne sessile .

type de station	3200	3300
variante sèche	1,53	1,28
variante fraîche	1,63	1,63

De même, pour le chêne pédonculé, l'accroissement moyen est supérieur dans les variantes à tendance hygrophile du *Carpinion.*

type de station	2200	2300
variante type	1,88	1,65
variante à tendance hygrophile	2,29	1,80

Le chêne sessile a des performances supérieures au chêne pédonculé dans deux cas :

- dans les variantes sèches du *Quercion*,
- dans la variante fraîche des chênaies neutrophiles (type de station n°2400).

Frêne.

L'accroissement moyen est plus élevé dans les variantes fraîches du *Carpinion* (types de station n°2220 et 2320), en moyenne 2,04 mm, que dans les stations types (n°2210 et 2310), en moyenne 1,61 mm.

Globalement, on constate donc pour toutes les essences une liaison positive de l'accroissement moyen annuel avec la richesse du milieu et son alimentation en eau. Mais ce critère de production est délicat à interpréter car il dépend beaucoup des interventions culturales qui varient selon la gestion.

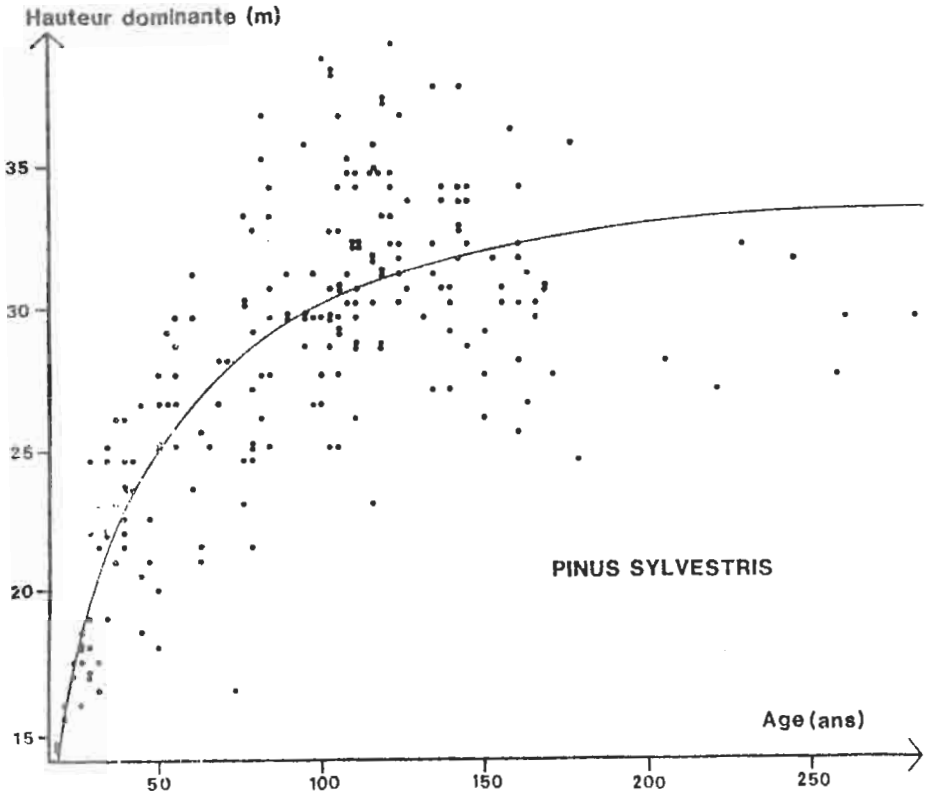
832. Hauteur dominante.

8321. Méthode de calcul.

La hauteur dominante des arbres de futaie à un âge donné sur une station donnée est un bon indicateur de la productivité de la station. Or, à partir d'un certain âge (130 à 150 ans pour le chêne et le hêtre), les arbres, s'ils continuent à croître en diamètre, ne poussent pratiquement plus en hauteur. On peut alors prendre directement la hauteur dominante comme indice de fertilité de la station. Pour les arbres plus jeunes, il faut par contre corriger la hauteur en fonction de l'âge. La construction de courbes hauteur/âge est donc la première étape de l'étude des liaisons station - production. On trouvera celles-ci figure 23.

La courbe moyenne qui y est représentée a été obtenue par ajustement non linéaire au modèle de croissance de F.X. SCHUMACHER (1939), classiquement utilisé :

$$Ho = Hmax.\exp(b/A^k)$$



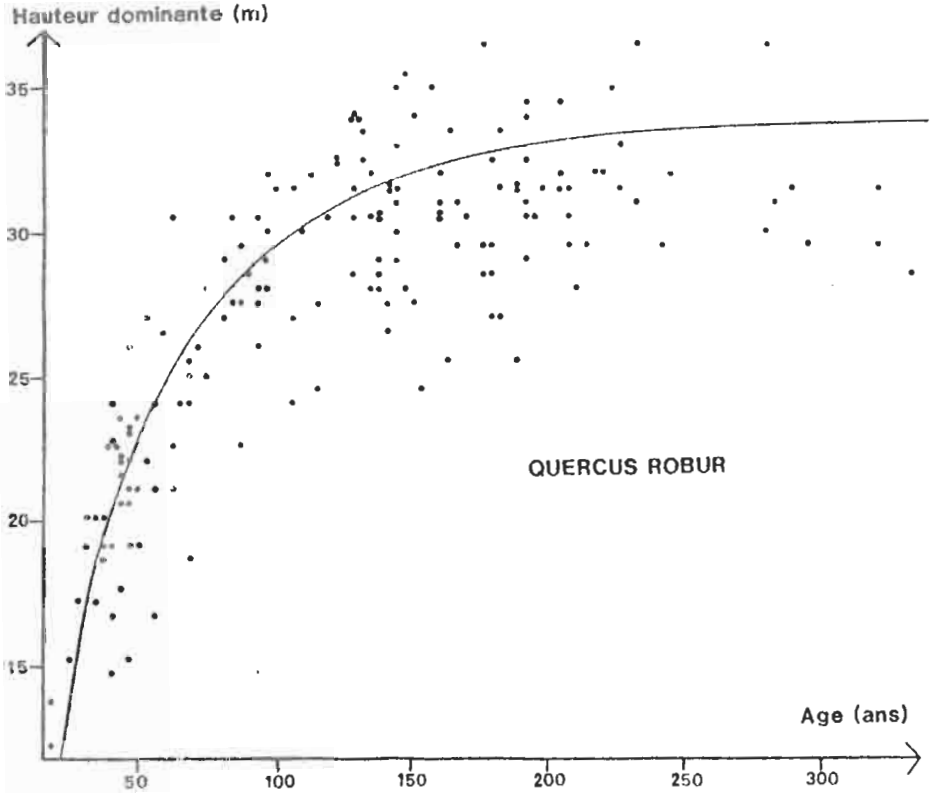
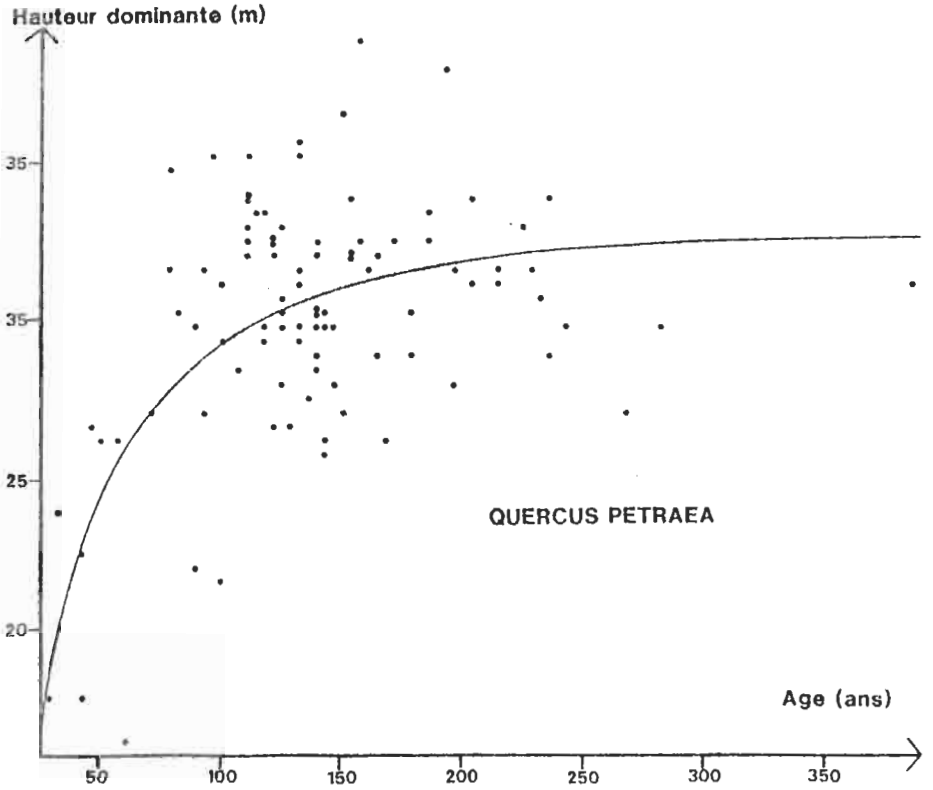


FIGURE 23a. **HAUTEURS DOMINANTES EN FONCTION DE L'AGE**



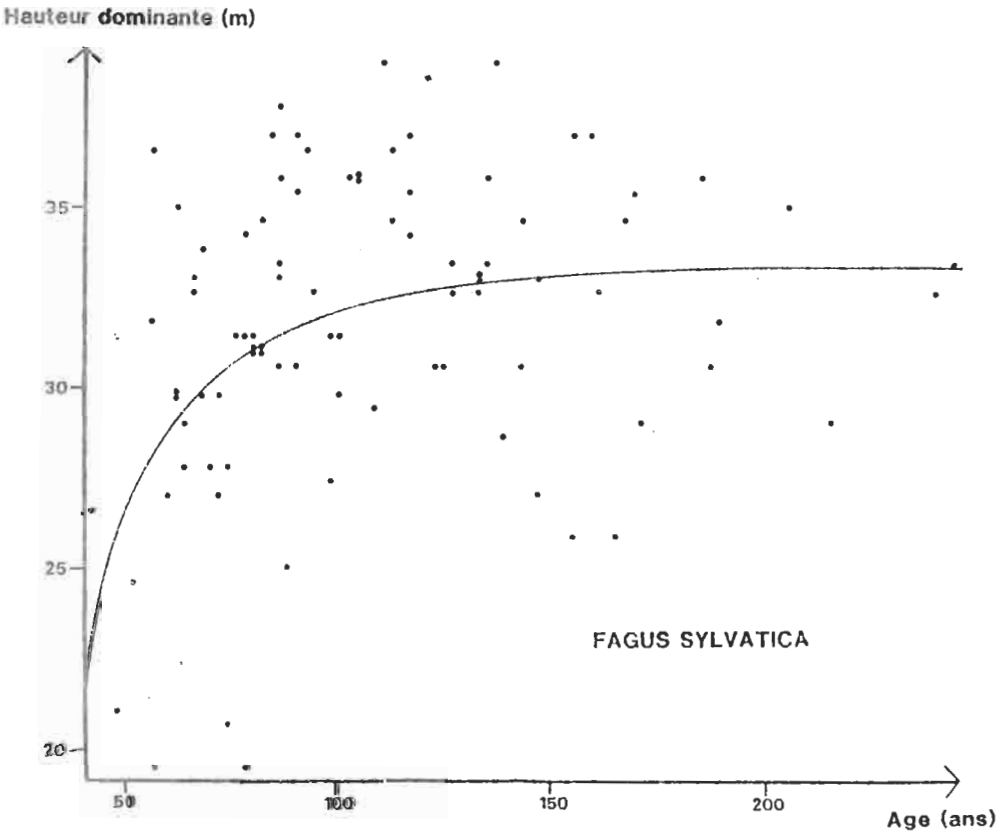


FIGURE 23b. HAUTEURS DOMINANTES EN FONCTION DE L'AGE

Ho : hauteur dominante

Hmax : paramètre représentant la hauteur théorique à un âge "infini"

b, k : paramètres du modèle

A : âge

Les valeurs des paramètres obtenues pour les différentes essences sont les suivantes (le frêne, trop peu représenté, n'était pas susceptible d'un tel traitement) :

	Hmax (m)	b	k
Pinus sylvestris	35,7	-21,7	1,05
Quercus robur	37,7	-14,4	0,85
Quercus petraea	33,8	-35,4	1,19
Fagus sylvatica	33,6	-37,6	2,46

Ces valeurs sont cohérentes avec celles généralement observées (D. ALDER, 1980), sauf pour le hêtre où k dépasse la valeur seuil habituelle de 2. La courbe obtenue est en effet moins bien ajustée que les autres, en raison de la présence de points atypiques, qui correspondent sans doute à des individus d'anciens taillis-sous-futaie, que nous avons par la suite éliminés de l'étude.

Une fois cette courbe moyenne déterminée, on peut calculer pour chaque arbre la hauteur à un âge de référence choisi au préalable, en traçant la courbe homothétique de la courbe moyenne et passant par le point représentatif de cet arbre. On lit alors sur cette courbe la hauteur à l'âge de référence.

Nous avons ainsi choisi comme **indice de fertilité** ("site index" en anglais) la hauteur dominante à l'âge de 128 ans pour le pin sylvestre, de 192 ans pour les deux espèces de chênes, ce qui correspond à l'âge d'exploitabilité de ces essences fixé par l'aménagement, et de 120 ans pour le hêtre.

L'ensemble de ces calculs a été réalisé sur micro-ordinateur, outil parfaitement adapté à ce type d'études dendrométriques.

Cet indice de fertilité peut être alors étudié selon le type de station. C. MILLIER (1973) souligne, à propos de la méthodologie mathématique de l'étude des liaisons station-production, la clarté des résultats obtenus lorsque les données concernant la productivité sont introduites dans l'analyse factorielle des données floristiques. Nous avons donc divisé cet indice de fertilité en dix classes (cf.Annexe V),qui ont été introduites dans les analyses factorielles en variables supplémentaires. Dans la plupart des cas, il existe en effet une bonne corrélation de ces variables dendrométriques supplémentaires avec les axes floristiques, comme on peut le constater à la figure 24.

8322. Résultats.

Pin sylvestre.

La hauteur dominante à 128 ans est de 31,5 m en moyenne. Elle peut atteindre théoriquement 40,5 m mais le maximum que nous ayons observé est de 39,5 m.

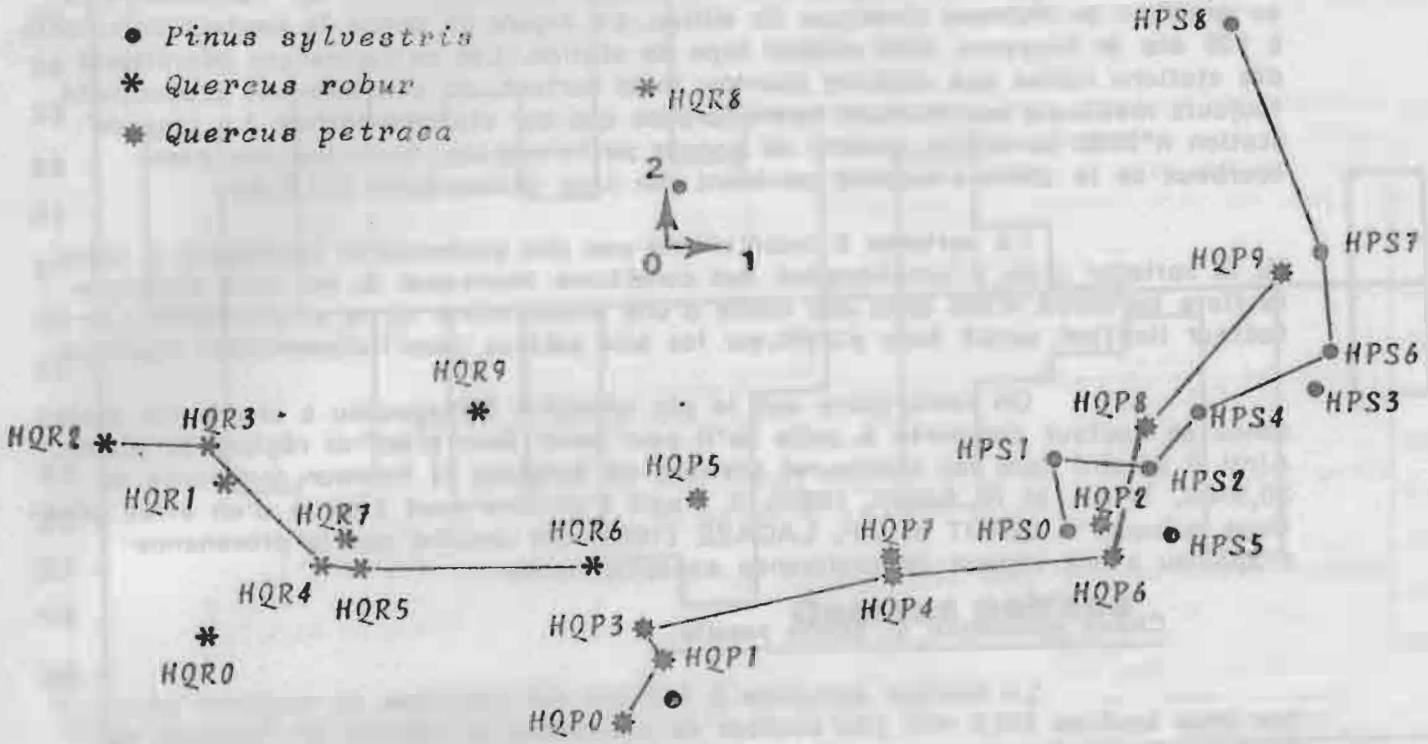


Figure 24a: Classes des hauteurs dominantes en projection sur le plan des axes 1 et 2 de l'AFC globale.

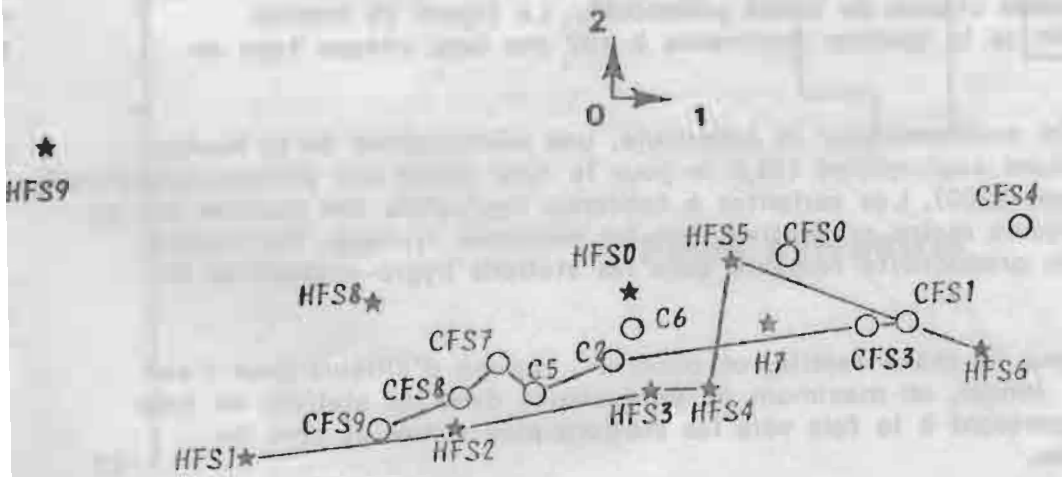


Figure 24b: Classes des hauteurs dominantes et du couple de torsion du hêtre projetées en variables supplémentaires dans l'AFC globale.

★ Hauteur dominante à 120 ans

○ Couple de torsion

La figure 24a montre que le pin sylvestre prend le relais du chêne sessile dans les stations les plus pauvres, et que sa productivité est fortement liée au gradient de richesse chimique du milieu. La figure 25 donne la hauteur dominante à 128 ans en moyenne dans chaque type de station. Les performances décroissent des stations riches aux stations pauvres, mais surtout, on constate une productivité toujours meilleure sur stations hydromorphes que sur stations sèches. Le type de station n°3400 lui-même montre de bonnes performances. Seuls les sols para-tourbeux de la chênaie-boulaie semblent par trop défavorables (25,5 m).

La variante à robinier n'a pas une productivité supérieure a celle de la variante type. L'amélioration des conditions chimiques du sol dont témoigne la flore herbacée n'est donc pas suivie d'une amélioration de la productivité. Le facteur limitant serait donc plutôt, sur les sols sableux secs, l'alimentation hydrique.

On remarquera que le pin sylvestre à Haguenau a une bonne croissance en hauteur comparée à celle qu'il peut avoir dans d'autres régions de plaine. Ainsi il atteint dans les meilleures stations de Belgique la hauteur dominante de 30,3m (A. THILL et R. PALM, 1983). Il s'agit d'ailleurs peut être là d'un effet génétique puisque Y. BIROT et J.F. LACAZE (1981) ont montré que la provenance Haguenau a une vigueur de croissance exceptionnelle.

Chêne pédonculé et chêne sessile.

La hauteur moyenne à 192 ans est identique en moyenne pour les deux espèces (32,0 m). Les courbes de croissance en hauteur en fonction de l'âge sont elles aussi identiques. Pour les deux essences, accroissement moyen annuel sur le rayon et hauteur à 192 ans sont corrélées significativement au seuil de 1°/$_{oo}$.

La figure 24a montre la répartition des dix classes de la hauteur à 192 ans sur le plan factoriel des axes 1 et 2 de l'AFC globale. On observe une forte liaison de la productivité, pour les deux espèces, avec l'axe 1. Mais on constate surtout que les meilleures classes de productivité du chêne sessile correspondent aux moins bonnes classes du chêne pédonculé. La figure 25 montre les valeurs moyennes de la hauteur dominante à 192 ans dans chaque type de station.

On constate, pour le pédonculé, une décroissance de la hauteur dominante des stations neutrophiles (33,2 m pour le type 2200) aux stations acidophiles (29,2 m pour le type 3200). Les variantes à tendance hygrophile des stations du *Carpinion* sont toujours moins productives que les variantes typiques. Par contre, en milieu pauvre, la productivité remonte dans les stations hygro-acidophiles du type 3400.

Pour le chêne sessile, on observe, comme d'ailleurs pour l'accroissement moyen annuel, un maximum de productivité dans les stations de type 2400 (34,4 m), décroissant à la fois vers les stations plus riches et vers les stations plus pauvres.

On remarquera enfin que dès le type de station 2420, la productivité du chêne sessile dépasse celle du chêne pédonculé. Dans ces stations hydromorphes à sols de type pseudogley, l'assèchement estival important lié à un enracinement sans doute plus superficiel (M. BELGRAND, 1983) explique très probablement cette supériorité du chêne sessile.

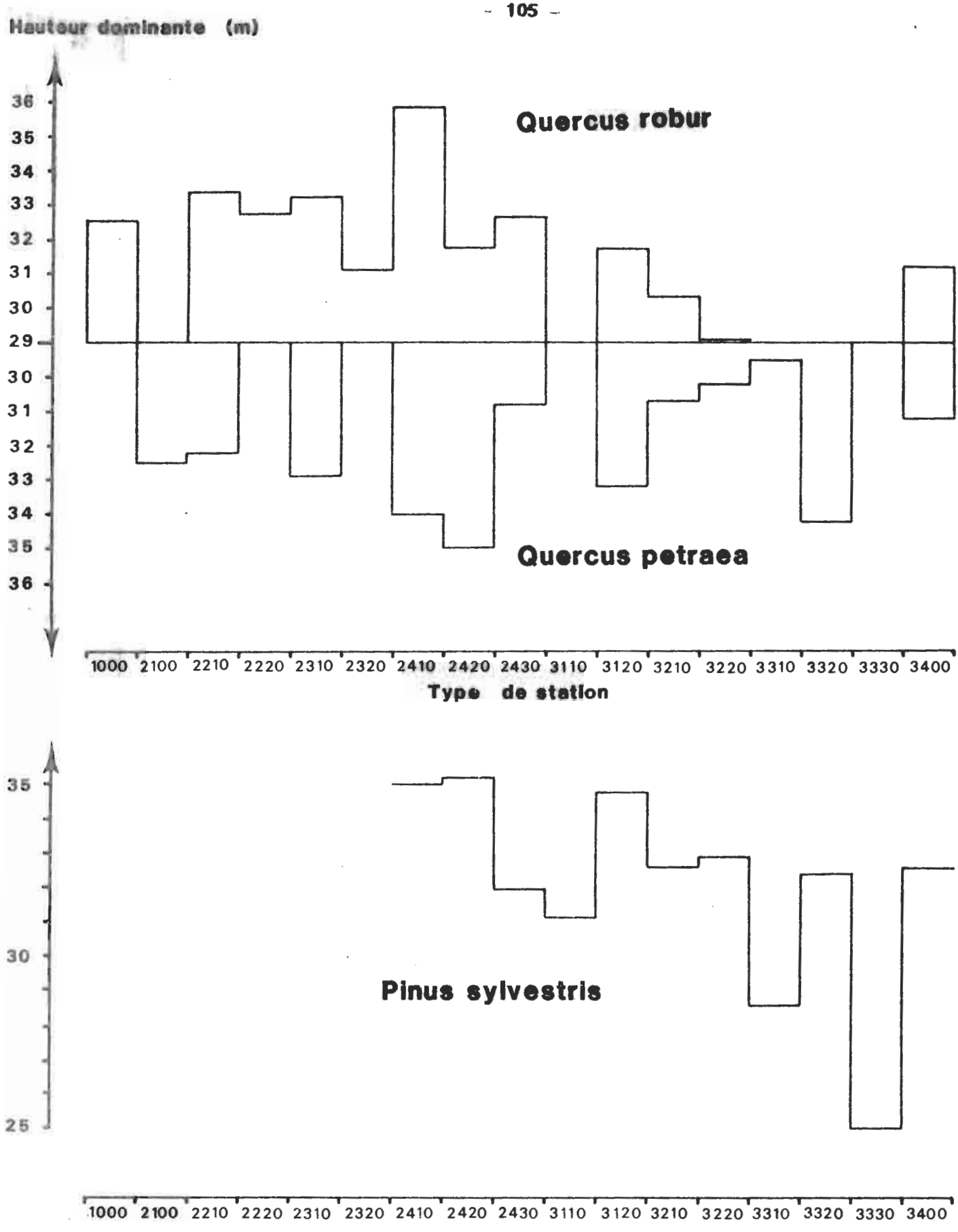
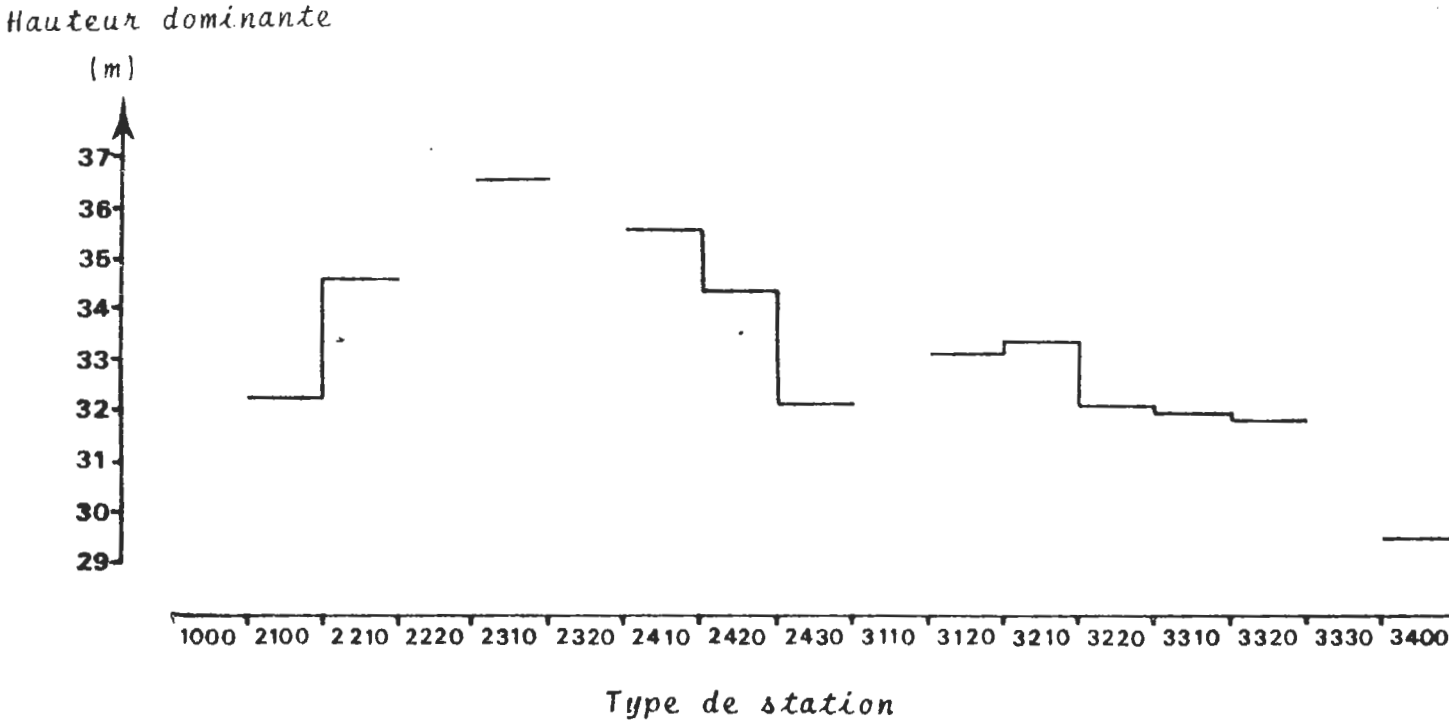


Figure 25

HAUTEURS DOMINANTES PAR TYPES DE STATION

Figure 26: Moyennes des hauteurs dominantes du hêtre par types de station.



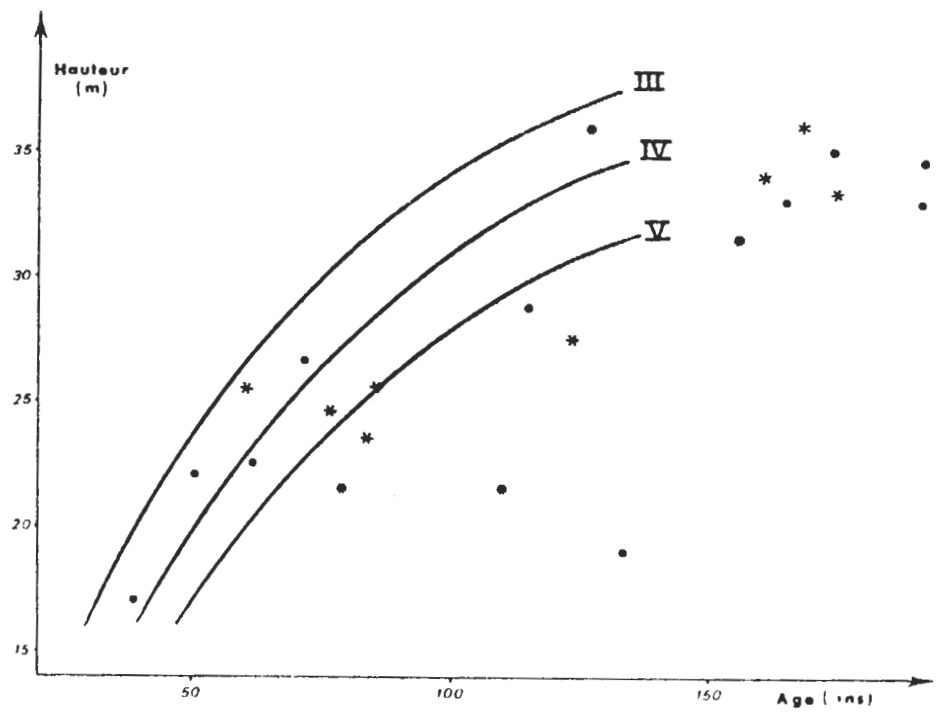


Figure 27: Hauteur du frêne en fonction de l'âge. Courbes de croissance d'après P.NICOT (1983).

- *type de station n°1000*
- *type de station n°2200*
- *type de station n°2300*

Hêtre.

La figure 24b montre le comportement global en AFC de la hauteur dominante à 120 ans et la figure 26 les moyennes obtenues par station. La hauteur dominante est de 32,9 m en moyenne à 120 ans.

Le hêtre montre nettement une meilleure productivité dans les stations mieux drainées. Les performances augmentent du *Quercion* vers le *Carpinion*, mais les stations de chênaies-frênaies du type 2200, bien que très riches, sont trop engorgées pour assurer une bonne productivité. On observe donc un comportement analogue à celui du chêne sessile.

Frêne.

Nous avons utilisé les courbes de croissance pour le frêne en Alsace de P. NICOT (1983).

On constate (figure 27) que le frêne de Haguenau a des performances faibles par rapport au reste de la plaine d'Alsace.

En *Alno-Padion*, les performances sont les plus basses (presque toujours en classe V).

En station de type 2200, les performances sont les meilleures, avec des arbres de classe III ou IV, rarement V.

En station de type 2300, les performances sont moyennes, avec des arbres de classe le plus souvent IV ou V, rarement III.

84. Relations stations - qualité du bois.

Elles ont été étudiées par l'intermédiaire du couple de torsion ("dureté" du bois), et, pour les chênes, de l'infradensité.

Le tableau XIV montre la très forte corrélation du couple de torsion et de la densité du bois avec l'âge de l'arbre, beaucoup plus qu'avec l'accroissement moyen annuel sur le rayon, pour tous les feuillus. Ce résultat important vient confirmer une hypothèse antérieure de H. POLGE et R. KELLER (1973) pour le chêne sessile. La baisse du couple de torsion ou de la densité est encore sensible dans le grand âge (fig.28) et on ne peut donc pas comparer des arbres d'âges différents sans correction préalable.

Pour le pin sylvestre par contre, il y a indépendance des deux variables.

Pin sylvestre.

Le couple de torsion, de 167 kg.cm en moyenne, semble peu lié au type de station. Tout au plus peut-on déceler deux tendances :

- une augmentation de la dureté du bois dans les stations les plus acides (le couple moyen est de 157 kg.cm dans les stations 2400 et 3100, et de 170 kg.cm dans les stations 3200 et 3300).

	Couple de torsion (kg.cm)	Corrélations			Densité	Corrélations		
		Age	Diamètre	Accroissement moyen annuel		Age	Diamètre	Accroissement moyen annuel
Pinus sylvestris	167	$+0,029^{NS}$	$+0,052^{NS}$	$-0,108^{NS}$	/	/	/	/
Quercus robur	157	$-0,532^{**}$	$-0,517^{**}$	$+0,301^{**}$	0,512	$-0,747^{**}$	$-0,761^{**}$	$+0,399^{**}$
Quercus petraea	169	$-0,398^{**}$	$-0,328^{**}$	$+0,197^{NS}$	0,533	$-0,695^{**}$	$-0,498^{**}$	$+0,399^{**}$
Fagus sylvatica	220	$-0,344^{*}$	$-0,036^{NS}$	$+0,150^{NS}$	/	/	/	/
Fraxinus excelsior	162	$-0,554^{*}$	$-0,500^{*}$	$+0,202^{NS}$	/	/	/	/

Tableau XIV. Valeurs moyennes du couple de torsion et de la densité.

	Accroissement moyen dans l'aubier (mm/an)	Nombre d'années d'aubier	Largeur d'aubier (mm)	Surface d'aubier (cm^2)	Surface d'aubier / surface tronc (%)	Corrélations		
						Age aubier -âge de l'arbre	Surface d'aubier / surface tronc -âge de l'arbre	Surface d'aubier -hauteur à l'âge de référence
Pinus sylvestris	2,0	52,5	91	874	70	$+0,793^{***}$	$+0,793^{***}$	$+0,248^{***}$
Quercus robur	2,0	14,5	27	429	23	$+0,394^{***}$	$+0,671^{***}$	$+0,253^{**}$
Quercus petraea	2,0	16,8	33	525	25	$+0,271^{**}$	$+0,311^{***}$	$+0,143^{NS}$

Tableau XV. Caractéristiques de l'aubier.

	Surface d'aubier -Accroissement moyen annuel sur le rayon à l'âge de référence
Pinus sylvestris	$+0,436^{***}$
Quercus robur	$+0,559^{***}$
Quercus petraea	$+0,559^{***}$

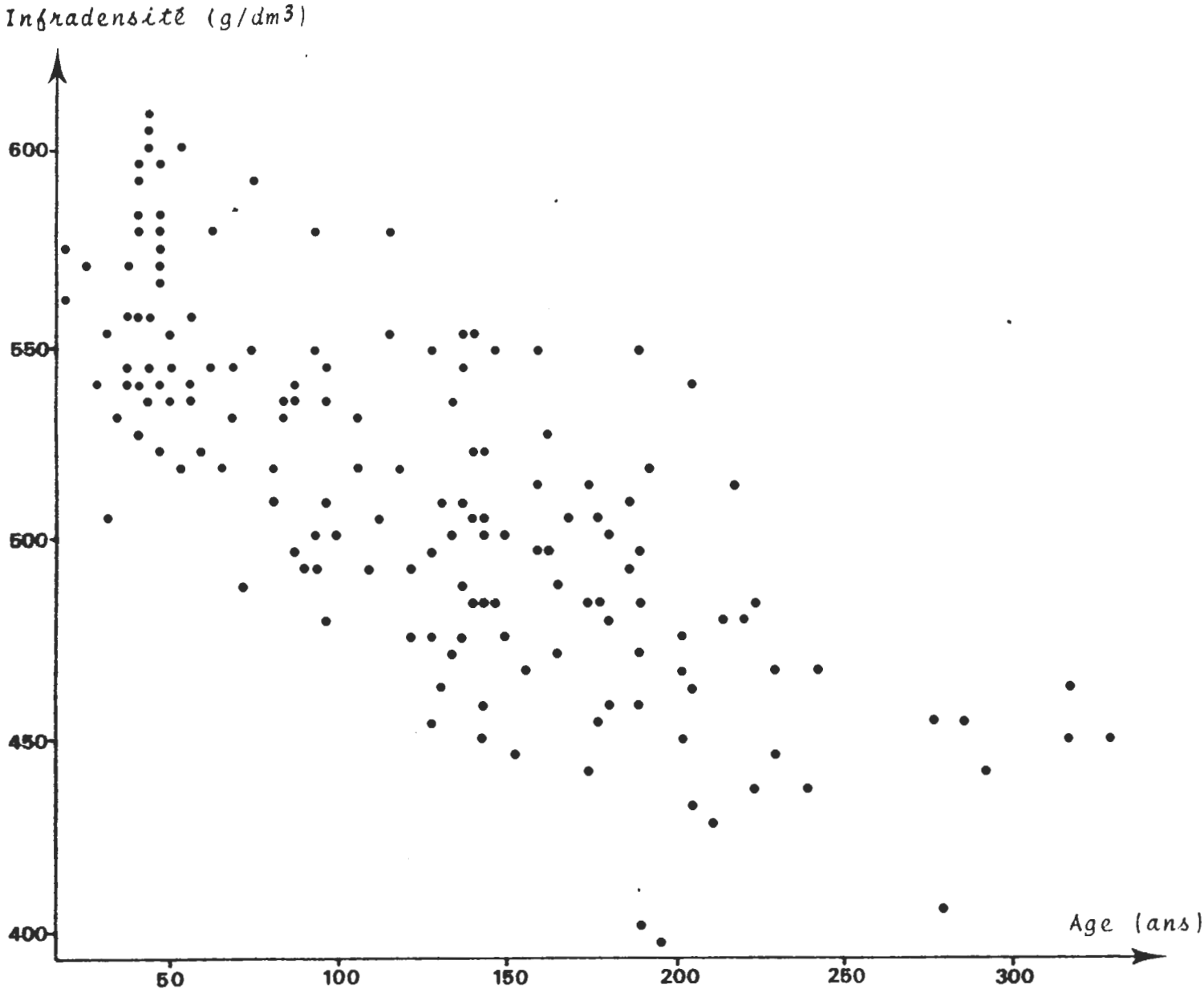


Figure 28: Infradensité du chêne pédonculé en fonction de l'âge.

- une augmentation de la dureté dans les stations sèches. Celle-ci n'est sensible que dans les stations 3100 et 3200 où l'on observe un couple de 173 kg.cm en moyenne dans les stations sèches et de 162 kg.cm dans leurs variantes fraîches .

T. GRZECZINSKI et S. SPLAWA-NEYMAN (1980), étudiant diverses caractéristiques technologiques du pin sylvestre, observent des densités égales sur des stations de fertilités différentes, sauf dans le très jeune âge (inférieur à 20 ans). Par contre, de nombreux caractères anatomiques du bois sont très liés à la fertilité de la station.

Chêne.

Le chêne sessile a un couple et une densité nettement plus élevés que ceux du chêne pédonculé en moyenne.

La corrélation couple-densité est forte (0,614 pour le chêne pédonculé et 0,467 pour le chêne sessile), confirmant s'il en était encore besoin la validité du couple de torsion comme indicateur de la "dureté" du bois.

Les figures 29a et b montrent les valeurs moyennes de la densité par types de station.

La densité du bois s'accroît dans le *Quercion* par rapport au *Carpinion* (différences significatives au seuil de 5 %) :

	Quercus robur	*Quercus petraea*
Carpinion	0,511	0,526
Quercion	0,529	0,546

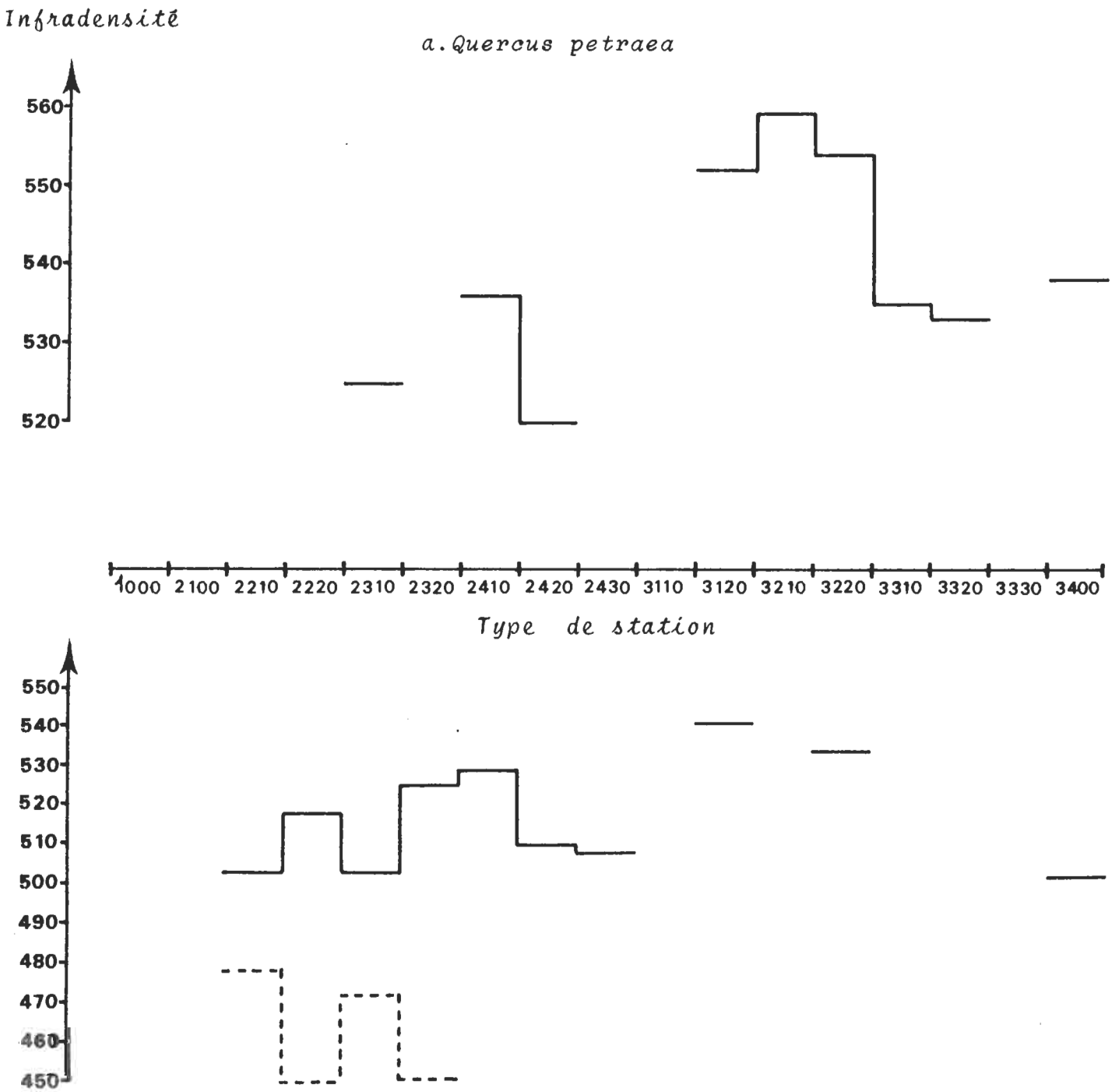
Pour les deux espèces, la densité est inférieure dans les variantes fraîches des types de station 2400, 3200 et 3300 par rapport aux variantes sèches. De même, dans les stations hygro-acidophiles de type 3400, elle est peu élevée. Cependant, pour le chêne pédonculé, la densité est plus élevée en moyenne dans les variantes à tendance hygrophile des types de station 2200 et 2300. Mais l'âge moyen des arbres inventoriés est significativement inférieur dans ces variantes humides. En ramenant la densité observée à celle que les arbres avaient ou auront à 192 ans, on obtient les valeurs figurées en pointillé à la figure 29b. On constate alors qu'il y a aussi diminution de la densité dans les variantes à tendance hygrophile du *Carpinion*.

La plus grande dureté du bois du chêne sessile par rapport au pédonculé, à station égale, avait déjà été mise en évidence par M. BECKER (1979). Par contre, ce même auteur avait observé une augmentation de la dureté du bois des stations sèches aux stations fraîches et des stations pauvres aux stations riches de la forêt de Haye. J.M. MOUREY (1979) observe lui des tendances semblables aux nôtres.

Hêtre.

La figure 24b montre que, globalement, le couple de torsion suit une variation inverse à celle de la productivité ; il diminue des stations les plus riches aux plus pauvres (233 kg.cm en station 2310, 203 kg.cm en station 3320). Ce résultat vient confirmer les observations antérieures sur la liaison positive entre la densité du bois de hêtre et la fertilité des stations, faites par R. KELLER et al. (1976) et M. BECKER (1979) sur les plateaux calcaires de Lorraine.

Figure 29: Infradensité moyenne par types de station.



b. Quercus robur (en pointillés: valeurs ramenées à l'âge de 192 ans).

85. Relations stations-surface d'aubier.

Les proportions relatives de bois parfait et d'aubier constituent un autre élément important pour l'appréciation d'une essence. La zone d'aubier est en effet purgée pour de nombreux usages du bois. Elle constitue autant d'années perdues ou dévalorisées pour le sylviculteur. C'est d'autre part un paramètre physiologique qui intervient directement dans la croissance de l'arbre.

Or, si l'on a déjà mis en évidence des relationsétroites entre aubier et sylviculture (A. GRANIER, 1981), les liaisons stations - caractéristiques de l'aubier ont été peu étudiées. Récemment, J. PIOVARCI (1982) montre la très forte liaison, chez *Larix decidua* , entre proportion de bois d'aubier et nature du substrat.

Quelques caractéristiques moyennes de l'aubier sont présentées au tableau XV. Le pin sylvestre a un aubier très large par rapport aux chênes. Le chêne sessile a un aubier significativement plus important que le chêne pédonculé. Toutes ces différences sont dues au nombre d'années d'aubier et non à l'accroissement moyen qui est identique pour les trois essences. La comparaison des tableaux XV et XVI montre de plus que si le chêne sessile a des accroissements moyens sur le rayon et dans l'aubier identiques (2,0 mm/an), le chêne pédonculé par contre a subi dans les quinze dernières années une diminution sensible de l'accroissement moyen annuel puisque celui-ci passe de 2,3 mm/an sur le rayon à 2,0 mm/an dans l'aubier. Peut-être faut-il voir là l'impact de la sécheresse de 1976.

On remarque qu'il existe une liaison significative entre la surface d'aubier et la vigueur. Ce résultat est cohérent avec la mise en évidence, pour le pin sylvestre, d'une très forte corrélation entre surface d'aubier et masse foliaire (D. WHITEHEAD, 1978).

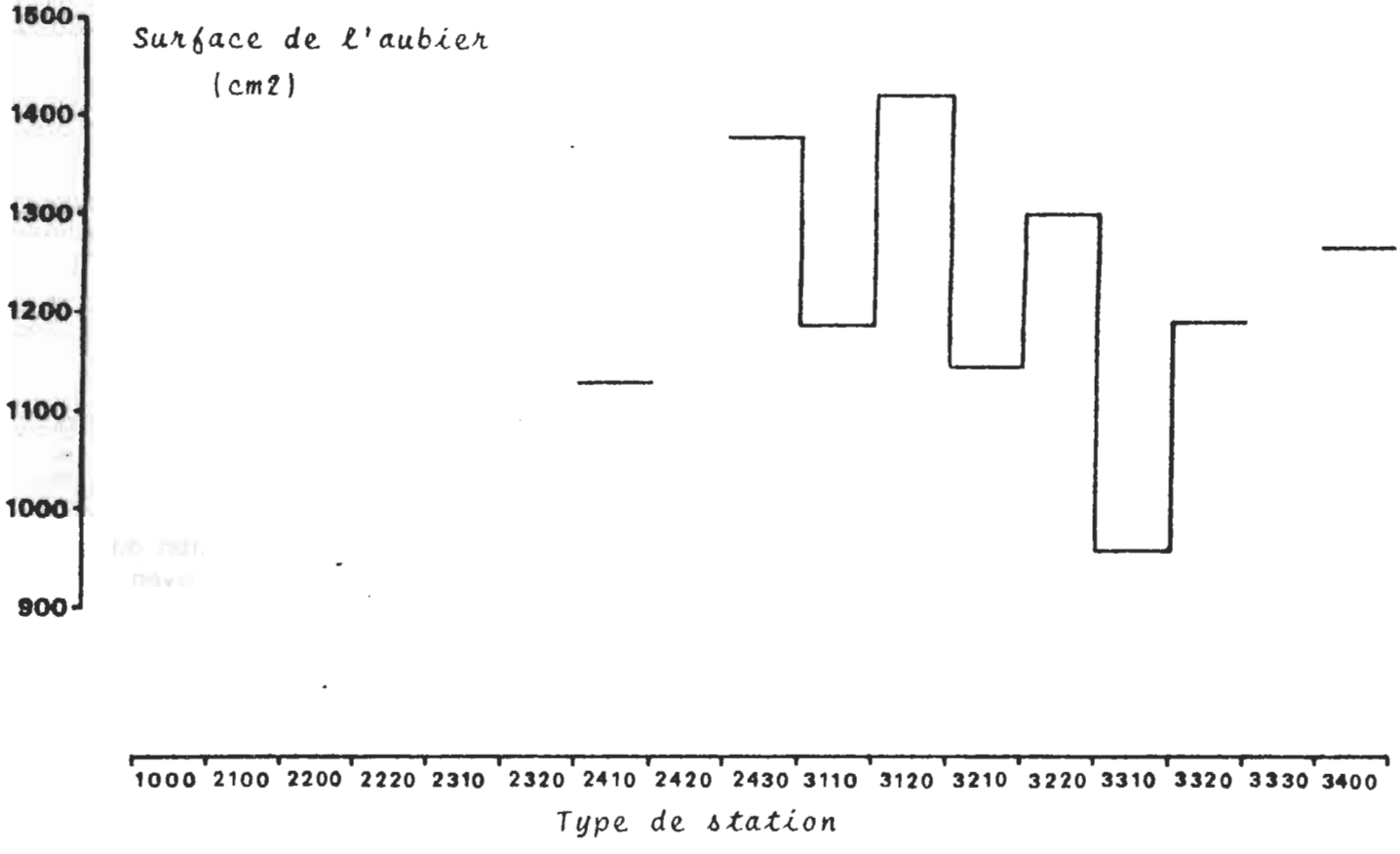
Enfin, comme toutes les variables précédentes, les données relatives à l'aubier sont corrélées à l'âge de l'arbre. Nous les avons ramenées, pour le pin sylvestre, à l'âge de 128 ans après correction linéaire.

La figure 30 montre la variation de la surface de l'aubier à 128 ans dans les différentes stations. On note une diminution de la surface de l'aubier dans les stations plus acides :

Type de station	Surface d'aubier (cm^2)
3100	1322
3200	1245
3300	1105

Comme précédemment pour la productivité du pin, la surface de l'aubier varie surtout en fonction du degré d'hydromorphie : elle augmente dans les stations plus humides.

Figure 30: Surface de l'aubier du pin sylvestre à 128 ans en fonction du type de station.



	Quercus robur	*Quercus petraea*	Seuil de signification de la différence
Accroissement moyen annuel sur le rayon (mm)	2,31	2,04	* *
Hauteur à 192 ans (m)	32,0	32,0	NS
Couple de torsion (kg-cm)	157	169	* *
Infradensité	0,512	0,533	* * *
Age aubier	14,5	16,8	*
Largeur aubier (mm)	27	33	* *
Surface aubier (cm^2)	429	525	* *

Tableau XVI. Comparaison chêne pédonculé - chêne sessile

86. Discussion - conclusion.

Globalement, la croissance, tant en hauteur qu'en diamètre, est liée positivement à la richesse chimique du milieu pour le chêne pédonculé, le chêne sessile, le hêtre et le frêne. Pour le pin sylvestre, l'alimentation hydrique intervient comme le facteur limitant dans les stations sableuses. Le chêne sessile et le hêtre montrent d'autre part une baisse de la productivité dans les stations les plus engorgées.

Chêne pédonculé et chêne sessile ont des comportements très différents. Leurs caractéristiques globales, toutes stations confondues, sont récapitulées au tableau XVI. Dans les types de station où ils se rencontrent tous deux, le chêne sessile a une hauteur supérieure à celle du chêne pédonculé et un bois plus dur. Il est intéressant de noter une opposition entre les classements par station du chêne sessile et du chêne pédonculé selon qu'on se base sur l'accroissement moyen annuel ou sur la hauteur dominante. Ainsi dans les types de station 3100 à 3400, le chêne pédonculé a un accroissement moyen annuel supérieur à celui du chêne sessile, mais une hauteur dominante inférieure. Cette disjonction peut avoir plusieurs origines : indépendance réelle de ces deux caractères, sylviculture différente pour chacune des deux essences (plus faible densité des peuplements de chêne pédonculé en particulier), trop grande dépendance de l'accroissement moyen annuel vis-à-vis d'autres facteurs que stationnels.

Mais, et c'est là un point essentiel à prendre en compte pour les futures études station - production, la variabilité stationnelle des caractéristiques sylvicoles peut être complètement masquée par la variabilité entre individus ou entre stations d'un même type de station.

Au niveau individuel, cette variabilité peut être due :

- à l'âge tout d'abord dont nous avons montré tout au long de ce chapitre le rôle primordial dans la détermination de toutes les caractéristiques étudiées : accroissement annuel, couple de torsion, densité, surface d'aubier...

- à la variabilité génétique ; l'existence de plusieurs provenances de pin sylvestre à Haguenau, correspondant à autant de taxons infraspécifiques, vient certainement brouiller les différences stationnelles. De plus des îlots génétiques se forment dans les populations naturelles (cercles de consanguinité) dont l'impact sur la formation du rendement est inconnu.

Au niveau stationnel, la variabilité est liée aux particularités écologiques de chaque station. Il serait nécessaire en particulier de disposer d'un échantillonnage suffisant pour pouvoir comparer la productivité dans les différents **faciès** de nos unités. Le **passé sylvicole** aussi peut varier dans chaque station. Il intervient exactement comme l'**itinéraire technique** en agronomie dans la détermination du rendement, mais on ne peut que difficilement le prendre en compte.

Par contre, dans des conditions de milieu homogènes, on peut atteindre une forte précision dans la détermination des potentialités sylvicoles. Ainsi si on isole des types de station n°2300 et 2400 les hêtraies sur sols limoneux de type lessivé acide, on observe une très bonne liaison entre degré de lessivage et productivité et dureté du bois de hêtre:

type de station	2300	2400
pH A_1	4,4	3,9
H (120 ans)	37,5	35,4
Couple	255	228

CHAPITRE IX

DIFFERENCIATION MORPHOLOGIQUE DU CHENE SESSILE (*Quercus petraea* (Matt.)Liebl.) ET DU CHENE PEDONCULE (*Quercus robur* L.)

91. Introduction.

La reconnaissance exacte des deux espèces de chênes est, nous venons de le voir au chapitre précédent, nécessaire au choix et à la mise en oeuvre d'une sylviculture efficace. Or, cette différenciation n'est pas encore réellement faite par beaucoup de forestiers de terrain.

Une raison souvent invoquée est la difficulté d'identification des deux espèces en raison de la présence d'"hybrides" supposés, arbres morphologiquement intermédiaires entre les types bien définis de chacune des deux espèces. Nous ne présentons pas ici le problème génétique sous-jacent à ces difficultés, exposé dans une précédente étude (J.L. DUPOUEY, 1983). Rappelons seulement que les deux espèces de chênes sont susceptibles d'hybridations expérimentalement montrées (B.S. RUSHTON, 1977), de même d'ailleurs qu'avec *Quercus pubescens* Willd., *Quercus pyrenaica* Willd.,*Quercus cerris* L....selon le recouvrement des aires respectives de ces espèces. Mais l'importance en conditions naturelles de ces phénomènes d'hybridation introgressive (c'est-à-dire avec croisement en retour des hybrides et des générations successives de parents), face à la variabilité naturelle dans l'expression de caractères morphologiques intermédiaires,est très controversée (revue par A.S. GARDINER 1970).

Notre but ici n'est pas tant d'apporter une réponse à ce problème que de montrer qu'à Haguenau, il est possible de bien séparer les deux espèces, sur le terrain et de façon simple.

92. Méthodologie.

921. Echantillonnage.

Les arbres étudiés ont été échantillonnés à l'automne 1982 au long de deux transects, situés dans une zone du massif de Haguenau connue pour la fréquence des "hybrides" supposés rencontrés par les forestiers (Gruendel, Rohrlach et Strohhubel). Ces deux transects (repérés en annexe II) relient des bas-fonds à marnes affleurantes, où le chêne pédonculé domine, à des hauts de pente à sable épais, où le chêne sessile prend le relais. La régénération naturelle y a été toujours pratiquée et on a donc bien affaire à une population d'individus susceptibles de se croiser.

47 chênes au total ont été choisi au hasard pour le prélèvement des échantillons, de façon à :

- couvrir l'ensemble du transect de la manière la plus homogène possible ;
- avoir un nombre suffisant égal d'individus de type sessile, pédonculé ou intermédiaires ;

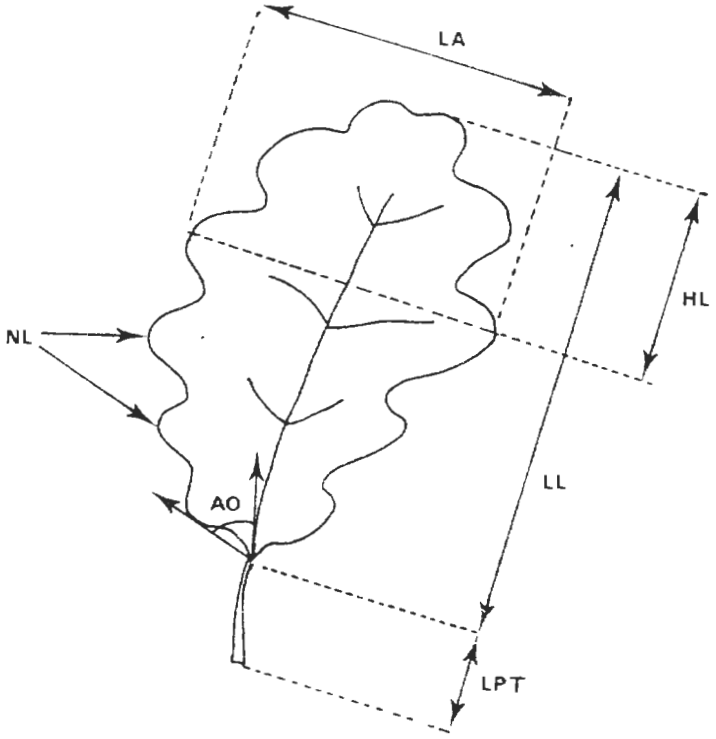


Figure 31: Caractères morphologiques étudiés.

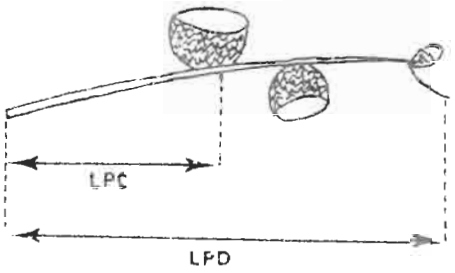
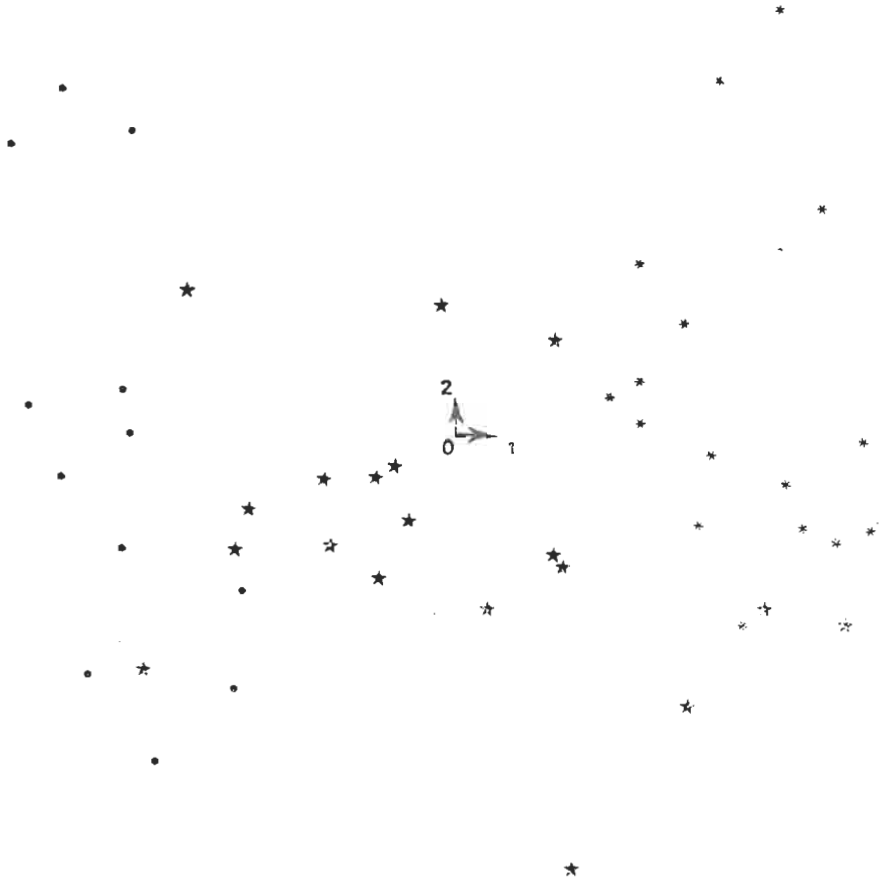


Figure 32: Plan des axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales.

* *Quercus robur*
• *Quercus petraea*
★ *forme intermédiaire*

} d'après détermination rapide sur le terrain



- éviter les chênes trop rapprochés ; en effet, les échantillons ayant été ramassés au sol, il fallait être sûr de leur provenance.

Ces conditions définissent un échantillonnage stratifié selon le milieu et l'appartenance taxonomique définie a priori.

Sous chaque arbre ont été prélevées feuilles et infructescences jusqu'à concurrence d'une vingtaine.

922. Caractères mesurés (fig.31)

Ce sont, pour les feuilles :

- la longueur totale (LT) et la longueur du limbe (LL),
- la longueur du pétiole (LPT),
- la largeur totale (LA),
- le nombre total de lobes (NL),
- l'angle des oreillettes (angle de la tangente au lobe le plus développé passant par le point de jonction du limbe au pétiole avec l'axe de la feuille (AO),
- la hauteur de la plus grande largeur (HL), depuis l'apex.

Pour les infrutescences, nous avons mesuré :

- la longueur totale du pédoncule (LPD)
- la longueur du pédoncule jusqu'à la première cupule (LPC)

De plus, nous avons introduit dans l'analyse un certain nombre de variables synthétiques obtenues par combinaison des précédentes, afin de tester leur intérêt éventuel. Ce sont, rapportées à la longueur totale du limbe, les variables LPT, LA (exentricité du limbe), NL et HL.

923. Méthode d'analyse.

Notre approche a été multiple. Nous voudrions d'ailleurs montrer ici qu'en taxonomie numérique, chaque méthode d'analyse des données apporte une information spécifique nécessaire à la compréhension globale. Citons pour mémoire les méthodes s'appuyant sur l'index d'hybridité ou les diagrammes de dispersion symboliques (métroglyphes), qui, précurseurs des analyses multivariables, n'ont plus actuellement de raisons d'être. Deux phases sont à distinguer.

9231. Phase descriptive.

Nous avons essayé de décrire, en fonction des caractères mesurés, le mode de distribution des arbres échantillonnés :

- une analyse en composantes principales sur les treize variables brutes nous a permis de hiérarchiser celles-ci selon leur corrélation avec le facteur "espèce",

- l'analyse factorielle des correspondances, après découpage en classes des cinq variables principales, montre les valeurs seuils des caractères liés à chacune des deux espèces.

- une classification valuée permet enfin de bien situer chaque arbre par rapport à l'ensemble valué "chêne sessile" et l'ensemble valué "chêne pédonculé".

Ayant ainsi défini des noyaux typiques, on peut alors passer à la seconde phase.

9232. Phase décisionnelle.

Une analyse discriminante permet de rattacher chaque arbre à l'une ou l'autre des deux espèces.

93. Résultats

Le diagramme des axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales (fig.32) montre que les arbres se répartissent parfaitement au long du premier axe en fonction de leur appartenance à l'une ou l'autre des espèces. Le tableau suivant donne la liste des variables bien corrélées ($R>0,5$) avec cet axe "espèce".

Tableau XVII . Corrélation des variables avec l'axe 1 de l'ACP globale.

variables	corrélation sur l'axe 1
LPT	0,96
LPT/LT	0,94
LPT/LL	0,93
LPD	-0,91
LPC	-0,91
NL	0,90
NL/LL	0,61
LT	0,73
LL	0,53
A O'	-0,68
HL	0,53

Le second facteur de l'analyse correspond aux variations de la forme des feuilles (largeur, longueur, hauteur de la plus grande largeur, exentricité...).

Il est difficile à ce stade de situer une coupure éventuelle dans la population étudiée. Mais on peut hiérarchiser les caractères et retenir les plus importants :

- longueur du pétiole
- longueur totale du pédoncule
- nombre de lobes
- angle des oreillettes
- hauteur de la plus grande largeur

Les caractères mis en évidence sont classiquement cités dans la littérature. On remarque que les variables synthétiques n'apportent rien par rapport aux données brutes.

La longueur totale de la feuille (et, corrélativement, la longueur du limbe) a été éliminée bien que paraissant mieux liée à l'espèce que, par exemple, la hauteur de la plus grande largeur. Il s'agit sans doute là d'une particularité de notre échantillon, puisque nous n'avons jamais vu mentionner par ailleurs ce caractère discriminant les deux espèces. Nous l'avons écarté de crainte de rendre notre étude peu applicable à d'autres populations du massif. Mais il faudrait ultérieurement essayer de confirmer ou d'infirmer cette tendance par l'étude d'autres populations.

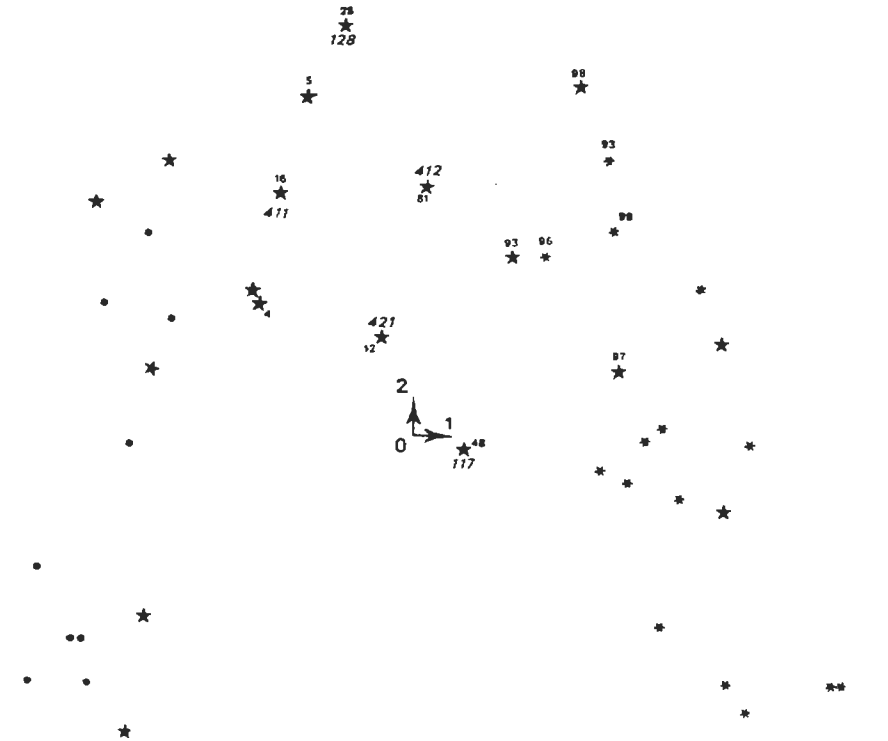
Sur la base de leur variabilité totale, nous avons divisé chacune de ces cinq variables en six classes et avons analysé le tableau des 47 individus croisés avec les (5x6) variables en analyse factorielle des correspondances

Les axes 1 et 2 sont liés par un fort effet Guttman (J. BACHACOU, 1973) et prennent en compte une très large part de la variabilité totale (25 %). La variation d'une espèce à l'autre s'exprime ainsi le long d'une parabole (fig.33). On constate l'apparition d'une discontinuité autour des individus 412 et 421. L'individu 117, d'ailleurs repéré comme le seul "hybride typique" lors de l'échantillonnage, se situe entre les deux branches de la parabole, montrant ainsi ses caractères morphologiques opposés, de type à la fois sessile (pétiole de 12 mm, pédoncule de 21 mm) ou pédonculé (10 lobes foliaires, angle des oreillettes de 144°).

Le diagramme des caractères permet, par la division en classes des cinq caractères étudiés, de préciser les valeurs seuils séparant les deux espèces (fig.34). Ce sont, pour le sessile, une longueur de pétiole supérieure à 11 mm, un angle des oreillettes inférieur à 105°, un nombre de lobes supérieur à 11, une longueur de pédoncule inférieure à 35 mm et une hauteur de la plus grande largeur supérieure à 3 5 mm (cf.annexe V).

La classification valuée (voir chapitre IV) permet de rattacher la presque totalité des arbres étudiés à l'une ou l'autre des espèces (fig.33). Ne subsistent que cinq arbres plus ou moins intermédiaires car appartenant pour 81 - 19 %, 48 - 52 %, 25 - 75 %, 16 - 84 % et 12 - 88 % au binôme *Quercus robur* - *Quercus petraea* . La classification permet ainsi d'identifier 20 individus de type sessile, 22 individus de type pédonculé (constituant les deux noyaux de la classification valuée), 3 individus liés au type sessile, 1 individu lié au type pédonlé et 1 individu intermédiaire.

Figure 33: Plan des axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances. Individus.



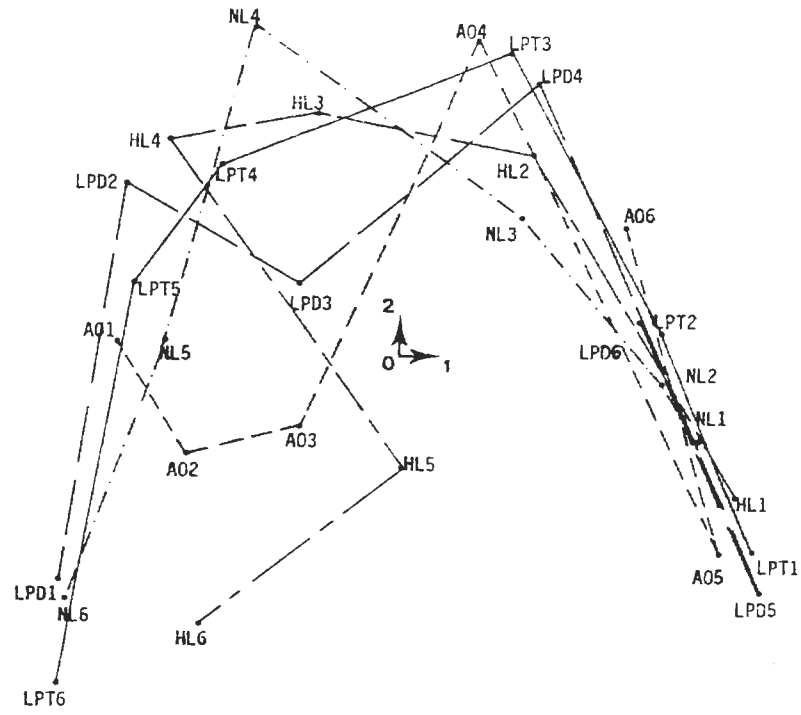


Figure 34: Plan des axes 1 et 2 de l'AFC. Variables (les limites des classes sont données à l'annexe V).

La connaissance de ces noyaux rend alors possible la dernière phase, décisionnelle. On cherche (c'est le rôle de l'analyse discriminante), la combinaison de variables séparant au mieux les deux ensembles. La figure 35a montre le diagramme d'analyse discriminante réalisée avec nos cinq variables. La combinaison linéaire des variables formant cet axe est :

0,181xLPT - 0,041xLPD + 0,124xNL - 0,027xAO + 0,032 HL

(toutes valeurs en mm et ° sexagésimaux).

Les valeurs négatives de cet index définissent un pédonculé, les valeurs positives un sessile, et les valeurs nulles un hybride. On voit clairement apparaître cette fois une discontinuité entre les deux espèces, avec un seul individu central.

En fait, une analyse discriminante pas à pas (c'est-à-dire en introduisant les variables une par une selon un pouvoir discriminant décroissant) montre qu'avec la seule longueur du pétiole, on a encore un classement exact des individus dans les deux espèces (fig.35b). La valeur seuil séparant les deux ensembles est de 11 mm.

94. Conclusion.

L'étude a permis de montrer la présence d'un seul individu réellement intermédiaire entre les deux espèces, soit moins de 5 % de l'échantillon étudié. De plus, ce qui n'était absolument pas prévisible au début, un seul caractère permet de résumer la séparation des deux espèces, la **longueur du pétiole**, selon qu'elle est ou non inférieure à 11 mm en moyenne. Bien sûr ce résultat n'est applicable qu'à un domaine restreint, peut-être même à la seule population étudiée. L'index faisant intervenir cinq variables permet une discrimination plus sûre des deux espèces et peut sans doute s'extrapoler au contexte du massif de Haguenau. Le tableau XVIII résume les valeurs moyennes pour chaque espèce.

L'étude de B.S. RUSHTON (1979), montrant que la localisation géographique des populations de chênes hybrides est très précise et groupée, souligne la nécessité détendre notre type d'étude à d'autres populations.

Enfin sur le plan méthodologique, l'analyse multivariable, qui semble maintenant généralisée en taxonomie numérique, devrait pouvoir tirer profit de l'utilisation :

- de la classification valuée comme outil de description des continuums (apparents ou réels) entre taxons, comme c'est le cas lorqu'interviennent les phénomènes d'hybridation-introgression ;

- de l'analyse discriminante comme moyen d'identifier les caractères discriminants des espèces et de les organiser en un index séparant au mieux les taxons , outil pratique de détermination. L'index fourni par l'analyse discriminante est un index d'hybridité non plus défini a priori comme c'est habituellement le cas, mais s'appuyant sur la structure réelle des données.

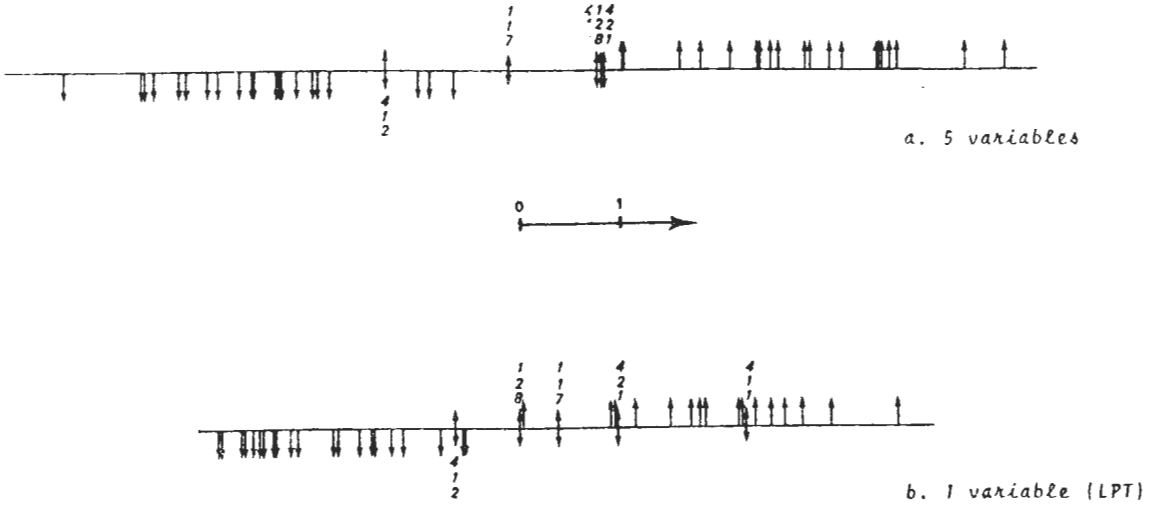


Figure 35: Analyse discriminante.

| individu de type "pédoncule"
| individu de type "sessile"
| individu supplémentaire (numéro d'identification en italiques)

Tableau XVIII. Valeurs moyennes des caractères discriminants les deux espèces de chêne.

	Quercus petraea	*Quercus robur*
Longueur du pétiole	16 mm	6 mm
Angle des oreillettes	88°	128°
Nombre de lobes foliaires	11.6	8.7
Longueur totale du pédoncule	9 mm	59 mm
Hauteur de la plus grande largeur depuis l'apex	41 mm	35 mm

CONCLUSION GENERALE

La typologie des stations forestières a déjà été réalisée avec succès dans plusieurs petites régions écologiques de Nord-Est. Celles-ci ont toutes en commun d'avoir conservé des forêts dans leur ensemble très "naturelles". Le but essentiel de cette étude est la définition des stations forestières en milieu fortement artificialisé.

Le massif de Haguenau (Bas-Rhin) a subi en effet une forte pression anthropique, traduite surtout par l'extension récente du pin sylvestre, accompagnée d'une intensification de la sylviculture : coupes à blanc, labour à la régénération, plantation d'un sous-étage de hêtre. Il nous fallait donc :

- déterminer si l'enrésinement permet encore la définition des types stationnels et dans quelle mesure il modifie les types de station préexistants ;

- à partir de cette typologie,étudier la place à impartir aux différentes essences sur la base de leurs performances de croissance et de leur qualité technologique.

La méthode employée est celle développée au niveau national pour la typologie des stations forestières françaises par le Centre de Recherches Forestières de l'INRA à Nancy. L'inventaire vise à établir sur une base phytosociologique les unités de végétation et leurs principales caractéristiques écologiques.

Nous avons tout d'abord, à l'occasion de cette étude, apporté une contribution méthodologique sur plusieurs points :

- L'existence, particulièrement nette en milieu forestier de plaine, d'unités de végétation intermédiaires entre plusieurs types nous a amené à proposer un cadre conceptuel nouveau, les **ensembles valués.** Ceux-ci permettent de quantifier l'appartenance d'un élément (relevé) à un ensemble (type de station) au sein d'un référentiel donné. L'application de ce concept dans un programme de classification automatique valuée nous a permis de distinguer les relevés centraux de nos types de station et les relevés intermédiaires entre plusieurs types.

Cette théorie, susceptible d'applications à de nombreux autres domaines de l'écologie, permet d'aborder avec plus d'objectivité le problème des limites entre unités de végétation, que ce soit au niveau concret des communautés végétales ou au niveau abstrait des types de végétation.

-L'analyse factorielle des correspondances, avec les variables floristiques en éléments principaux et les variables écologiques en éléments supplémentaires, reste l'outil de base de notre étude. La projection en variables supplémentaires des variables floristiques prenant en compte l'abondance-dominance nous a montré la **concordance entre les optimums de présence et d'abondance-dominance pour la presque totalité des espèces.**

- Nous avons aussi expérimenté avec succès une procédure rapide et pratique de **construction directe du tableau phytosociologique** à partir des données brutes.

Ces résultats s'insèrent dans une vue plus globale qui, tenant compte d'une part de la quantité croissante de données collectées lors des études phyto-sociologiques, d'autre part du développement constant des capacités de calcul des ordinateurs, nous pousse à expérimenter et appliquer de nouvelles procédures d'analyses automatiques des données .

Nous avons ainsi défini neuf types de station regroupant, avec les types de station rares du massif, un total de vingt unités phyto-écologiques. Ces unités s'articulent autour de trois pôles : les aunaies-frênaies de l'*Alno-Padion* (1 type de station), les chênaies du *Carpinion* (4 types de station), les pineraies du *Quercion* (4 types de station). La division entre *Alno-Padion* et *Carpinion* d'une part et *Quercion* d'autre part, correspond relativement bien à la division géologique du massif entre substrats marneux oligocènes et loessiques d'une part et sableux d'autre part.

Ces neuf types de station, parfaitement révélés par leur flore, s'ordonnent selon un gradient de richesse chimique du milieu. Mais l'hydromorphie nous a amené à distinguer au sein du *Quercion* des variantes sèche et fraîche dans chaque type de station. Cette distinction a soulevé deux problèmes, concernant l'un la valeur indicatrice de la végétation, l'autre l'interprétation des profils pédologiques.

- La végétation ne permet pas de distinguer les variantes hydromorphes des variantes sèches. Certaines espèces, au premier rang desquelles *Molinia caerulea*, ne semblent pas avoir le comportement synécologique qu'on leur attribue généralement. En effet, la **molinie atteint une forte fréquence de présence sur sols secs**, identique ou supérieure à celle qu'elle a dans les types de station hydromorphes. Ce résultat souligne la nécessité d'études autécologiques plus poussées sur cette espèce.

Nos unités ont dû alors être définies sur une base pédologique ; mais un autre problème s'est alors posé :

- l'**hydromorphie peut passer totalement inaperçue en milieu très pauvre** tel celui des sables de Haguenau (appauvris en fer en particulier). Les podzols humo-ferrugineux secs décrits par certains auteurs dans le massif sont en fait des podzols hydromorphes. La distinction est importante, comme le prouvent s'il en était nécessaire les différences de productivité enregistrées dans ces différents milieux. Nous avons été amené à suivre le niveau des nappes qui reste donc le seul critère fiable d'appréciation de l'hydromorphie.

La typologie montre en tout cas qu'il a été tout à fait possible de définir des types de station indépendamment de l'enrésinement. Nos types stationnels correspondent en effet indifféremment à des faciès de chênaies, chênaies-pineraies, pineraies éventuellement naturelles ou à coup sûr artificielles. Est-ce à dire que l'enrésinement n'a aucun impact important sur le milieu haguenovien ? Notre étude n'est pas dirigée directement vers l'étude de la dynamique de la végétation, mais plusieurs constatations peuvent en être tirées.

Le pin sylvestre, dont on ne peut pas garantir l'indigénat, est cependant certainement très anciennement implanté dans certaines stations, comme nous le montrent nos analyses palynologiques de sols, encore en cours actuellement.

Or, sur ces stations, comme sur celles répertoriées par le service forestier local comme étant éventuellement des stations à pin sylvestre naturel (donc ayant été en tout cas régénérées avant 1871, date à laquelle les forestiers allemands ont pratiqué les premiers reboisements artificiels connus), nous avons toujours observé, en conditions drainées, des sols peu évolués de type intergrade entre les sols bruns ocreux et les sols ocres podzoliques. La podzolisation y est marquée par la seule migration de l'aluminium. Plusieurs indices (archéologiques surtout) laissent à penser que le peuplement originel était une lande ou une pineraie très claire à callune, à potentialités dégradantes plus fortes encore que le peuplement actuel. L'évolution des milieux suite à l'enrésinement ne semble donc pas prendre à Haguenau les voies de dégradation rapide constatées dans d'autres régions. Les mécanismes de la pédogénèse restent à élucider pour ce type de sol et dans cette région.

L'impact de la sylviculture se manifeste cependant dans une unité de végétation particulière, les pineraies à robinier (unité n°2330) où les modifications de la flore et du milieu sont bien liées ici à l'introduction du robinier.

Quelles sont les conclusions pratiques, pour la gestion forestière , de notre typologie ?

L'étude des potentialités sylvicoles, menée parallèlement à l'inventaire des milieux, par mesure de la hauteur dominante, de l'accroissement moyen annuel sur le rayon, du couple de torsion et, pour les chênes, de l'infradensité nous permet de préciser les aptitudes de chaque type de station.

Le pin sylvestre, qui montre un accroissement constant de ses performances des milieux les plus pauvres aux plus riches et une diminution de la dureté du bois pourrait donc théoriquement être largement étendu, jusqu'au type de station 2400. Un caractère défavorable apparaît cependant dans les milieux les plus riches, l'accroissement de la proportion de bois d'aubier. Notons que sur les stations sableuses sèches (3310) la productivité tombe au plus bas, comme d'ailleurs pour toutes les autres essences. Le pin sylvestre ne constitue donc qu'un pis-aller, en l'absence d'essence permettant de mieux valoriser ces zones.

Le chêne pédonculé reste la vocation des types de station n°2200 et n°2300. Il est par contre à proscrire de toutes les stations du *Quercion* , que ce soit sur sols secs ou hydromorphes. Seules les zones hygro-acidophiles (type de station n° 2400) peuvent lui assurer une alimentation hydrique suffisante pour égaler le chêne sessile. Au sein du *Carpinion*, les zones à hydromorphie temporaire et pauvres (unité 2420) sont aussi à proscrire.

Le chêne sessile peut parfaitement remplacer le pin sylvestre dans les types de station 2400 et 3100. Mais il est à exclure des zones plus engorgées (types de station 2200, 2300, 2430). Son bois est presque toujours plus dur que celui du pédonculé.

Notre étude des liaisons station-production et station-qualité du bois s'est trouvé confrontée à des problèmes nouveaux, tel la forte corrélation de tous les paramètres, dont la densité et le couple de torsion, avec l'âge. De façon plus générale, ces études de liaisons station - production nécessitent des connaissances et une méthodologie que les dendrométriciens classiques ne peuvent encore fournir. Il y a là un champ de recherches à explorer.

La nécessité de distinguer chêne sessile et chêne pédonculé nous a conduit à étudier la morphologie des deux espèces dans une zone test du massif sensée renfermer,à côté d'invidus typiques, de nombreux arbres intermédiaires. Or, une approche objective du problème, dans le cadre des ensembles valués, nous a permis de montrer que les "hybrides" morphologiques sont en fait fort rares. L'analyse discriminante nous permet de rattacher sans erreur tous nos arbres à l'une ou l'autre des deux espèces. Cette dichotomie morphologique est-elle le reflet d'une séparation génétique ? Il serait nécessaire pour répondre à cette question fondamentale de s'intéresser à des marqueurs plus directement liés à l'expression du génôme.

Les données bibliographiques incluses en individus supplémentaires lors des analyses floristiques, concernant les forêts, proches, de Brumath et du Herrewald, ne se séparent pas de nos types de station. Notre étude peut donc s'appliquer à l'ensemble de la **petite région écologique des alluvions vosgiennes du Nord de la plaine d'Alsace** que nous avons définie.

BIBLIOGRAPHIE

ALDER D., 1980. Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers. Vol.2. Etude et prévision de la production.

FAO, Rome , 230p.

AUGIER J., 1966. Flore des bryophytes.

Lechevallier, Paris, 125p.

AUSSENAC G., 1970. Aperçu du rôle de la forêt dans l'économie de l'eau.

Rev.for.fr., 12, 6, 603-618.

AVENA G., BLASI C., FEOLI E. et SCOPPOLA A., 1981. Measurement of the predictive value of species lists for species cover in phytosociological samples.

Vegetatio, 45, 77-84.

BACHACOU J., 1973. L'effet Guttman dans l'analyse des données phytosociologiques. INRA. Nancy. 30p.

BARTOLI C., 1966. Etudes écologiques sur les associations forestières de Haute-Maurienne.

Ann.Sci.for., 23 , 3, 3-321.

BARTOLI C., 1967. Aménagement, sylviculture et étude des stations.

E.N.G.R.E.F., Nancy, 64p.

BECKER M., 1971. Etude des relations sol-végétation en conditions d'hydromorphie, dans une forêt de la plaine lorraine.

Thèse doct.Etat , Nancy I, 225p.

BECKER M., 1977. Forêt française : pour une définition et une cartographie des stations.

Bull.tech.ONF, 9, 9-19

BECKER M., 1979a. Une étude phyto-écologique sur les plateaux calcaires du Nord-Est (Massif de Haye-54). Utilisation de l'analyse des correspondances dans la typologie des stations. Relations avec la productivité et la qualité du hêtre et du chêne.

Ann.Sci.for., 36, 2, 93-124.

BECKER M., 1979b. Influence du traitement sylvicole sur la flore forestière : cas de la futaie et du taillis-sous-futaie.

Vegetatio, 40, 3, 155-161.

BECKER M., 1982. Influence relative du climat et du sol sur les potentialités forestières en moyenne montagne. Exemple des sapinières à Fétuque (*Festuca silvatica* Vill.) dans les Vosges alsaciennes.

Ann.Sci.for., 39, 1, 1-32.

BECKER M., LE TACON F. et TIMBAL J., 1980. Les plateaux calcaires de Lorraine. Types de stations et potentialités forestières.

E.N.G.R.E.F., Nancy, 216p + ann.

BELGRAND M., 1983. Comportement de jeunes plants feuillus (chêne pédonculé, chêne rouge, chêne sessile, hêtre) sur substrat ennoyé. Adaptation racinaires. Application à la mise en valeur forestière des pseudogleys.

Thèse 3ème cycle, INA P.-G., 188p.

BENZECRI J.P.et al., 1973. L'analyse des données.

Dunod, Paris, 2 vol., 615 et 619p.

BEUM C.O. et BRUNDAGE E.G., 1950. A method for analysingthe sociomatrix.

Sociometry, 13, 141-145.

BEZDEK J.C., 1974. Numerical taxonomy with fuzzy sets.

J.math.Biol., 1, 57-71.

BEDZDEK J.C. et DUNN J.C., 1975. Optimal fuzzy partitions : a heuristic for estimating the parameters in a mixture of normal distributions.

IEEE. Trans.on Computers, 24, 835-837.

BIDAULT M., RAMEAU J.C., SCHMITT A., BRUCKERT S. et GAIFFE M., 1980. Catalogue des stations forestières de la vallée de l'Ognon.

ONF, 2 vol., 146 et 31p.+ ann.

BILLOT P.C., 1855-1862. Florae Galliae et Germaniae exsiccata.

Musée de la Ville de Haguenau.

BIROT Y. et LACAZE J.F., 1981. Choix des sources de graines de pin sylvestre.

Rev.for.fr., 33, 3, 187-193.

BOCK H.H., 1979. Fuzzy clustering procedures.

in "Analyse de données et informatique", 205-218, M.AMIRCHAHY et D.NEEL, INRIA, Paris.

BOISELLE R. et OBERDORFER E., 1957. Der Pflälzer Wald, ein natürliches Verbreitungsgebiet der Kiefer.

Allgemeine forst.Jagd.Zeitung, **10-11**, 212-219.

BONNEAU M., 1973. Les enrésinements risquent-ils de diminuer la fertilité des sols ?

Rev.for.fr.,25, 4, 259-268.

BONNEAU M., BRETHES A., LELONG F., LEVY G., NYS C., et SOUCHIER B., 1979. Effets de boisements résineux purs sur l'évolution de la fertilité des sols.

Rev.for.fr., 31, 3, 198-207.

BONNEAU M. et TIMBAL J., 1973. Définition et cartographie des stations. Conceptions françaises et étrangères.

Ann.Sci.for., 30, 3 , 201-218.

BOSSERMAN R.W. et RAGADE R.K., 1982. Ecosystem analysis using fuzzy set theory.

Ecol.Model., 16, 2-4 , 191-208.

BOUDOT J.P., 1975. Carte Phyto-Ecologique de la région Alsace au 1/100 000. Feuille II : Haguenau.

Université de Strasbourg.

BOURNERIAS M.,1979. Guide des groupements végétaux de la région parisienne.

SEDES, Paris, 2ème édit., 509p.

BRAQUE R., 1978. La forêt et ses problèmes dans le sud du Bassin Parisien (Berry, Nivernais).

Thèse doct. Etat, Clermont-Ferrand II, 3 vol., 943p+ann.

BRETHES A., 1976. Catalogue des stations forestières du plateau lorrain.

INRA, Nancy, 223p.

BRISSE H. et GRANDJOUAN G., 1971. Formulaire floristique des végétaux vasculaires de la France.

CNRS-CEPE Louis Emberger, Montpellier, 18p.

BRUCKERT S. et SOUCHIER B., 1975. Mise au point d'un test de différenciation chimique des horizons cambiques et spodiques.

C.R.Acad.Sci., 280, Ser.3, 1361-1364.

BURG A.M., 1949. L'exploitation du bois de la Forêt de Haguenau en Hollande au XVIIème siècle.

Rev.Alsace, 89, 197-212.

BURG A.M., 1961. Essai de bibliographie sur le massif forestier de Haguenau.

Etud.haguenoviennes, 3, 211-217.

DAGNELIE P., 1960. Contribution à l'étude des communautés végétale par l'analyse factorielle.

Bull.Serv. Carte phytogéogr., 5, 1-2, 1-195.

DECOURT N., BECKER M. et CHARLES P.J., 1981. Bases écologiques du développement des ressources sylvicoles.

in "Les connaissances scientifiques, le développement et la gestion des ressources et de l'espace", chap.3, 193-217.

CNRS, Paris.

DELPONT J., FRANC DE FERRIERE P.J.J. et PERRETTE G., 1955. Notice de la carte des régions naturelles du Haut-Rhin.

Bull.Serv.Carte géol.Alsace Lorraine, 8, 2, 20-29.

DIDAY E., 1970. La méthode des nuées dynamiques et la reconnaissance des formes.

Rev.Stat.appl., 19, 2.

DILLMAN E., 1971. Peuplement mésolithique et écologie de la vallée de la Moder, en aval de Haguenau (Basse-Alsace).

Thèse 3ème cycle, Sciences Humaines, Strasbourg, 227p.+ann.

DILLMAN E., 1974. La tortue européenne des marais (Emys orbicularis L.) en Alsace. Les fragments de carapaces du gisement mésolithique de Haguenau (Bas-Rhin).

Bull.Assoc.philomathique Alsace Lorraine, 15, 37-44.

DION J., 1970. Les forêts de la France du Nord-Est.

Rev.géogr.Est, 3-4, 155-277.

DION J., 1972. Etude fréquentielle des précipitations mensuelles du Nord de la France.

Rev.géogr.Est, 2-3, 175-223.

DUBLED H., 1961. Etude sur les défrichements opérés dans la Forêt Sainte (ou Forêt de Haguenau) des origines au XIIIème siècle.

Etud.haguenoviennes, 3, 77-98.

DUBOIS G. et DUBOIS C., 1955. La géologie de l'Alsace.

Mém.Serv.Carte géol. Alsace Lorraine, 13, 310p.

DUCHAUFOUR P., 1948. Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française.

Ann.Ec.natl Eaux Forêts, 11, 1, 1-335.

DUCHAUFOUR P., BONNEAU M. DEBAZAC E. et PARDE J., 1961. Types de forêt et aménagement : la forêt de la Contrôlerie en Argonne.

Ann. Ec .natl Eaux Forêts, 18, 1, 1-44.

DUCHAUFOUR P., PARDE J., JACAMON M. et DEBAZAC E., 1958. Un exemple d'utilisation pratique de cartographie des stations : la forêt du Ban d'Etival (Vosges).

Rev.for.fr., 10, 10, 597-630.

DUME G., 1975. Contribution à l'étude phytosociologique et écologique des forêts à chêne et à charme du Bassin Parisien au sens large.

Thèse 3ème cycle, Orsay, 92p + ann.

DUPONT P., 1962. La flore atlantique européenne. Introduction à l'étude du secteur ibéro-atlantique.

Doc.Carte Prod.vég.Toulouse, 414p.

ELLENBERG H., 1979. Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas.

Scripta geobot., 9, 2ème éd., 122p.

ENGEL R., 1968. L'espèce collective *Ranunculus auricomus* L.dans l'Est de la France.

Bull.Assoc.philomathique Alsace Lorraine, 13, 1, 67-94+ann.

ENGEL R., 1980. La Forêt de Haguenau.

in"La Nature en Alsace," t.8 : "La protection de la Nature en Alsace", chap.X, 85-93.

SAEP, Colmar, 131p.

FENG-XIANG Y., SONG-LING Z.et QING-CHENG C., 1982. [Utilisation d'une méthode mathématique "floue" pour étudier la classification des forêts de *Picea neoveitchii* dans la montagne Xinglang] en chinois.

Sci.Silvae.sin, 18, 2, 143-150.

de FOUCAULT B., 1980. Les prairies permanentes du bocage virois (Basse-Normandie-France). Typologie phytosociologique et essai de reconstitution des séries évolutives herbagères.

Doc. phytosociol., 5, 1-109.

FOURNIER P., 1961. Les quatre flores de France.

P.Lechevallier, Paris, 2ème ed., 1105p.

FOURNIER P., 1980. Evaluation. Forêt de Haguenau (Bas-Rhin).

Ecole Supérieure des Mines de Paris, 18p+ann.

FRANC de FERRIERE J., 1937. Géologie et Pédologie. Contribution à l'étude des formations quaternaires de la plaine d'Alsace.

Imp.alsacienne, Strasbourg, 157p+ann.

FRITTS H.C., 1976. Tree rings and climate.

Academic Press, New-York, 567p.

GARDINER A.S., 1970. Pedunculate and Sessile oak (*Quercus robur* L.and *Quercus petraea* (Matt.)Liebl.) A review of the hybrid controversy.

Forestry, 43, 2, 151-160.

GAUSSEN H., 1954. "Géographie des Plantes".

A. Colin, Paris, 233p.

GEISSERT F., 1959. La végétation dans la région de Haguenau. 85ème session extraordinaire de la Société botanique de France dans les Vosges et en Alsace.

Bull.Soc.bot.Fr., 106, 95-104, Paris.

GEISSERT F., 1960. Coup d'oeil sur la végétation et la faune des environs de Haguenau.

Bull.Club vosgien, 2 et 4.

GEISSERT F., 1962. Nouvelle contribution à l'étude de la flore pliocène des environs de Haguenau.

Bull.Serv.Carte géol. Alsace Lorraine, 15, 2, 37-48.

GEISSERT F., 1968a. Mollusken und Celtis-Reste aus einem Löss profil in Niederbetschdorf, Elsass.

Mitt.bad.Landesver.Naturk.Naturschutz, 9, 4, 671-679.

GEISSERT F., 1968b. Geologisch-botanische Exkursion in das Unterelsass am 29 September 1968.

Mitt.bad.Landesver.Naturk.Naturschutz, 10, 1, 221-223.

GEISSERT F. et KEIFF U., 1956a. Les cryptogames vasculaires de la forêt de Haguenau et de la plaine rhénane avoisinante.

Bull.Club vosgien, 2, 17-18 ; 3, 13-14 ; 4, 13-15.

GEISSERT F. et KEIFF U., 1956b. Le massif forestier de Haguenau, 1ère partie.La Flore et les associations végétales.

Brochure éditée à l'occasion de la quinzaine de la Forêt et du Bois, 23 Juin-8 Juillet 1956, Haguenau, 1-9.

GEISSERT F. et SCHNEIDER A., 1979. Plantes disparues ou en voie de disparition de la région de Haguenau d'après l'étude de l'herbier de P.C. BILLOT.

Bull.Amis Jard.bot.Saverne, 6-18.

GIRAULT D., 1981. Les stations forestières de la Woëvre (Lorraine).

INRA, Nancy, 97p.

GRANIER A., 1981. Etude des relations entre la section du bois d'aubier et la masse foliaire chez le douglas (*Pseudotsuga menziesii*(Mirb.)Franco).

Ann.Sci.for., 38, 4, 503-512.

GRZECZYNSKI T. et SPLAWA-NEYMAN, 1980. [Propriétés du bois de la zone externe de pins sylvestres en relation avec l'âge des arbres et la chasse de fertilité des stations] en polonais.

Prace Instytutu Technologii Drewna, 27, 3/4, 3-17.

GUINOCHET M., 1955. Logique et dynamique du peuplement végétal.

Masson, Paris, 143p.

GUINOCHET M., 1973. Phytosociologie.

Masson, Paris, 227p.

GUINOCHET M., 1973-1983. Flore de France.

CNRS, Paris, 5 vol.

HAAS J.O., 1922. Le Pliocène de Haguenau et ses rapports avec l'étendue de la grande Forêt.

Bull.Assoc.philomatique Alsace Lorraine, 6, 4, 165-172.

HILL M.O., 1973. Reciprocal averaging : an eigenvector method of ordination.

J.Ecol., 61, 237-249.

HUFFEL G., 1904. Economie forestière.

t.I, 1ère partie, p.48.

HUFFEL G., 1920. La Forêt Sainte de Haguenau en Alsace. Notice historique et descriptive.

Berger-Levrault,Nancy, 164p.

HUFFEL G., 1931. L'Aschbruch - Histoire d'une forêt communale de Basse-Alsace.

Berger-Levrault, Nancy, 85p.

ISSLER E., 1922-1923. Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine rhénane avoisinante. 1ère partie : Les forêts. A. Les associations d'arbres feuillus.

Bull.Soc.Hist.nat.Colmar, 17, 1-67.

ISSLER E., LOYSON E. et WALTER E., 1965. Flore d'Alsace.

Société d'Etude de la Flore d'Alsace, Strasbourg, 637p.

JACAMON M. et MORMICHE A., 1958. Une étude pédologique et botanique en liaison avec celle des types de peuplements (La forêt domaniale des Trois-Bois).

Ref.for.fr., 10, 2, 81-94+carte.

JUNG G., 1962. Etudes éco-pédologiques dans le Massif Forestier de Haguenau (Bas-Rhin).

DES, Strasbourg, 57p.

KAUFFMANN A., 1977. Introduction à la théorie des sous-ensembles flous. I. Eléments théoriques de base.

Masson, Paris, 424p.

KELLER R., LE TACON F. et TIMBAL J., 1976. La densité du bois de hêtre dans le Nord-Est de la France. Influence des caractéristiques du milieu et du type de Sylviculture.

Ann.Sci.for., 33, 1, 1-17.

KHINECHE A., 1978. Cartographie de peuplements forestiers par exploitation de données ERTS-Landsat.

Rech.géogr.Strasbourg, 8, 25-41.

KIRSCHLEGER F., 1852-1862. Flore d'Alsace et des contrées limitrophes.

Strasbourg, 3 vol.

KIRSCHLEGER F., 1870. Flore Voségo-rhénane.

KUTSCHA N.P. et SACHS I.B., 1962. Color tests for differentiating heartwood and sapwood in certain softwood tree species.

U.S.D.A. Report n°2246, Forest service, Forests products Laboratory, Madison, Wisconsin, 13p.

LACOSTE A. et ROUX M., 1971 et 1972. L'analyse mutidimensionnelle en phytosociologie et en écologie. Application à des données de l'étage subalpin des Alpes-Maritimes.
I- L'analyse des données floristiques
II- L'analyse des données écologiques et l'analyse globale.

Oecol.Plant., 6, 353-369 et **7**, 125-146.

LAMONT B.B., 1979. A comparison of twenty-one measures of site dissimilarity.

in "Multivariate Methods in Ecological Work", L.ORLOCI, C.R. RAO et W.M. STITELER, 101-126.

LANDOLT E., 1977. Okologische Zeigerwerte zur Schweiger Flora.

Veroeff.Geobot.Inst.Rübel Zurich, 64, 208p.

LANIER L., 1969. Contribution à l'étude du Rouge Cryptogamique du Pin sylvestre dû au *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chev.

Thèse doct. Etat, Faculté des Sciences, Nancy, 177p+ann.

LAPRAZ G., 1965. Etude de la végétation et des sols de la forêt communale de Rountzenheim (Bas-Rhin).

Bull.Soc.bot.Fr., 112, 291-312.

LAPRAZ G., 1967. Les robiniaies et les chataigneraies des régions d'Andlau, Barr, Saint-Nabor et Ottrott.

Bull.Assoc.philomat.Alsace Lorraine, 12, 2, 212-221.

LASSERRE D., 1983. Comportement hydrique de quelques espèces spontanées forestières face à sécheresse. Utilisation de la chambre à pression pour la mesure des potentiels de sève.
Mémoire 3ème année, ENSA-INRA, Nancy, 51p + ann.

LEBART L. et FENELON J.P., 1971. Statistique et informatique appliquées.
Dunod, Paris, 2ème ed., 457p.

LEBART L., MORINEAU A. et TABARD N., 1977. Techniques de la description statistique. Méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux.
Dunod, Paris, 351p.

LECARPENTIER C. et SHAMSI F., 1972. Les régimes pluviométriques dans la France de l'Est.
Rev.géogr.Est, 12, 2-3, 159-174.

LEMEE G. et GUINOCHET M., 1950. Contribution à la connaissance des races biologiques de *Molinia caerulea* (L.) Moench.
Rev.gén.Bot., 680, 565-593.

LEMEE G. et LOSSAINT P., 1953. Notice explicative de la carte des groupements végétaux et des sols du massif forestier du Herrenwald, Krittwald et du bois de Geudertheim.
CNRS, Service de la Carte du Groupement végétaux, 5 p+carte.

LEMEE G., LOSSAINT P, METTAUER H. et WEISSBECKER R., 1958. Recherches préliminaires sur les caractères biochimiques de l'humus dans quelques groupements forestiers de la plaine d'Alsace.
Angew.Pflanzensoziol., 15, Stolzenau, Weser, 93-101.

LEROY P., 1956a. Sylviculture de la Forêt de Haguenau.
in "Le massif forestier de Haguenau". Brochure éditée à l'occasion de la quinzaine de la Forêt et du Bois, 23 Juin-8Juillet 1956, Haguenau, 16p.

LEROY P., 1956b. Dégâts occasionnés par la glace dans les forêts de l'Inspection de Haguenau.
Rev.for.fr., 8, 10, 647-657.

LEROY P., 1957. Enseignements à tirer d'une attaque de rouge cryptogamique dans les régénérations de pin sylvestre de la Forêt de Haguenau.
Rev.for.fr., 9, 10, 745-749.

LEROY P., 1961. Humus brut et régénération du pin sylvestre en forêt de Haguenau.
Rev.for.fr., 13, 4, 251-263.

LEROY P., 1977. Les grands massifs domaniaux. La Forêt de Haguenau.
Bull.Inf.ONF, 43, 27-34.

LE TACON F. et TIMBAL J., 1975. La cartographie des stations. Application à l'aménagement des forêts.

Bull.Assoc.fr.Etude Sol, Sci.Sol, 1, 51-64.

LIBERT G. et ROUBENS M., 1982. Méthodes non métriques valuées en classification automatique et détermination du nombre optimal de classes.
Version préliminaire des Actes du Colloque "Statistique et Analyse des données", Pointe à Pitre, CUAG-INRIA-INRA, 71-84.

van der MAAREL E., 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity.

Vegetatio , 39, 2, 97-114.

van der MAAREL E., JANSEN J.G.M. et LOUPPEN J.M.W., 1978. TABORD ,a program for structuring phytosociological tables.

Vegetatio, 38, 3, 143-156.

MATHIEU A., 1897. Flore forestière.

Paris-Nancy, 4ème éd., 705p.

MENILLET F. et al., 1976. Notice explicative de la feuille de Haguenau.

Carte géologique de la France au 1/50 000. XXXVIII-14.

MILLIER C., 1973. Méthodologie mathématique des études des liaisons station-production.

Ann.Sci.for., **30**, 351-366.

MILLOT G., SITTLER J., von ELLER J.P. et SIMLER L., 1963. Notice géologique et hydrogéologique du Bas-Rhin.

Bull.Serv.Carte géol. Alsace Lorraine, 16, 2, 71-174.

MINTER D.W. et MILLAR C.S., 1979. Ecology and biology of three *Lophodermium* species on secondary needles of *Pinus sylvestris*.

Eur.J.Pathol., 11p.

MOREL G., 1972. Etude hydrodynamique par modèle analogique des alluvions pliocènes de la région de Haguenau (Bas-Rhin).

Thèse de 3ème cycle, Strasbourg, 116p+ann.

MOUREY J.M., 1979. Les chênes de la vallée de l'Ognon.

Mém.3ème année ENITEF, 2 vol.

MULLER S., 1978. Contribution à la synsystématique des hêtraies d'Europe occidentale et centrale.

Thèse 3ème cycle, Orsay, 95p+ann.

NEPVEU G., 1979. L'utilisation du torsiomètre en forêt : influence de l'opérateur et de l'appareil.

Ann.Sci.for., 36, 4, 265-351.

NICOT P., 1983. Etude des exigences stationnelles, des performances de croissance, de la sylviculture et de la qualité du bois du frêne et du merisier dans diverses stations d'Alsace.

Mém.3ème année ENITEF, 238p+ann.

NOEL P., 1920. La Forêt de Haguenau. Etude d'un forestier français.

Bull.Soc.Franche-Comté, Belfort, n°4, 32p+ann.

NOEL P., 1934. Une journée forestière à Haguenau (24 mai 1932). Pinoteau, Dieppe, 144p.+ann.

NOIFALISE A. et DETHIOUX M., 1970. Répertoire écologique des espèces forestières de Belgique.

Not.techn.Cent.Ecol.for.rurale Gembloux, 10, 1-28.

NOIRFALISE A. et SOUGNEZ N., 1961. Les forêts riveraines de Belgique.

Bull.jard.bot.Etat, 30.

OBERDORFER E., 1953. Der europäische Auenwald.

Beitr.naturk.Forsch., 12, 1, 23-69.

OBERDORFER E., 1957. Süddeutsche Pflanzengesellschaft. **Pflanzensoziologie, Jena, 10**, 567p.

Office National des Forêts, 1980. Atlas des forêts d'Alsace.

Direction Régionale de l'Office National des Forêts, Strasbourg. Sous la direction de B. SAILLET, 111p.

PARE B., 1977. Contribution à l'étude écopédologique du massif forestier de Haguenau (Bas-Rhin).

Thèse de 3ème cycle, Ecologie Végétale, Strasbourg, 128p.

PERSSON, 1981. Ecological indicator values as an aid in the interpretation of ordination diagrams.

J.Ecol., 69, 71-84.

PICARD J.F., 1969. Une méthode de définition des stations en forêt : application à la forêt domaniale de Bellême.

Ann.Sci.for., 36, 3, 211-230.

PICARD J.F. et TIMBAL J., 1968. Flore de France. Liste des genres, espèces, sous-espèces et variétés avec leurs synonymes.

INRA, Nancy, 220p.

PIOVARCI J., 1982. [La proportion de bois de coeur dans les mélèzes de Slovaquie (*Larix decidua* Mill. *slovacica* Sim.)] en tchèque.

Lesn.Cas., 28, 3, 161-170.

PLAISANCE G., 1982. Action corrective de la forêt sur le climat local.

Bull.Soc.r.for.de Belgique, 89, 1, 8-16.

POLGE H., 1973. Etat actuel des recherches sur la qualité du bois de hêtre.

Bull.techn.ONF, 4, 13-22.

POLGE H. et KELLER R., 1970. Première appréciation de la qualité du bois en forêt par utilisation d'un torsiomètre.

Ann.Sci.for., 27, 2, 197-223.

POLGE H. et KELLER R., 1973. Qualité du bois et largeur d'accroissements en forêt de Tronçais.

Ann.Sci.for., 30, 2, 91-125.

RAMEAU J.C., 1974. Essai de synthèse sur les groupements forestiers calcicoles de la Bourgogne et du Sud de la Lorraine.

Thèse 3ème cycle, Besançon, 530p.

RAMEAU J.C., 1981a. Vers une typologie des stations forestières de la Haute-Marne.

Bull.Soc.Sci.nat.Archéol.Haute-Marne, 21, 15, 325-372.

RAMEAU J.C., 1981b. Réflexions sur la synsystématique des forêts françaises de hêtre, chênes et charme. Application au système bourguignon.

Bull.Soc.bot.Fr., 128, Actual.bot., 3-4, 33-63.

RAMEAU J.C., 1983. Eléments sur la valeur indicatrice des espèces forestières.

E.N.G.R.E.F., Nancy, 24p.

REMPP G., 1930. L'influence de la forêt sur la pluie, d'après les observations faites de 1921 à 1930 dans la forêt de Haguenau.

Ann.Inst.Phys.Globe Strasbourg, 93-95.

RITTER J., 1972. Les groupements végétaux des étages subalpin et alpin du Vercors méridional. Essai d'interprétation statistique.

Vegetatio, 24, 4-6, 313-403.

ROUX G. et ROUX M., 1967. A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie.

Rev.Stat.appl., 15, 2, 59-72.

ROUX M. et SALANON R., 1974. Le rôle des bryophytes et lichens dans l'analyse multidimensionnelle appliquée à divers groupements à *Pinus sylvestris* L.et *Pinus uncinata* Mill. des Pyrénées orientales, des Causses et des Alpes austro-occidentales.

Bull.Soc.bot.Fr.121, Coll.Bryologie, 213-224.

RUSHTON B.S., 1977. Artificial hybridization between *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.)Liebl.

Watsonia 11, 229-236.

RUSHTON B.S., 1979. *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.)Liebl. A multivariable approach to the hybrid problem. 2. The geographical distribution of population types.

Watsonia 12, 209-224.

RUSPINI E.H., 1969. A new approach to clustering.

Inf.Control, 15, 22-32.

SCHAEFER R., 1962. Les sols hydromorphes du Bruch de l'Andlau (Alsace).

Bull.Assoc.fr.Etude Sol, 1, 1-17.

SCHAEFFER F.A., 1926. Les tertres funéraires préhistoriques dans la forêt de Haguenau. I. Les tumulus de l'Age de Bronze.

Haguenau 279p.

SCHILLY J.M., 1965. Etude phytosociologique et écologique de la forêt de Brumath.

DES, Strasbourg, 93p.

SCHUMACHER F.X., 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies.

J.For., 37, 819-820.

SEMERIKOV L.F. et GLOTOV N.V., 1971. [Estimation de l'isolement génétique dans des populations de chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.)]en russe.

Genetika, 7, 2, 65-71.

SHAMSI F., 1968. Les climats de la France de l'Est.

Thèse 3ème cycle, Géographie appliquée, Strasbourg, 258p+ann.

SILVY-LELIGOIS P., 1977. Les débuts difficiles de la maitrise des Eaux et Forêts de Haguenau de 1694 à 1759.

Rev.for.fr., 29, n°spécial, 49-64.

SITTLER J., 1972. Les régions naturelles du département du Haut-Rhin.

Bull.Sci.géol., 25, 2-3, 31-33, Strasbourg.

SOUCHIER B., 1971. Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges).

Thèse doct.Etat,Nancy, 134p.

STEIN J., 1981. La valeur indicatrice de *Molinia caerulea* dans les sites forestiers secs de l'Ardenne orientale.
Dumortiera, 18, 1-9.

STIEPERAERE H. et FRANSEN K., 1982. Standaardlijst van de belgische vaatplanten, met aanduiding van hum zeldzaamheid en socio-oecologische groep.

Dumortiera, 22, 1-41.

STOUT B.B. et SHUMWAY D.L., 1982. Site quality using height and diametre.

For.Sci., 28, 3, 639-645.

THILL A. et PALM R., 1983. Etude dendrométrique du pin sylvestre.

Not.techn.Cent.Ecol.for.rurale Gembloux, 44, 44p+ann.

TIMBAL J. 1968. Contribution à l'étude des associations forestières de la forêt de Ste Hélène (Vosges).

Thèse 3ème cycle, Orsay, 104p.

TIMBAL J., 1970. Difficultés rencontrées par la phytosociologie dans les milieux forestiers.

Bull.Acad.Soc.lorraine Sci., 9, 1, 199-210.

TIMBAL J., 1981. Un arbre méconnu : l'orme lisse (*Ulmus laevis* Pallas).

Rev.for.fr., 33, 2, 109-115.

TIMBAL J., 1982. La typologie et la cartographie des stations forestières en France. Application aux forêts méditerranéennes.

Forêts méditerranéennes, 4, 1, 5-12.

TURC L., 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation : évapotranspiration potentielle.

Ann.agron., 12, 13-49.

TUTIN T.G., HEYWOOD V.H., BURGES N.A., MOORE D.M., VALENTINE D.H., WALTERS S.M. et WEBB D.A., 1964-1980. Flora Europaea.

Cambridge University Press, 5 vol.

TUXEN R., 1937. Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschands.

Mitt.florist.soziol.Arbeitsgem.Niedersacksen, 3, 170p.

VASQUEZ FERNANDEZ F., 1976. Traitement sur fichier des données climatiques de l'Alsace.

DES, Sciences de la vie de la terre, Strasbourg 28p+ann.

VOGT H., 1980. Etude géomorphique du rebord Sud-occidental du fossé rhénan.

Thèse Doct.Etat, Géographie, Strasbourg, 437p+ann.

WALTER E., 1929. Les grands froids de l'hiver 1928-29 et leur influence sur la végétation.

Bull. Assoc.philomathique Alsace Lorraine,7,4, 258-281.

WESTFALL R.H., DEDNAM G., van ROOYEN N.et THERON G.K., 1982. PHYTOTAB - A program package for Braun-Blanquet tables.

Vegetatio, 49, 35-37.

WHITEHEAD D., 1978. The estimation of foliage area from sapwood basal area in Scots Pine.

Forestry, 51, 2, 137-149.

ZADEH L.A., 1965. Fuzzy sets.

Information and Control, 8, 338-353.

ZADEH L.A., 1977. Fuzzy sets and their application to pattern classification and clustering analysis.

in " Classification and clustering", 251-299. VAN RYZIN J., Academic Press, New-York, 467p.

ANNEXE I

Liste des syntaxons cités dans le texte, avec leur autorité (ordre alphabétique).

Alnetea glutinosae Br.Bl. et R.Tx. 1943
Alnion glutinosae (Malcuit 1929) Meyer Drees 1936
Alno-Padion Knapp 1942
Asperulo-Carpinenion Braque 1978
Calthion palustris R.Tx.1937
Carici elongatae-Alnetum W.Koch 1926 em.R.Tx. et Bodeux 1955
Carici remotae-Fraxinetum W. Koch 1926
Carpinion betuli Iss.1931 em.Oberdorfer 1953
Daphno-Carpinenion Rameau 1981
Fagetalia sylvaticae Pawl.1928
Fagion sylvaticae R.Tx.et Diémont 1936
Fago-Quercetum R.Tx. 1955
Fago-Quercetum submontanum Sougnez 1967
Fraxino-Carpinion R.Tx.1936
Hyperico-Carpinenion Braque 1978
Irido-Alnenion Doing Kraft 1957
Lonicero-Carpinenion Rameau 1981
Lonicero-Fagenion Muller 1978
Luzulo-Fagenion Lohm. et R.Tx.1954
Mercurialo-Carpinenion Braque 1978
Phragmitetea R.Tx. et Preising 1942
Quercetalia robori-petraeae R. Tx.1931
Quercetum medio-europaeum Br.Bl.1932
Quercion robori-petraeae Br.Bl.1932
Querco-Carpinetum medioeuropaeum R.Tx.(1930)1937

- *luzuletosum sylvaticae* (Iss.1926) R.Tx.1937
- *primuletosum veris* (Klika 1928)R.Tx. et Diémont 1937
- *stachyetosum sylvaticae* R.Tx.(1930) 1937

Querco-Fagetea Br.Bl. et Vlieger 1937
Querco roboris-Betuletum R.Tx.(1930) 1937
Querco sessiliflorae-Betuletum R.Tx. 1937
Stellario-Carpinetum Oberdorfer 1957
Trifolio-Teucrienion scorodoniae Knapp 1976

ANNEXE II

Localisation des relevés et transects

Transects de l'inventaire phyto-écologique.

Numéro du transect	Début			Fin		
	Coordonnées (grades)		Parcelle	Coordonnées (grades)		Parcelle
	x	y		x	y	
1	8,636	54,313	III-201 (Grundel)	8,635	54,265	IV-19 (Hohwarth)
2	8,701	54,336	III-279 (Oberstritten)	8,701	54,236	Forêt privée près d'Oberhoffen
3	8,750	54,324	III-266 (Unterstritten)	8,747	54,206	Bois d'Oberhoffen
4	8,912	54,340	37 (Hatten)	8,912	54,292	Forêt privée près de Koenigsbruck
5	8,957	54,336	30 (Bois de l'Hôpital)	8,959	54,314	4 (Bois de l'Hôpital)
6	8,797	54,316	I-271 (Wolfswinkel)	8,806	54,234	I-11 (Schirrhoffen)
7	8,782	54,306	I-232 (Heuscheuer)	8,949	54,305	Forêt privée près de Kesseldorf
8	8,602	54,298	IV-171 (Sonnenblum)	8,526	54,261	Herrenwald

Transects de l'étude biométrique des chênes

Numéro du transect	Début			Fin		
	Coordonnées (grades)		Parcelle	Coordonnées (grades)		Parcelle
	x	y		x	y	
1	8,642	54,293	III-140 (Gruendel)	8,631	54,293	III-141 (Rohrlach)
2	8,672	54,290	III-135 (Gruendel)	8,672	54,284	III-111 (Strohubel)

ANNEXE III

Fiche de relevé de l'inventaire phyto-écologique

LOCALISATION

N° d'identification : ____

N° du transect : ____

N° du relevé : ____

N° de parcelle : ____

N° de série : ____

TOPOGRAPHIE

Altitude : ____

Pente : ____

Exposition : ____

Situation topographique :

VEGETATION

Recouvrement par strates :

. arborescente : ____ %
  - dominante : ____ %
  - dominée : ____ %
. arbustive : ____ %
. herbacée : ____ %
. muscinale : ____ %

Recouvrement total : ____ %

Germinations :

Régularité de la structure horizontale :

PEUPLEMENT FORESTIER

Mode de traitement :

. taillis o
. taillis-sous-futaie o
  - état des réserves :
. futaie o
  - fourré o
  - gaulis o
  - perchis o
  - adulte o

Essence (s) principale (s) :

. Pinus sylvestris o
. Quercus robur o
. Quercus petraea o
. Fagus sylvatica o
. Carpinus betulus o
. Alnus glutinosa o
. Fraxinus excelsior o

PRODUCTIVITE - QUALITE DU BOIS

	Essence	⌀ à 1,30 m. (cm)	Hauteur dominante (en m.)	Couple de torsion (kg.cm)	Auteur
1					
2					
3					
4					

Observations (gélivures...) :

Strate arborescente

		A	a	S
0005	Acer campestre			
0010	Acer pseudoplatanus			
0158	Alnus glutinosa			
0600	Betula pendula			
0599	Betula pubescens			
0946	Carpinus betulus			
0954	Castanea sativa			
1742	Fagus sylvatica			
1803	Fraxinus excelsior			
3256	Picea abies			
3282	Pinus strobus			
3281	Pinus sylvestris			
3499	Prunus avium			
3508	Prunus padus			
3549	Quercus petraea			
3546	Quercus robur			
3548	Quercus rubra			
3815	Sambucus nigra			
4215	Sorbus aucuparia			
4563	Ulmus laevis			
4662	Ulmus minor			

Strate arbustive

1244	Corylus avellana			
1261	Crataegus laevigata			
1260	Crataegus monogyna			
3831	Cytisus scoparius			
1738	Euonymus europaeus			
3613	Frangula alnus			
2016	Hedera helix			
2214	Ilex aquifolium			
2590	Lonicera periclymenum			
3512	Prunus spinosa			
3513	Prunus virginiana			
3664	Rosa arvensis			
3696	Rubus caesius			
4820	Rubus fruticosus			
3698	Rubus idaeus			
3816	Sambucus racemosa			

Strate herbacée

0073	Agrostis canina
0083	Agrostis capillaris
0100	Ajuga reptans
0118	Alliara petiolata
0153	Allium ursinum
0274	Anemone nemorosa
0420	Arum maculatum
0531	Athyrium filix-femina
0616	Blechnum spicant
0636	Brachypodium sylvaticum
0749	Calluna vulgaris
0808	Cardamine pratensis
0841	Carex brizoïdes
0845	Carex curta
0855	Carex digitata
0861	Carex elongata
0907	Carex pallescens
0912	Carex pendula
0914	Carex pilulifera
0916	Carex pseudocyperus
0922	Carex remota
0929	Carex sylvatica
1112	Chrysosplenium alternifolium
1124	Circea lutetiana
1198	Convallaria majalis
1413	Deschampsia cespitosa
1414	Deschampsia flexuosa
3401	Dryopteris carthusiana
3401	Dryopteris dilatata
3397	Dryopteris filix-mas
1759	Festuca gigantea
1797	Fragaria vesca
1850	Galeopsis tetrahit
0442	Galium odoratum
1866	Galium palustre
1861	Galium saxatile
1945	Geranium robertianum
1960	Geum urbanum
1971	Glechoma hederacea
2128	Holcus lanatus
2129	Holcus mollis
2187	Hypericum pulchrum
2169	Hypericum tetrapterum
2223	Impatiens glandulifera
2221	Impatiens noli-tangere
2249	Iris pseudacorus
2289	Juncus effusus
2375	Lamiastrum galeobdolon
2619	Luzula luzuloïdes
2620	Luzula multiflora
2628	Luzula pilosa
2629	Luzula sylvatica
2666	Maianthenum bifolium
2742	Melampyrum pratense
2789	Milium effusum
2819	Moehringia trinervia
2822	Molinia caerulea
2841	Mycelis muralis
3083	Oxalis acetosella
3127	Paris quadrifolia
3198	Phalaris arundinacea
3247	Phyteuma nigrum
3342	Poa nemoralis
3347	Poa trivialis
3369	Polygonatum multiflorum
3453	Potentilla sterilis
3487	Primula elatior
3518	Pteridium aquilinum
3361	Ranunculus auricomus
3716	Rumex acetosella
3735	Rumex sanguineus
3820	Sanicula europaea
3975	Scrophularia nodosa
2738	Silene dioïca
4187	Solanum dulcamara
4282	Stachys sylvatica
4297	Stellaria holostea
4572	Urtica dioïca
4583	Vaccinium myrtillus
4635	Veronica chamaedrys
4644	Veronica montana
4646	Veronica officinalis
4731	Viola reichenbachiana
4728	Viola riviniana

Strate muscinale

Atrichum undulatum
Dicranella heteromalla
Dicranum scoparium
Eurhynchium sto kesii
Eurhynchium striatum
Leucobryum glaucum
Mnium hornum
Mnium undulatum
Pleurozium schreberi
Polytrichum commune
Polytrichum formosum
Rhytidiadelphus triqueter
Sphagnum palustre
Thuidium tamariscifolium

CARACTERISTIQUES DE SURFACE

Matériaux grossiers à la surface du sol :

Micro-relief du sol :

Edifices biologiques :

Observations :

PROFIL DE SOL

Humus

. épaisseur de litière :

- couche L : cm
- couche F : cm
- couche H : cm

Total : cm

. type d'humus :

- mull calcique o
- mull eutrophe o
- mull mésotrophe o
- mull acide o
- mull moder o
- moder o
- moder-mor o
- mor o
- humus hydromorphe o

Economie de l'eau

. drainage :

. intensité de l'hydromorphie :

. Observations :

Schéma

Profondeur (cm) | Désignation des horizons

Caractéristiques observées	Dénomination de l'horizon						
Epaisseur							
Cailloux & graviers . Abondance (%) . Nature pétrographique . Dureté . Forme							
Couleur							
Structure . Nature . Taille							
Texture							
Enracinement . Abondance . Grosseur . Répartition							
Activité biologique							
Taches . Abondance (%) . Couleur . Dimension							
Oxydes et hydroxydes							
pH							
Effervescence à HCl							
Transition avec l'horizon sous-jascent							
Prélèvement							

Observations :

Type pédogénétique :

ANNEXE IV

NOTE SUR LE COUPLE :

Viola reichenbachiana Jord.ex.Boreau-
Viola riviniana Reichenb.

La distinction entre les deux espèces est malaisée à l'état végétatif. En principe, *Viola riviniana* a un limbe foliaire aussi large que long, largement ovale à réniforme, et *Viola reichenbachiana* un limbe foliaire plus long que large, ovale. Les deux espèces sont susceptibles de s'hybrider (*Viola* x *bavarica* Schrank.).

Sur le plan écologique , la distinction nous a semblé au premier abord utile, puisqu'elles semblent avoir des exigences différentes. Si les auteurs s'accordent pour attribuer à *Viola riviniana* un caractère plus héliophile, et à *Viola reichenbachiana* un caractère plus neutrophile, il semble y avoir désaccord sur les exigences thermiques. H. ELLENBERG (1979), en Allemagne du Nord-Ouest, donne *Viola riviniana* comme indifférente à la température et *Viola reichenbachiana* comme indicatrice de chaleur moyenne ; E. LANDOLT (1977), en Suisse, les met à égalité pour ce facteur, avec une large tolérance ; ISSLER et al. (1965) enfin font de *Viola riviniana* une espèce plus thermophile et xérophile que sa compagne.

Sur le plan synsystématique, la violette sylvestre *(Viola reichenbachiana)* est caractéristique des *Fagetalia sylvaticae*, et la violette de Rivin est souvent citée parmi les caractéristiques des *Quercetalia robori-petraeae*. Mais là encore, des variations existent suivant les régions et, par exemple, M. BOURNERIAS (1979) indique *Viola riviniana* dans l'ensemble caractéristique des chênaies-charmaies du *Fraxino-Carpinion* ou même comme compagne des tilliaies-acéraies calcicoles.

Les difficultés d'identification sur le terrain nous ont amené à récolter systématiquement (mais sans chercher à être exhaustif) les pieds rencontrés dans 27 relevés très divers. Sur toutes les feuilles de chaque pied nous avons mesuré la largeur et les deux longueurs présentées dans la figure 36. La figure 37 donne l'histogramme des rapports largeur sur longueur totale, en moyenne pour chaque pied (la longueur totale discrimine mieux les deux espèces que la longueur mesurée de l'apex au point d'insertion du pétiole), pour les 58 pieds prélevés (soit environ 400 feuilles). On constate la discrimination des deux taxons pour la valeur seuil 1 du rapport largeur sur longueur.

Nous avons donc pu séparer ces deux espèces lors de l'analyse et préciser à Haguenau leur écologie respective (chapitre V). *Viola reichenbachiana* est plus exigeante sur le plan trophique que *Viola riviniana* (optimum respectif sur mull eutrophe des chênaies-charmaies et chênaies-frênaies riches et sur mull acide des chênaies-charmaies mésotrophes) mais, à Haguenau, *Viola riviniana* reste tout de même cantonnée aux chênaies-charmaies du *Carpinion*, sans jamais pénétrer le *Quercion robori-petraeae*. Dans ces chênaies moyennement acides (pH 4,2 en moyenne pour les dix stations où elle apparaît), elle est cantonnée aux sols à marnes proches de la surface, très secs en été. Comme *Sorbus torminalis*, il nous semble que *Viola riviniana*, qui peut tolérer une large gamme de pH, manifeste d'abord un caractère **thermophile.**

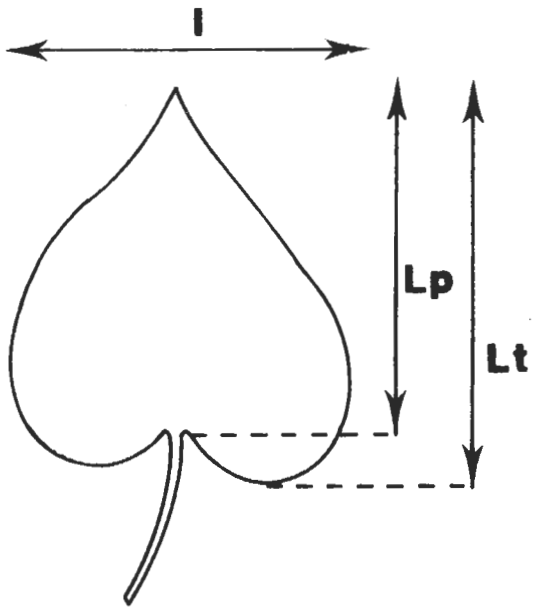


Figure 36. Les variables mesurées.

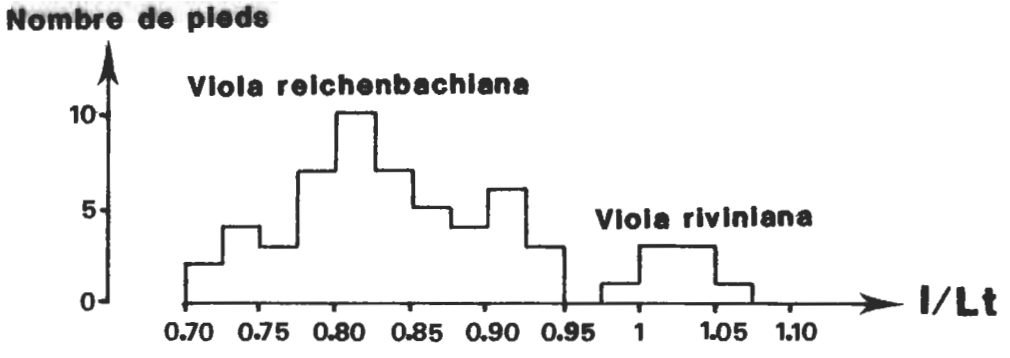


Figure 37. Histogramme des valeurs largeur/longueur totale

ANNEXE V

LISTE DES VARIABLES ECOLOGIQUES ET DENDROMETRIE

On trouvera ci-dessous la liste des classes des variables écologiques utilisées pour les analyses factorielles. Chaque classe y est bien sûr caractérisée par sa présence ou absence (0 ou 1).

Situation topographique :

TOPO 0 : plat
TOPO 1 : haut de pente
TOPO 2 : mi-pente
TOPO 3 : bas de pente
TOPO 4 : bas fond, cuvette

Pente :

PENTE 0 : plat
PENTE 1 : pente inférieure ou égale à 1°
PENTE 2 : pente comprise entre 1° exclu et 2° inclus
PENTE 3 : pente comprise entre 2° exclu et 5° inclus
PENTE 4 : pente supérieure à 5°

Exposition :

NORD : quart nord
EST : quart est
SUD : quart sud
OUEST : quart ouest

Description du peuplement :

Recouvrement des strates

Recouvrement arborescent

RCARB0 : inférieur à 60 %
RCARB1 : de 60 % exclu à 75 % inclus
RCARB2 : de 75 % exclu à 85 % inclus
RCARB3 : de 85 % exclu à 90 % inclus
RCARB4 : de 90 % exclu à 95 % inclus
RCARB5 : de 95 % exclu à 100% inclus

Recouvrement herbacé

RCHER0 : nul
RCHER1 : inférieur à 5 %
RCHER2 : de 5 % exclu à 20 % inclus
RCHER3 : de 20% exclu à 40 % inclus
RCHER4 : de 40% exclu à 60 % inclus
RCHER5 : de 60% exclu à 75 % inclus
RCHER6 : de 75% exclu à 80 % inclus

RCHER7 : de 80 % exclu à 90 % inclus
RCHER8 : de 90 % exclu à 95 % inclus
RCHER8 : de 95 % exclu à 100% inclus

Recouvrement muscinal

RCMUS0 : nul
RCMUS1 : inférieur à 1 %
RCMUS2 : de 1 % exclu à 5 % inclus
RCMUS3 : de 5 % exclu à 10% inclus
RCMUS4 : de 10% exclu à 20% inclus
RCMUS5 : de 20% exclu à 40% inclus
RCMUS6 : de 40% exclu à 80% inclus

Présence d'un sous-étage

SSHET : sous-étage de hêtre
SSCHA : sous-étage de charme

Traitement sylvicole

TSF : taillis-sous-futaie

Données pédologiques :

Type d'humus

Mull calcique
Mull eutrophe
Mull mésotrophe
Mull acide
Mull moder
Moder
Moder - Mor
Mor

Humus hydromorphe

Présence de bousiers en surface

Couleur du A_1

Hue

HUA10 : 10 YR
HUA11 : 2,5 YR
HUA12 : 5 YR
HUA13 : 7,5 YR

Value

VALA10 : 2/
VALA11 : 3/
VALA12 : 4/
VALA13 : 5/ à 7/

Chroma

CHRA10 : /0 et /1
CHRA11 : /2
CHRA12 : /3
CHRA13 : /4 et /5

pH du A_1

pH eau

PHA1H0 : pH inférieur à 3,4
PHA1H1 : de 3,4 inclus à 3,6 exclu
PHA1H2 : de 3,6 inclus à 3,8 exclu
PHA1H3 : de 3,8 inclus à 4,2 exclu
PHA1H4 : de 4,2 inclus à 4,6 exclu
PHA1H5 : de 4,6 inclus à 5,2 exclu
PHA1H6 : de 5,2 inclus à 5,8 exclu
PHA1H7 : pH supérieur à 5,8

pH KCl

PHA1K0 : pH inférieur à 2,8
PHA1K1 : de 2,8 inclus à 3,0 exclu
PHA1K2 : de 3,0 inclus à 3,2 exclu
PHA1K3 : de 3,2 inclus à 3,6 exclu
PHA1K4 : de 3,6 inclus à 4,0 exclu
PHA1K5 : de 4,0 inclus à 4,8 exclu
PHA1K6 : de 4,8 inclus à 5,5 exclu
PHA1K7 : pH supérieur à 5,5

Texture du A_2

TEXT0 : argileux ou argilo-sableux
TEXT1 : sablo-argileux
TEXT2 : limono-sableux
TEXT3 : sablo-limoneux
TEXT4 : sableux

Couleur du A_2

Hue

HUA20 : 10 YR
HUA21 : 2,5 YR
HUA22 : 5 YR
HUA23 : 7,5 YR

Value

VALA20 : 4/ et 5/
VALA21 : 6/
VALA22 : 7/ et 8/

Chroma

CHRA20 : /1 et /2
CHRA21 : /3
CHRA22 : /4 à /6

Epaisseur de l'horizon Bh

BH0 : horizon absent
BH1 : inférieure à 3 cm
BH2 : de 3cm exclu à 5 cm inclus
BH3 : de 5cm exclu à 7 cm inclus
BH4 : de 7cm exclu à 10 cm inclus
BH5 : de 10 cm exclu à 20 cm inclus
BH6 : supérieure à 20 cm

Profondeur d'apparition de l'horizon Bg

BG0 : inférieure à 10 cm
BG1 : de 10 cm exclu à 20 cm inclus
BG2 : de 20 cm exclu à 30 cm inclus
BG3 : de 30 cm exclu à 50 cm inclus
BG4 : de 50 cm exclu à 70 cm inclus
BG5 : supérieure à 70 cm ou horizon absent

Nature du substrat

C0 : sableux
C1 : argileux
C2 : limoneux
C3 : sablo-argileux

pH du substrat

pH eau

PHCH0 : inférieur à 4,1
PHCH1 : de 4,1 inclus à 4,9 exclu
PHCH2 : de 4,9 inclus à 5,9 exclu
PHCH3 : de 5,9 inclus à 6,6 exclu
PHCH4 : de 6,6 inclus à 7,8 exclu
PHCH5 : supérieur à 7,8

pH KCl

PHCK0 : inférieur à 3,8
PHCK1 : de 3,8 inclus à 4,2 exclu
PHCK2 : de 4,2 inclus à 4,6 exclu
PHCK3 : de 4,6 inclus à 5,0 exclu
PHCK4 : de 5,0 inclus à 6,5 exclu
PHCK5 : de 6,5 inclus à 7,1 exclu
PHCK6 : supérieur à 7,1

Profondeur des traces d'hydromorphie

HYDR0 : dès la surface
HYDR1 : inférieure à 8 cm
HYDR2 : de 8 cm exclu à 10 cm inclus
HYDR3 : de 10 cm exclu à 15 cm inclus
HYDR4 : de 15 cm exclu à 20 cm inclus
HYDR5 : à 20 cm exclu de 25 inclus
HYDR6 : de 25 cm exclu à 35 cm inclus
HYDR7 : de 35 cm exclu à 50 cm inclus
HYDR8 : supérieure à 50 cm
HYDR9 : pas d'hydromorphie visible

Présence d'un horizon de gley

Profondeur de l'horizon de gley

GLEY0 : inférieure à 5 cm
GLEY1 : de 5 cm exclu à 90 cm inclus
GLEY2 : de 90 cm exclu à 1 m inclus
GLEY3 : supérieure à 1 m

Profondeur du substrat marneux

ARG0 : inférieure à 30 cm
ARG1 : de 30 cm exclu à 60 cm inclus
ARG2 : de 60 cm exclu à 1,20 m inclus
ARG3 : supérieure à 1,20 m ou absent

Profondeur d'apparition du calcaire

CAL0 : inférieure à 80 cm
CAL1 : de 80 cm à 1,20 m
CAL2 : supérieure à 1,20 m ou absent

Profondeur de l'enracinement

RAC0 : inférieure à 15 cm
RAC1 : de 15 cm exclu à 20 cm inclus
RAC2 : de 20 cm exclu à 25 cm inclus
RAC3 : de 25 cm exclu à 30 cm inclus
RAC4 : de 30 cm exclu à 35 cm inclus
RAC5 : de 35 cm exclu à 40 cm inclus
RAC6 : de 40 cm exclu à 50 cm inclus
RAC7 : de 50 cm exclu à 60 cm inclus
RAC8 : de 60 cm exclu à 90 cm inclus
RAC9 : de 90 cm exclu à 1,60 m inclus
RAC10 : supérieure à 1,60 m

Données sylvicoles :

Hauteur dominante du pin sylvestre à 128 ans

HPS0 : supérieure à 37 m
HPS1 : de 37 m exclu à 35 m inclus
HPS2 : de 35 m exclu à 33 m inclus
HPS3 : de 33 m exclu à 32 m inclus
HPS4 : de 32 m exclu à 31 m inclus
HPS5 : de 31 m exclu à 30 m inclus
HPS6 : de 30 m exclu à 28 m inclus
HPS7 : de 28 m exclu à 26 m inclus
HPS8 : inférieure à 26 m

Hauteur dominante du chêne pédonculé à 192 ans

HQR0 : supérieure à 38 m
HQR1 : de 38 m exclu à 36 m inclus
HQR2 : de 36 m exclu à 34 m inclus
HQR3 : de 34 m exclu à 33 m inclus
HQR4 : de 33 m exclu à 32 m inclus
HQR5 : de 32 m exclu à 31 m inclus
HQR6 : de 31 m exclu à 30 m inclus
HQR7 : de 30 m exclu à 29 m inclus
HQR8 : de 29 m exclu à 27 m inclus
HQR9 : inférieure à 27 m

Hauteur dominante du chêne sessile à 192 ans

HQP0 : supérieure à 37 m
HQP1 : de 37 m exclu à 35 m inclus
HQP2 : de 35 m exclu à 34 m inclus
HQP3 : de 34 m exclu à 33 m inclus
HQP4 : de 33 m exclu à 32 m inclus
HQP5 : de 32 m exclu à 31 m inclus
HQP6 : de 31 m exclu à 30 m inclus
HQP6 : de 30 m exclu à 28 m inclus
HQP8 : de 28 m exclu à 26 m inclus
HQP9 : inférieure à 26 m

Hauteur dominante du hêtre à 120 ans

HFS0 : supérieure à 37,5 m
HFS1 : de 37,5 m exclu à 36,5 inclus
HFS2 : de 36,5 m exclu à 35 m inclus
HFS3 : de 35 m exclu à 33,5 m inclus
HFS4 : de 33,5 m exclu à 32,5 m inclus
HFS5 : de 32,5 m exclu à 32 m inclus
HFS6 : de 32 m exclu à 30 m inclus
HFS7 : de 30 m exclu à 28 m inclus
HFS8 : de 28 m exclu à 25 m inclus
HFS9 : inférieure à 25 m

Couple de torsion du hêtre

CFS0 : inférieur à 185 kg.cm
CFS1 : 190 kg.cm
CFS2 : 200 kg.cm
CFS3 : 210 kg.cm
CFS4 : 220 kg.cm
CFS5 : 230 kg.cm
CFS6 : 240 kg.cm
CFS7 : 250 kg.cm
CFS8 : de 260 kg.cm inclus à 290 kg.cm exclu
CFS9 : supérieur à 290 kg.cm

Variables morphologiques de l'étude des chênes.

Longueur du pétiole

LPT1 : inférieure à 5mm
LPT2 : 5 mm - 7 mm
LPT3 : 7 mm - 11 mm
LPT4 : 11 mm - 15 mm
LPT5 : 15 mm - 17 mm
LPT6 : supérieure à 17 mm

Longueur totale du pédoncule

LPD1 : inférieure à 5 mm
LPD2 : 5 mm - 11 mm
LPD3 : 11 mm - 35 mm
LPD4 : 35 mm - 50 mm
LPD5 : 50 mm - 65 mm
LPD6 : supérieure à 65 mm

Nombre de lobes

NL1 : inférieur à 8
NL2 : 8 - 9,4
NL3 : 9,4 - 10,2
NL4 : 10,2 - 10,9
NL5 : 10,9 - 12,2
NL6 : supérieur à 12,2

Angle des oreillettes

AO1 : inférieur à 85°
AO2 : 85° - 95°
AO3 : 95° - 105°
AO4 : 105° - 125°
AO5 : 125° - 145°
AO6 : supérieur à 145°

Hauteur de la plus grande largeur

HL1 : inférieure à 33 mm
HL2 : 33 mm - 35 mm
HL3 : 35 mm - 37 mm
HL4 : 37 mm - 40 mm
HL5 : 40 mm - 43 mm
HL6 : supérieure à 43 mm