

VOL. 1 :
GENERALITES

CATALOGUE
DES PRINCIPALES
STATIONS FORESTIÈRES
DE LA FORÊT DE
FONTAINEBLEAU

Mars 1993

VOL 1

A.M. ROBIN



Paris 6
UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

AGROPARISTECH BIBLIOTHEQUE NANCY
3 3004 00084393 1

III 2

Office National des Forêts

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

*Illustration
de Nicolas
Ponce*

CATALOGUE
DES PRINCIPALES
STATIONS FORESTIÈRES
DE LA FORÊT DE
FONTAINEBLEAU

Mars 1993

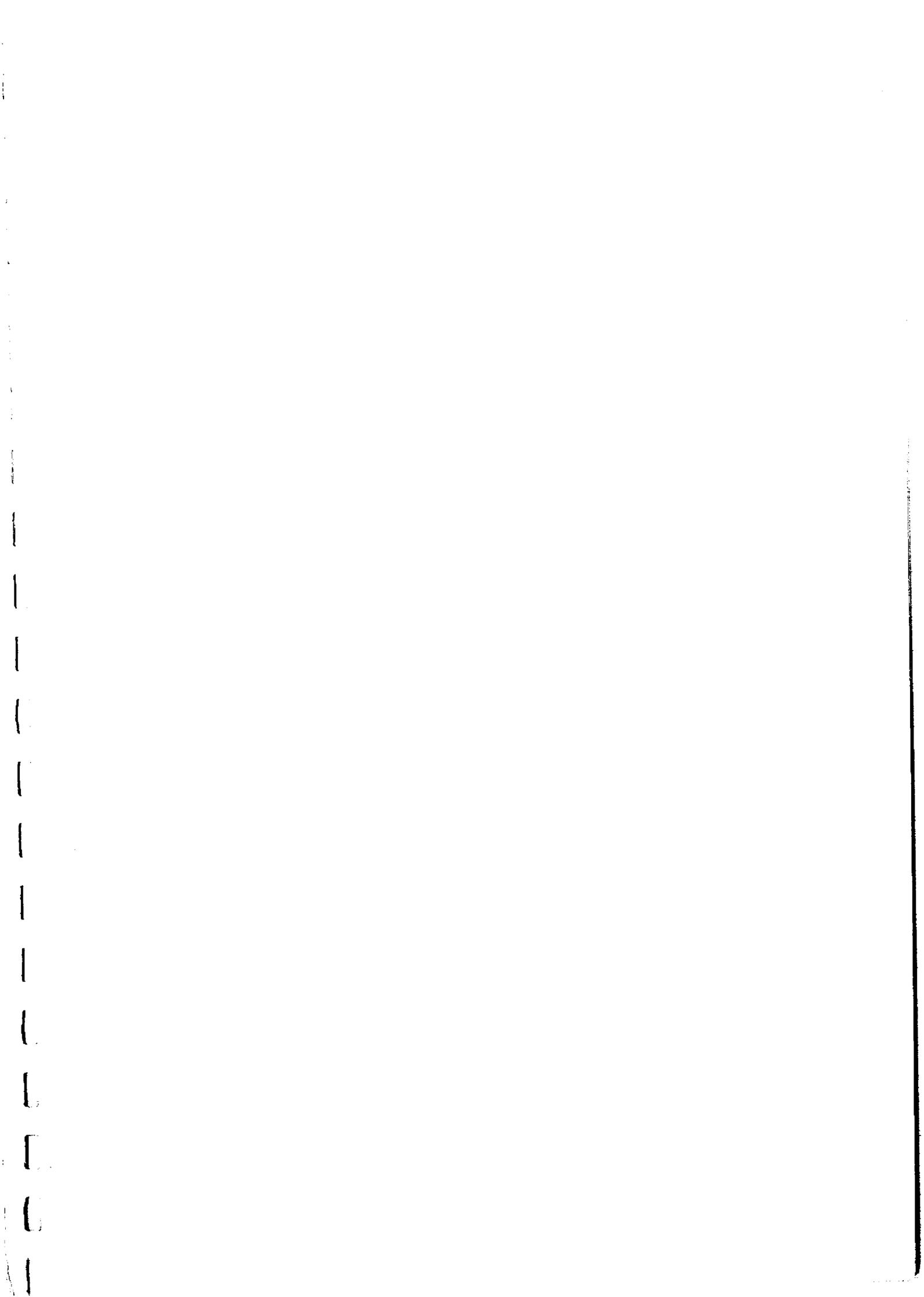
A.M. ROBIN

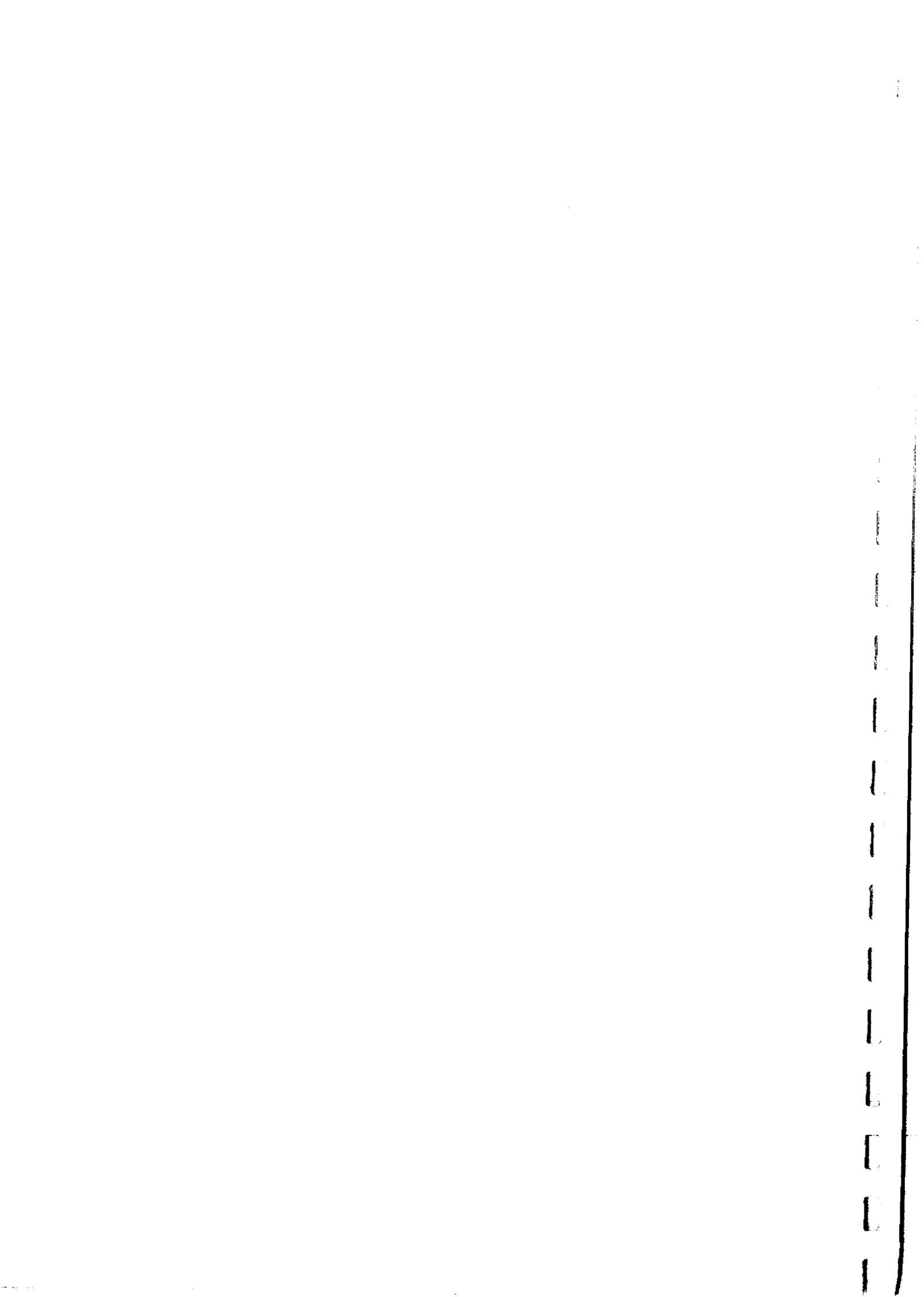


UP Paris 6
PMC
UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE


Office National des Forêts







CATALOGUE
DES PRINCIPALES
STATIONS FORESTIÈRES
DE LA FORÊT DE
FONTAINEBLEAU

Mars 1993

A.M. ROBIN

Cette étude, engagée en juin 1989, a été réalisée pour le compte de l'Office National des Forêts par A.M. ROBIN, Maître de conférences à l'Université Pierre-et-Marie Curie (PARIS VI) - Laboratoire de Géodynamique des Milieux Continentaux - U.F.R. Sciences de la Terre et Evolution des Milieux naturels...

Dépôt légal.

01 - 44 - 27 - 51 - 77 - Direct.
44 - 27 Standard
50 - 44 Labo.
50 - 46

Couverture du Catalogue : Sommité du Mont Aigu
Galerie des Assiettes, Chateau de Fontainebleau.

CS III - 1 (1)

AVANT-PROPOS

La nécessité de connaître et de reconnaître notre terre amène les naturalistes à certaines études, comme celle-ci, demandée par l'Office National des Forêts, et réalisée par l'Université Pierre et Marie Curie (PARIS VI). (.)

Aussi, considérant l'urgence d'une cartographie des sols forestiers pour notre pays, je sais gré à Monsieur X. LAVERNE, Directeur Régional d'Ile de France de l'Office National des Forêts, d'avoir été à l'écoute du courant scientifique de réalisation des catalogues de stations forestières, premiers instruments de cette cartographie, et d'avoir permis l'organisation de la mise en page du chapitre "catalogue" dans le service de la Direction Régionale.

Je suis sensible à l'intérêt que Monsieur D. PAULY, Adjoint au Directeur Régional, a toujours porté à la pédologie et je lui suis reconnaissante d'avoir transmis l'esprit d'ouverture de Monsieur J.P. LARRIVAL, son prédécesseur, lui-même très proche des scientifiques - et dont nous honorons la mémoire.

Je remercie Monsieur J. GIRARD, Chef du Service Départemental ONF de Fontainebleau en 1989 et pendant la plus grande partie de cette étude, d'avoir reconnu l'importance de ce travail et d'avoir accepté que s'instaure un réel dialogue forestiers-scientifiques par la participation de l'Office National des Forêts sur le terrain.

Je souhaite que la recherche de classement de ce catalogue, orientée précisément sur les potentialités que le sol offre aux arbres, soit une aide pour la cartographie des sols nécessaire pour le nouveau Plan d'aménagement de la forêt.

Je remercie Monsieur P. LEROY, Chef du Service Départemental ONF de Fontainebleau depuis 1992, et Madame M. LEGAY, son adjointe, pour leur accueil qui a permis l'harmonisation de la fin de cette étude et qui m'autorise à espérer la permanence du dialogue forestiers-scientifiques.

Je suis très reconnaissante à Monsieur G. PERROTTE, Chargé de Mission à la Direction Générale de l'ONF, de s'être intéressé à ce travail, facilitant la réalisation du chapitre "catalogue" par une aide informatique.

Enfin, nous avons tous pu nous réjouir de la venue sur le terrain de Monsieur le Professeur Ph. DUCHAUFOR, Directeur honoraire du Centre CNRS de Pédologie de Nancy, et de Monsieur le Professeur M. BONNEAU, Directeur honoraire du Centre INRA de Recherches Forestières de Nancy Champenoux, à qui j'exprime personnellement tous mes remerciements pour avoir bien voulu donner leur avis sur toutes les suggestions proposées quant aux essences souhaitables, ainsi consignées pour chaque station.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

REMERCIEMENTS

à

Messieurs :

G. ARNAL - Chargé de mission - DIREN Ile de France

J. BARDAT - Chargé de mission - DIREN Orléans

J.C. BOISSIERE - Maître de conférences - Université P.M. CURIE

A. FAILLE - Maître de conférences - Université P.M. CURIE

pour les reconnaissances des plantes, mousses, lichens des stations et pour la phytosociologie des plantes indicatrices du Massif de Fontainebleau.

J.P. BATTIN Technicien supérieur ONF - Sylvétude - Direction Régionale pour la mise en page sur ordinateur de la description des stations.

{ A. MARCHAND Techniciens forestiers du Service
C. MAUDUA Départemental de Fontainebleau

pour les compléments de botanique et la participation à la reconnaissance des stations sur leurs secteurs, lors de l'étude de terrain.

les Techniciens forestiers COURTOIS, DROUET, GAZZOLA, et WALLET ainsi que les Agents forestiers GIARD, MEJAT, PRIGENT pour les informations sur leurs secteurs.

Madame S. DA MATHA SANT'ANNA - ex Université P.M. CURIE pour la frappe du document.

Monsieur J.L. SCHREINER, Mesdames R. ROURE, C. GUEGUEN - ONF pour la frappe des tableaux d'analyses.

Messieurs P. BOICHE et G. SANCHEZ ainsi que A. DUCOLLET - ONF pour l'aide apportée lors de l'exploitation des fosses.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

PREAMBULE "*Fontainebleau*"

1

INTRODUCTION

3

Première Partie : LE MILIEU NATUREL DU MASSIF DE FONTAINEBLEAU

5

LA SITUATION GEOGRAPHIQUE

7

LE CLIMAT AUJOURD'HUI

7

Les températures

9

La pluviosité

11

L'hygrométrie

Les vents

Microclimat sous forêt

13

Influence du climat sur la pédogenèse

Tableau récapitulatif des données climatiques

15

LA GEOLOGIE DANS LE TEMPS

Les roches formées hier ... à l'origine des sols d'aujourd'hui

19

Le relief

L'histoire géologique

21

Les sédiments en relation avec les sols

23

La roche mère la plus fréquente..... sables "soufflés"

Le matériau sablo-graveleux issu de l'altération du calcaire d'Etampes

27

Le calcaire d'Etampes

29

Les sables stampiensroche mère ?

30

Le calcaire et la meulière de Brie

31

Les marnes vertes et les marnes blanches

Le calcaire de Champigny

Les terrasses ou formations alluviales de la Seine

32

Hydrogéologie

LA VIE AU COURS DE LA PREHISTOIRE ET DE L'HISTOIRE

35

Les vestiges archéologiques

L'évolution postglaciaire de la végétation

36

L'évolution historique de la forêt

39

Deuxième Partie : BUT ET METHODE – FLORE ET SOL – CARACTERES DIAGNOSTIQUES

BUT ET METHODE DE L'ETUDE	51
LA FLORE : VEGETATION ACTUELLE DU MASSIF ET ROLE DANS LA DETERMINATION DES STATIONS	54
LES SYLVOFACIES	
I – Les sylvofaciès et leur interdépendance avec l'humus	
II – Les sylvofaciès et les caractéristiques des principales espèces cultivées	56
III – Les sylvofaciès et les régimes de sylviculture forestière	60
LES GROUPEMENTS VEGETAUX	62
I – Les espèces socioécologiques indicatrices	
II – Les associations végétales	71
LA FLORE ... UNE CLE POUR LA DETERMINATION DES STATIONS ?	72
LE SOL : SUBSTRAT DE CROISSANCE DES ARBRES DE LA FORET	74
PEDOGENESE ET APPARITION D'HORIZONS	
LES CONSTITUANTS DU SOL ET LEUR ROLE SUR LES PROPRIETES NUTRITIVES	76
I – Les constituants solides minéraux	
1) le squelette minéral	
2) le complexe d'altération = source de la richesse minérale	77
II – Les constituants solides organiques	78
1) les organismes vivants	
2) la matière organique fraîche	80
3) l'humus	81
III – Les solutions du sol	
1) leur origine	
2) leur rôle chimique	
IV – Les constituants gazeux = atmosphère du sol	83
LES CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET LES PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES DU SOL	85
I – les humus	
1) morphologie des différents types d'humus	
2) influence des types d'humus dans la nutrition des plantes	86
II – la structure – liée à la texture – impact sur la respiration des racines et sur l'alimentation en eau des plantes	89
1) définition et types de structures	
2) conséquences des types de structure et de texture	90
LES TRAVAUX DU SOL ... UNE AIDE OU UN DANGER ?	93
EVOLUTION DU SOL PROCESSUS PEDOGENETIQUES ET PRINCIPAUX TYPES DE SOLs A FONTAINEBLEAU	95
CARACTERES DIAGNOSTIQUES POUR UNE CLE DE DETERMINATION DES STATIONS	100

Troisième Partie = catalogue : PRINCIPALES STATIONS FORESTIERES	109
- Dépôts minces ou peu épais de sables soufflés sur les MONTs-PLATEAUX de calcaires d'Etampes ou sur les hauts de pente	113
- Dépôts ± épais de sables ± limoneux soufflés sur les MONTs-PLATEAUX de calcaires d'Etampes ou sur les pentes	151
- Exceptions et cas particuliers sur sables soufflés des plateaux ou platières Paysages stampiens - Pentes	179
- Dépôts sableux d'épaisseur très variable soufflés dans les PLAINES de la forêt	205
- Succession des terrasses du NNE de la forêt et des affleurements des calcaires de Brie, marnes vertes, marnes de Pantin, calcaires de Champigny	233
- et suite	255
- Terrasse ancienne Fv du NNW de la forêt	281
- Zone basse des alentours de la mare aux Evées	309
 Quatrième Partie : CONCLUSION	 337
1 - Rôle restreint de la végétation comme caractère indicateur des "stations forestières de Fontainebleau"	338
2 - Nécessité de détermination des caractères pédologiques pour la distinction des "stations forestières de Fontainebleau"	340
3 - Principales stations forestières de la forêt de Fontainebleau	
4 - Attention ... fragile.	354
 CLE de détermination pratique des stations	 356
 BIBLIOGRAPHIE	 364
 CARTE GEOLOGIQUE en annexe	



FONTAINEBLEAU : OÙ LES STATIONS FORESTIÈRES RAPPELLENT LA PRIMORDIALITÉ DU SUBSTRAT

Anne-Marie ROBIN

Si la valeur de la forêt tient au prix qu'offre la ressource du bois... dont chacun profite, elle provient aussi du caractère particulier de la forêt : bien au-delà de son rôle d'abri lors des premiers temps de l'humanité, celui de facteur essentiel dans l'équilibre des écosystèmes et dans l'évolution climatique de la terre.

C'est en vue d'effectuer les meilleurs choix de ressources, c'est-à-dire de déterminer les essences arborescentes les plus opportunes en fonction des richesses et des fragilités du substrat, que des études de stations sont ainsi réalisées depuis quelques années.

Les "catalogues de stations forestières" doivent donc mettre en évidence la variété et les caractéristiques du substrat sur lequel poussent les arbres — c'est-à-dire le sol — car la réponse des arbres varie avec la station : "*étendue de terrain homogène dans ses conditions écologiques, et d'égale potentialité quant à la production*".

Ce type d'étude ayant une vocation parfaitement utilitaire doit donc fournir une clef de détermination, la plus simple possible, sans perdre pour autant la moindre information sur les facteurs responsables des potentialités. Les critères de reconnaissance des stations (ou caractères diagnostiques) doivent donc rester fidèles à toute la réalité malgré sa complexité. C'est ainsi que, lorsque la clef peut être entièrement basée sur la flore herbacée, ce mode est préférable car plus rapide. Mais bien souvent, en particulier en milieu acide sur sables, la flore est rare comme c'est le cas à Fontainebleau où la clef de détermination des stations est essentiellement pédologique, même si la flore peut renseigner dans bien des cas.

Cet article présente une analyse du milieu naturel du massif de Fontainebleau et les caractères diagnostiques des stations (service immédiat du catalogue), en ouvrant l'attention vers l'évaluation du substrat nourricier des arbres (nécessaire vue d'avenir pour la gestion).

LE MILIEU NATUREL DU MASSIF FORESTIER DE FONTAINEBLEAU

Ce massif, situé en Ile-de-France, à une soixantaine de kilomètres au sud de Paris, entre la Brie, le Gâtinais et la Beauce, est l'une des plus grandes forêts du pays avec à peu près 20 000 hectares limités par trois rivières : la Seine, le Loing et l'École.

Le climat au

Plus continer
aux nombre
Doignon (19

— Les t
séquanien, s
survenant un
extrêmes the
nier se mani
temps et un

— La pi
remarquable

— L'hyg

— Les v

trophique poi
des Hêtres e
nombre de m
tier des étage
de futaie régu

— La ré

Elle est, en r
d'évaluation

— Le di
mois d'hiver,
accompagnar

— Le dé
déficit climati

En conclusio
de sécheress
facteurs impo

La géologie d

Les roches fo
offertes à la f
sont vouées à
inhiber, freine

• Les formes
révèlent :

— les "M

130 m d'altitu

— les "P

Certaines de

gine périglacia

— les pe

— quelq

— quelq

L'observation



biologie et forêt

FONTAINEBLEAU : POTENTIALITÉS ET FRAGILITÉ DU SUBSTRAT. CHOIX DES ESSENCES OPPORTUNES

Anne-Marie ROBIN - M. BONNEAU

À partir d'un catalogue détaillé des principales stations forestières de la forêt de Fontainebleau (Robin, 1993), un premier article de synthèse ⁽¹⁾, présentant la description du milieu naturel, en particulier celle des sédiments et des sols, amenait à considérer les principaux facteurs de la croissance des arbres. Le rôle restreint de la végétation oriente vers des caractères diagnostiques nécessairement pédologiques : la clef de détermination des stations forestières rappelle effectivement, à Fontainebleau, la primordiale du substrat.

Ici, nous présentons les principaux ensembles écologiques du massif, en rappelant l'origine des potentialités du substrat, et nous indiquons les critères de choix des essences forestières. Ces suggestions, qui sont proposées aux gestionnaires de la forêt chargés d'élaborer son aménagement, reposent sur :

- la connaissance pédologique des stations ;
- les connaissances générales sur l'adaptabilité des espèces forestières aux différents milieux ;
- les constatations faites, au cours de l'établissement du catalogue, de la plus ou moins bonne réussite des grandes essences sur les différents sols de la forêt : la nature reste le meilleur témoin intégrant tous les facteurs ;
- la conviction que les sols de Fontainebleau (tous ceux qui sont sur matériau sableux) sont fragiles et que le choix des essences principales doit ne pas entraîner de risque de dégradation du sol, mais au contraire contribuer si possible à l'améliorer, notamment par des essences associées ;

(1) Cf. article de Anne-Marie ROBIN. — Fontainebleau : où les stations forestières rappellent la primordiale du substrat. — *Revue forestière française*, n° 6, 1995, pp. 628-645.



FONTAINEBLEAU

Une forêt et un château.

*C'est au château que la ville doit son caractère.
Et c'est à la forêt que le château doit son existence.*

Une forêt attirante donc-

et si particulière parmi toutes. Pourquoi ?

Le terme de "chaos", désignant les rochers ancrés sur les pentes, ne révèle t-il pas, avec toute la puissance que l'ancienneté de notre civilisation donne au langage, l'inquiétude principale qui habite tout un chacun ?

Les chaos consacrent donc officiellement, à Fontainebleau, le mystère de la forêt, ailleurs latent dans la forêt profonde.

Mais "ailleurs", c'est aussi Fontainebleau : c'est la futaie que l'homme fait fructifier, à juste titre, et malgré la fréquente pauvreté du substrat.

Cette fragilité du sol rend effectivement la tâche du forestier difficile,

*mais assurer la nécessité du présent,
tout en sauvegardant l'avenir...*

n'est que plus passionnant.



INTRODUCTION

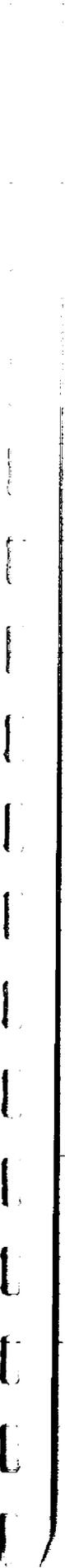
Mieux connaître le milieu naturel est, pour le forestier, une nécessité... qui se transforme en obligation : "nécessité", en effet, pour projeter la meilleure exploitation possible de la forêt, mais "obligation" dans la mesure où le forestier, pour ménager l'avenir, se trouve "lié" aux lois du milieu naturel qui sont contraignantes : par exemple, la composition chimique des litières fournies par les espèces arborescentes influe sur l'évolution du sol ... or, ce sera toujours sur le sol que pousseront les arbres.

Le sol, substrat nutritif de la végétation, est donc à la base des études de stations forestières, dont la cartographie sera facilitée par les données floristiques ... si les plantes - révélatrices du milieu - sont là. Ce qui n'est, bien souvent, pas le cas à Fontainebleau.

Le forestier ne pourra alors plus cartographier les différentes stations en se fiant à la définition : "étendue de terrain homogène dans ses conditions écologiques" .. s'il en attend la révélation par la végétation. Mais il se retrouvera devant la définition qui l'intéresse : "surface homogène d'égale potentialité"... le sol encore.

Les variations multiples de l'érosion et de la sédimentation, au cours des dernières époques géologiques et pendant le Quaternaire en particulier, donnent un nombre si élevé de cas de figures que la présentation exhaustive en aurait été sans intérêt pour le forestier. Nous nous sommes donc appliquée à répondre à la demande, en axant la conception de ce catalogue sur des regroupements de stations en fonction de l'équipotentialité du sol pour les arbres.

Pour le forestier.



LE MILIEU NATUREL

DU MASSIF

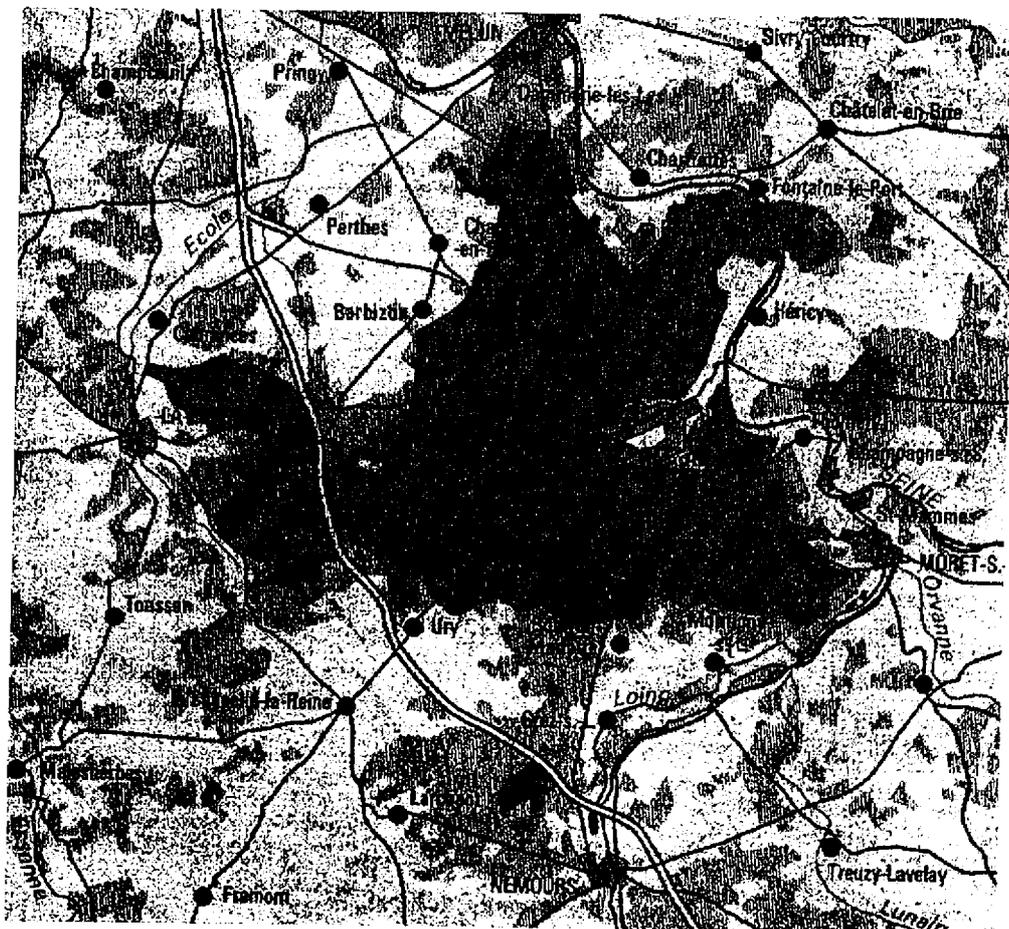
DE FONTAINEBLEAU



SITUATION GEOGRAPHIQUE

DE LA FORÊT DE
FONTAINEBLEAU

— 10 km.



— 5 km.

LA SITUATION GEOGRAPHIQUE

7

La forêt de Fontainebleau et des Trois Pignons – cadre de cette étude – se trouve au Nord du Gâtinais, à l'Est de la Beauce et au Sud-Ouest de la Brie – à une soixantaine de kilomètres au Sud de Paris, dans le département de Seine et Marne.

Ce massif forestier – limité en son pourtour Nord, Est et Sud par la Seine et le Loing, et, à sa pointe Ouest, par l'École – recouvre à peu près vingt mille hectares en possession "domaniale" (Planche I).

LE CLIMAT aujourd'hui

L'ensemble des conditions atmosphériques a des conséquences sur la dynamique interne des sols, ainsi que sur la vie et la morphologie de la forêt.

L'histoire et la situation géographique ont déterminé la qualification de "séquanien" au climat du Bassin de la Seine et de la région parisienne. Ce climat séquanien est déterminé par les influences :

- océanique de l'W-SW qui gouverne le régime des pluies,
- boréo-continentale du N-NE qui régit la rigueur des hivers,
- méditerranéenne du S-SE qui conditionne la douceur des étés.

Ces influences sont aussi responsables des caractères du climat local du Massif de Fontainebleau. Celui-ci se distingue néanmoins par des variations qui tendent à le classer dans un type plus continental que le climat séquanien moyen, ce qui ne permet guère de le comparer aux nombreux climats forestiers souvent modérateurs et régulateurs.

Le "mésoclimat forestier de Fontainebleau" (DOIGNON 1948) – étude établie en comparaison avec le climat séquanien – rassemble les données des années 1883 à 1946, dont nous présentons ici les principales caractéristiques. Pour Paris, les données viennent en réalité de Saint Maur. Pour Fontainebleau, elles proviennent de stations météorologiques situées en lisière de la forêt (mésoclimat) : ces mesures de température "sous abri" se trouvent entre les valeurs obtenues en plein air à l'ombre et les valeurs qui existent sous feuillus en forêt (Planche II, figure 1). Nous ne tenons pas compte ici des variations climatiques qui existent parfois entre les points extrêmes de la forêt.

Ces variations, liées à l'environnement topographique, existent aussi au niveau de la lisière interne de la forêt : c'est ainsi que la différence entre la moyenne annuelle de 8°9 sur 64 ans (1883 à 1946) et celle de 10°2 pour la période séculaire (1883 à 1983) semble pouvoir provenir en partie des changements de lieux d'enregistrement : les Héronnières pendant 9 ans, le laboratoire d'Avon pendant 45 ans, puis Boulevard Le Primatice – et enfin Boulevard Orloff pendant 43 ans, où le même observateur (avantage certain) a pu noter que la moyenne annuelle était "depuis lors" (1946).. toujours supérieure à 10°.. dans cette partie plus abritée de Fontainebleau. Le climatologue rigoureux, toujours attentif à la permanence des lieux d'enregistrement, ne manquerait pas d'en considérer les changements. Depuis 1989, les enregistrements se font à la Faisanderie. Les relevés météorologiques sont consignés par P. Doignon en informations mensuelles dans le Bulletin de l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing, depuis la création de la revue. Le suivi de ces données est à la fois une grande chance et une nécessité pour Fontainebleau.

Les extrêmes climatiques, particulièrement intéressants pour le forestier, restent les mêmes pour la période séculaire et pour la période des 64 premières années.

PLANCHE II

d'après P. DOIGNON

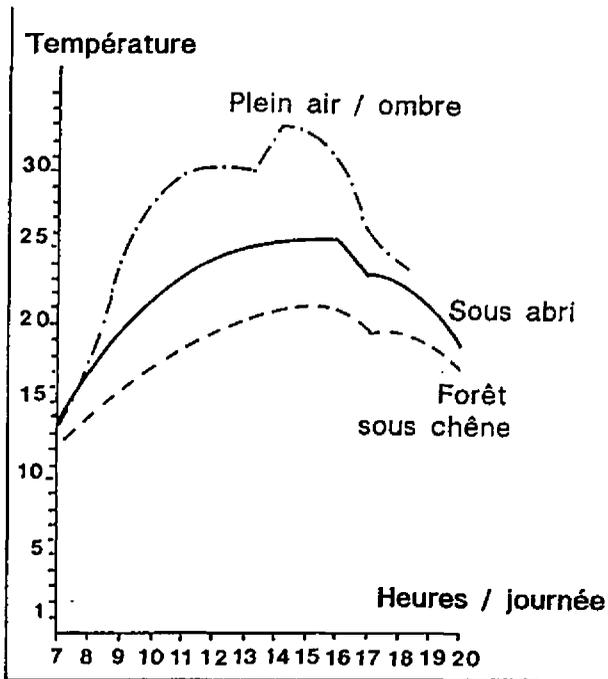


Fig. 1 VARIATIONS MICROCLIMATIQUES (résultats sous abri = mésoclimat)

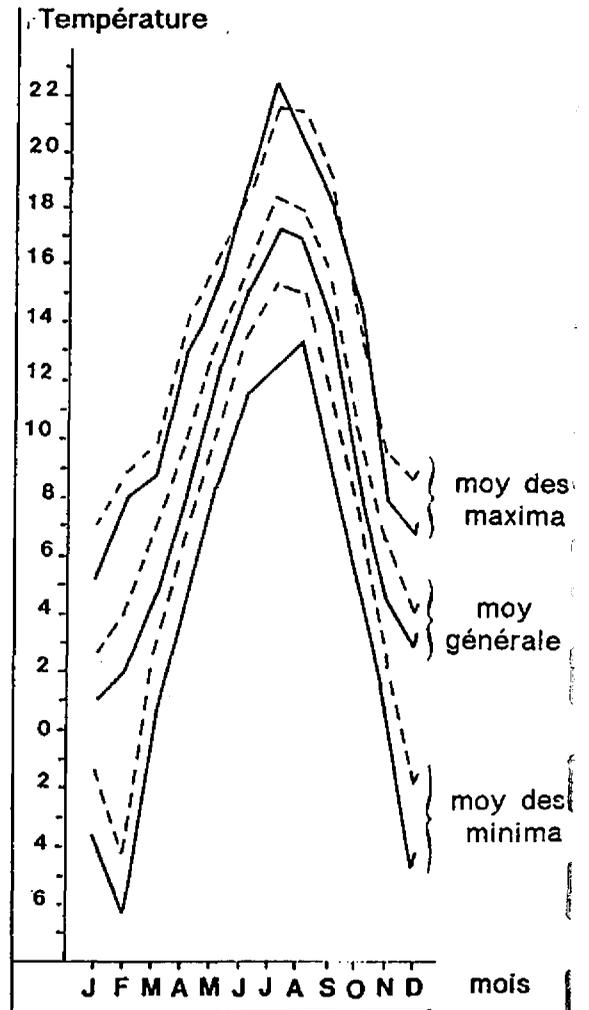


Fig. 2 MOYENNES THERMIQUES

— Fontainebleau
- - - Paris

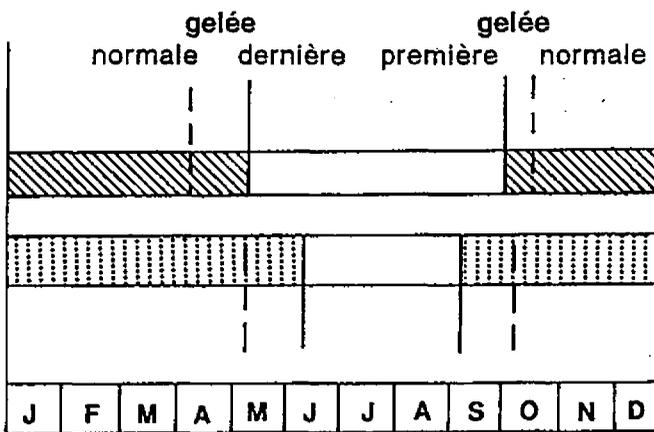


Fig. 3 GELEES SAISONNIERES (Iablokoff 1953)
..... Fontainebleau // Paris

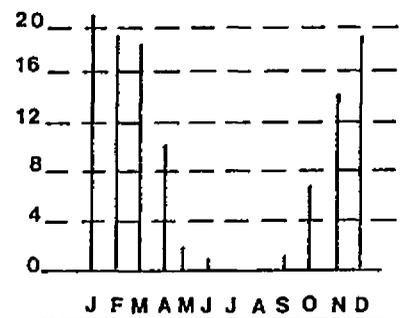


Fig. 4 NOMBRE MOYEN DE JOURS DE GELEE / mois

La moyenne thermique générale de 8°9 (sur 64 ans) qui serait de 10°2 sur la période séculaire, est inférieure de 1°5 à celle du climat séquanien, à cause de la forêt qui provoque un abaissement notable.

Les moyennes mensuelles sont inférieures à celles du climat séquanien mais les courbes sont homothétiques (Planche II, figure 2).

Le maximum est en Juillet, le minimum en Février; l'écart entre le mésoclimat de Fontainebleau et le climat séquanien est maximum en hiver, minimum en été.

Le caractère plus continental de Fontainebleau se marque par des maxima thermiques dépassant ceux du climat séquanien, et des minima très inférieurs. Le nombre de jours de gelée, sous abri, est de 107 en moyenne (Planche II, figure 4) contre 60 dans le Bassin Parisien. Des gelées précoces, ou tardives peuvent sévir, comme l'illustre IABLOKOFF (1953) (Planche II, figure 3), et, entre les années 1883 et 1946, il y eut en moyenne à Fontainebleau 7 journées par an avec un minimum inférieur à - 10°.

Soixante quatre années représentant à peu près le quart de la vie d'un beau chêne, il est sûr que, *pour le choix des essences, le forestier pourra prendre en considération les valeurs présentées dans le tableau I, en particulier les "extrêmes thermiques"*.

Faut-il rappeler que dans son livre édité en 1873, DOMET évoque les funestes effets de l'hiver 1709, de l'hiver 1819-20 *"dont la rigueur fit périr six millions et demi de plants dans les pépinières et près de un million en pleine forêt"*... il y eut aussi les (-30°) d'une nuit de Décembre 1871 qui fut fatale à quelques cèdres, pins pignons et pins maritimes. A propos des gelées printanières, souvent désastreuses à Fontainebleau, DOMET - Inspecteur des Forêts - rappelle (page 175 de son ouvrage) *"la difficulté qu'ont les jeunes bois, naturels et artificiels, à s'élever sans couvert. Ils sont bien venants dans les premières années, mais leurs cimes se séchent aussitôt que les pousses atteignent la hauteur du brouillard, et souvent ils s'étioilent et meurent avant d'avoir pu dépasser le niveau supérieur de celui-ci. Nous avons dit plus haut que la Commission chargée de l'Aménagement de la forêt s'est fait de cette difficulté un argument en faveur du traitement en futaie..."*

Si le Pin sylvestre est alors noté comme espèce peu sensible à ces gelées, nous verrons qu'elle appauvrit suffisamment gravement le sol pour que sa présence ne soit pas favorisée sur les sols des sables soufflés, permettant de meilleurs espoirs.

Rappelons les cantons les plus menacés par ces gelées : "la petite Haie, les Placereaux, les Ventes au Diable, la Tranchée, les Ventes Héron, les Canches Guillemette, la Plaine de Macherin, le Grand Parquet, la Vallée de la Solle, le Mont Gauthier, les Vieux Rayons et les coteaux qui bordent la Seine"... ainsi que la Plaine de Chanfroy (autrefois du Champ Froid).

Les effets de ces extrêmes thermiques sont à corrélés à leur durée, et pour les maxima, à la réserve en eau - fonction des caractéristiques du sol, de la saison ou de l'année... voire de la période, dont l'occurrence est imprévisible.

Malgré le réchauffement que semble en partie traduire l'élévation de la moyenne thermique annuelle - sur le siècle par rapport aux 64 premières années - *il serait sans doute imprudent que le forestier se fie à l'importance de l'effet de serre, dont on parle tant, pour ne plus croire aux possibilités d'extrêmes thermiques "minima"*, qui ne seraient pas sans effet dans la forêt : l'idée du réchauffement actuel provient le plus souvent du fait que les stations météorologiques sont proches des villes. Ces sites urbains, incontestablement plus "chauds", peuvent fausser l'évaluation à l'échelle de la planète comme le rappelle DORIZE (1992).

De manière générale, l'équilibre saisonnier se manifeste à Fontainebleau par l'apparition assez subite de l'été qui se prolonge en Septembre, par un printemps et un automne relativement courts, un hiver précoce, rude et tenace.

PLANCHE III

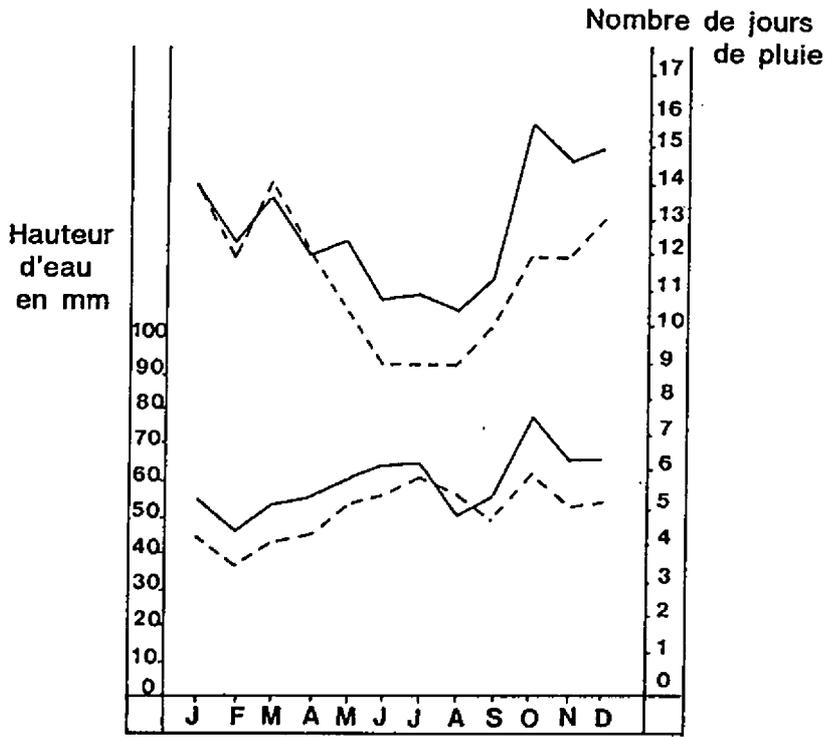


Fig. 5 REGIMES PLUVIOTHERMIQUES
— Fontainebleau --- Paris

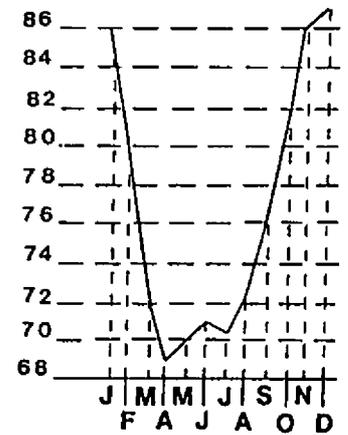


Fig. 6 HYGROMETRIE
Moy en % / mois

d'après P. DOIGNON

ANNEE MOYENNE

1987

1990

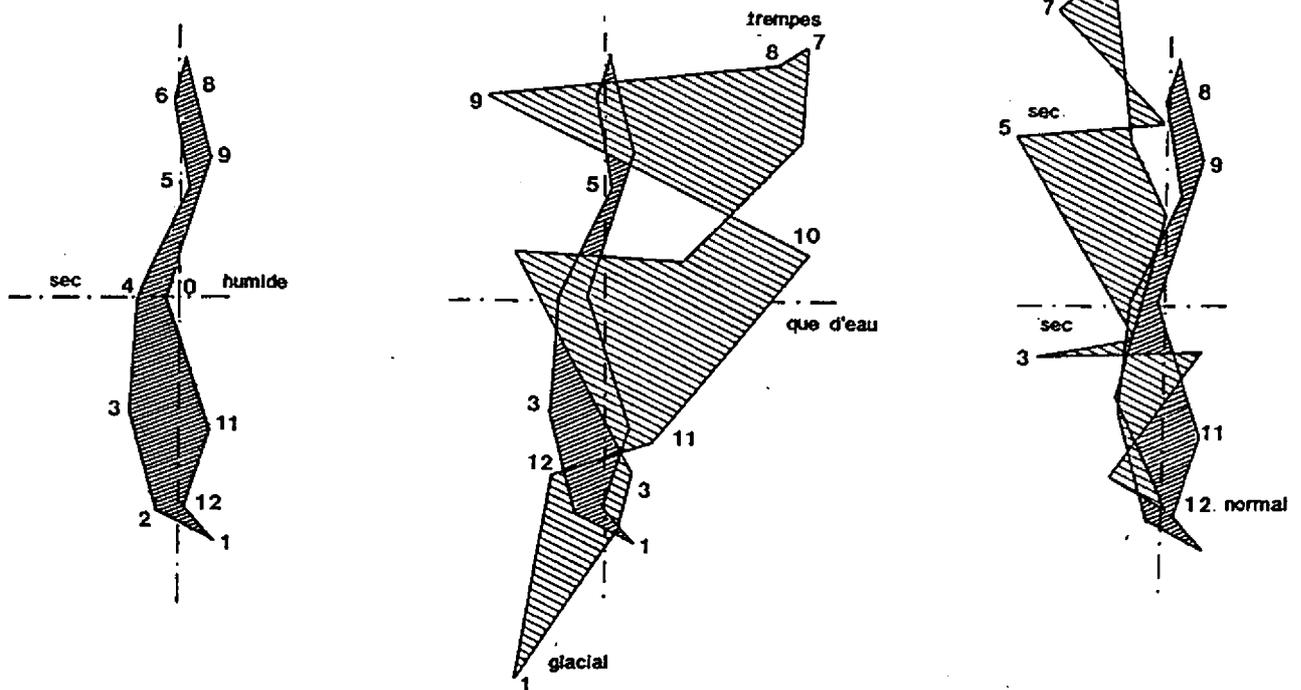


Fig. 7 CLIMATOGRAMMES DE DEUX ANNEES RECENTES d'après G. Naudet (1991)

Le régime pluviométrique local se caractérise de manière complexe avec "dominance atlantique, subissant l'influence aquitano-ligérienne (maxima d'automne), subméditerranéenne (déficit d'été), subcontinentale (accroissement au printemps, maximum secondaire postvernal), océanique (fortes et abondantes pluies d'automne), armoricaine (bruines et crachins hivernaux)".

La lame annuelle est de 696 mm., ou de 722 mm. pour le siècle, avec un maximum en Octobre et un minimum en Février (Tableau I). L'excès notable de la pluviosité générale (17 % en moyenne) par rapport au climat séquanien est un caractère propre à toutes les forêts, mais la caractéristique bellifontaine se trouve dans la répartition de cet excès pendant l'année : 20 à 29 % entre Octobre et Mars, seulement 12 à 18 % au printemps, nul ou même inversé en été (Août = -7 %). D'autre part il pleut en moyenne 152 jours, ce qui représente un excès de 18 % sur la moyenne du Bassin Parisien (Planche III, figure 5).

On doit remarquer une réduction de 60 % des orages : ceux-ci s'engagent la plupart du temps dans les vallées de l'École et du Loing, se dirigeant vers la vallée de la Seine. Par contre lorsque les rares orages stationnent au dessus du massif de Fontainebleau, il y a aggravation de leur durée et de leur intensité.

Les variations climatiques observées à l'échelle nationale se répercutent évidemment sur la région. C'est ainsi que la décennie 1979-1988 a présenté une moyenne de 863 mm. excédentaire de 141 mm. sur la normale du siècle, avec deux années 1981 et 1984 supérieures l'une et l'autre à 1000 mm. Fontainebleau a aussi enregistré la relative sécheresse de ces trois dernières années, avec 591mm. en 1989, 519 mm. en 1990 et 572 mm. en 1991. Si ces valeurs sont encore éloignées du record inférieur des 399 mm. de l'année 1921, *l'existence de périodes de sécheresse étalée sur plusieurs années consécutives est à considérer pour le choix des espèces.*

La présentation de trois climatogrammes (Planche III, figure 7 d'après NAUDET 1991) illustre, par rapport à l'année moyenne, les variations de deux années récentes assez opposées : 1987 fraîche et très fortement pluvieuse (cinquième rang des années les plus arrosées depuis cent ans), et 1990 très douce et très sèche.

III – L'HYGROMETRIE

La moyenne est de 76,7 % avec un minimum en avril, un minimum secondaire en Juillet et un maximum hiémal (Planche III, figure 6). Les amplitudes sont plus fortes et les variations plus brutales que dans le climat séquanien. *L'hygrométrie de Fontainebleau convient au hêtre espèce exigeante en humidité atmosphérique.*

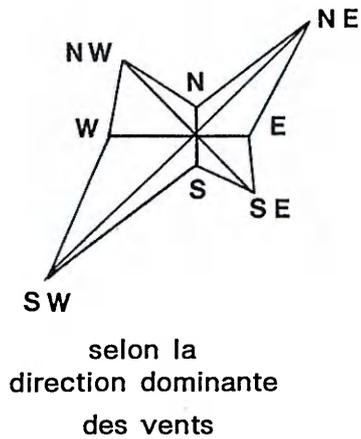
IV – LES VENTS

Deux directions dominant nettement : celle du Sud Ouest et celle du Nord Est, comme l'indique la rose de fréquence relative (Planche IV). Les moyennes annuelles précisent : SW 98 jours, NE 76 jours, NW 61 jours, N 17 jours et S 15 jours.

Il arrive que les vents aient une grande violence et qu'ils sévissent comme une tempête. Ce fut le cas des 3, 8, 11 et 26 Février 1990, mais surtout du 3 Février dont le record de 140 à 150 km/heure (W-SW) eut des suites catastrophiques. Le peuplement fut parfois considérablement détruit à certains emplacements (Planches IV et VI) – les hêtres et les pins s'avérant plus sensibles que les chênes.

PLANCHE IV

LA TEMPETE DU 3 FEVRIER 1990



arracha les chênes (20%)



chablis parcelle 228



... comme les hêtres (30%)... dans les réserves (Tillaie)



...comme dans les peuplements



et les pins (50%)



les rares épicéas, trop facilement !



certains arbres se cassant...



ou s'entraînant mutuellement dans leur chute.

Il semble que, malgré leur caractère éventuel de rafale cyclonique, ces tempêtes frappent régulièrement certaines zones. La comparaison d'images aériennes (exemple de thermographie provenant du L.N.E. Planche VI) issues de missions effectuées après les tempêtes permettrait de localiser les formes et emplacements des surfaces toujours ravagées : *des relations avec la topographie s'imposent par endroit* : la parcelle 240 qui subit *les remous s'engouffrant dans le goulet du Cabaret Masson, orienté SW comme le vent souvent dominant, en est un exemple* (Planche VII).

D'autres types de prévisions sont à envisager au niveau des successions de peuplements (quant à la hauteur des arbres) selon les axes des deux directions de vents dominants : DOLL (1988) a proposé, dans son étude des cataclysmes météorologiques en forêt, sur plusieurs régions de France, *la mesure préventive des étagements progressifs en hauteur, pour éviter les effets des limites brutales de ces peuplements de ... "futaie régulière" – forme particulièrement exposée aux méfaits des tempêtes.*

V – MICROCLIMAT SOUS FORET

La présence du couvert forestier a un rôle non négligeable et son influence est d'autant plus importante que la strate arborescente est composée d'espèces à feuillage dense, comme les chênes et les hêtres.

Pour la température, le revêtement forestier amortit les excès. Le feuillage intercepte les radiations, mais, par contre, garde mieux la chaleur captée : l'air calme et confiné par les couronnes des arbres permet moins d'échanges qu'en paysage découvert. De ce fait, l'amplitude nyctémérale est nettement plus faible sous forêt (GEIGER, 1959). Par ailleurs, en été, l'évaporation détermine une diminution de la température, par suite du changement de phase de l'état condensé à l'état de vapeur (d'eau).

La végétation traduit donc son action modératrice par la protection du sol contre l'insolation, de façon très sensible en été et beaucoup moins notable en hiver (feuillage caduc). Le feuillage intervient également en interceptant presque totalement les pluies fines, et partiellement les pluies plus importantes. La quantité d'eau reçue réellement par le sol, sera donc bien différente, en été, sous forêt de feuillus ou en zone découverte.

Pour l'hygrométrie, on note par contre – sous futaie – une augmentation microclimatique accusée en été, réduite en hiver. Les maxima élevés atteignent très souvent la saturation (310 jours en moyenne) mais sans formation de brouillards.

VI – INFLUENCE du CLIMAT sur la PEDOGENESE ... donc sur la CROISSANCE des ARBRES

Le schéma ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1957) indique un climat humide (pas de recoupement des courbes de la pluie et de la température – Planche V, figure 8). Le "drainage climatique" annuel correspond à celui des sols podzolisés, qu'il soit calculé selon AUBERT et DUPUIS (1952) ou selon TURC (1954).

Le bilan hydrique THORNTHWAITE (1948) considérant :

- les précipitations
 - l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est la " quantité d'eau évaporée par le sol garni de végétation, lorsqu'il est bien pourvu en eau "
 - et l'évapotranspiration réelle
- permet d'exprimer le cycle de l'eau dans le sol au cours de l'année (Planche V, figure 9 établie d'après les travaux de ARLERY, GARNIER, et LANGLOIS – 1954).

PLANCHE V

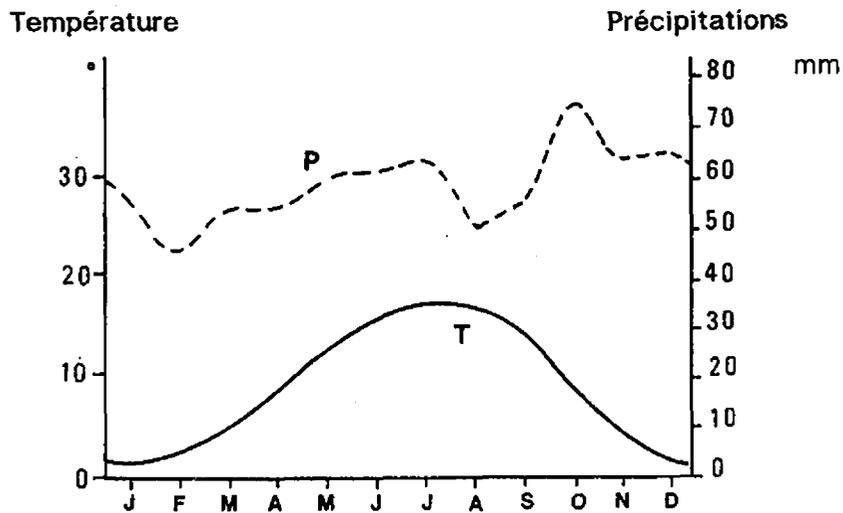


Fig. 8 SCHEMA OMBROTHERMIQUE de BAGNOULS et GAUSSEN

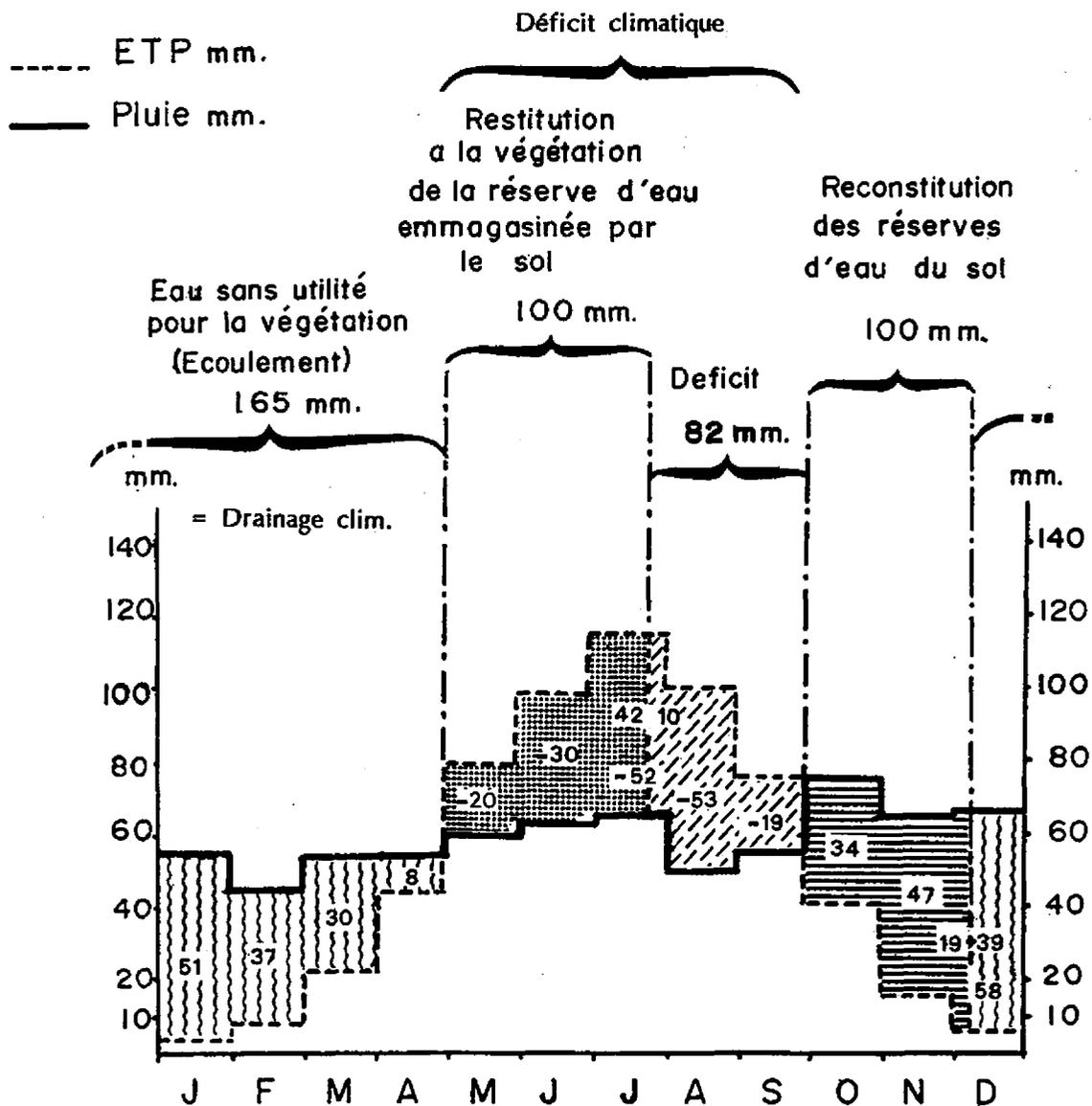


Fig. 9 BILAN HYDRIQUE THORNTHWAITE estimant la répartition de l'eau dans le sol au cours de l'année. (ROBIN 1968 - 79)

La réserve d'eau, définie par THORNTHWAITE comme "quantité optimale d'eau que le sol peut retenir et soustraire à l'écoulement hivernal", intervient pour atténuer les effets du manque d'eau, dès que $ETP > P$, soit à partir du mois de Mai, en Juin et Juillet dans le cas d'une réserve estimée ici à 100 mm pour des sols sableux. Pendant la période de déficit en Août et Septembre, les arbres survivent grâce à leurs racines profondes. Le "déficit climatique" correspond ici à 182 mm. La "réserve utile" se reconstitue entre Octobre et Décembre. L'excédent ensuite disponible pour le drainage climatique correspond à 165 mm répartis de Décembre à fin Avril, selon un mode de percolation : la porosité et la perméabilité du sol évitent les ruissellements de surface. → lessivage + podzolisation !

En conclusion, pour l'année, il existe *un déficit estival sur deux grands mois, déterminant un handicap pour la végétation*, mais les valeurs "annuelles" moyennes de $P > ETP$ expliquent *le drainage hivernal sur cinq mois - permettant les migrations descendantes responsables du processus de lessivage ou accompagnant celui de la podzolisation*.

Mais en réalité, la "réserve utile" est très variable puisqu'elle dépend de la granulométrie des horizons et de l'épaisseur de sol. L'eau capillaire retenue oscille ainsi, pour les sols drainés, entre 50 et 400 mm.; et lorsqu'une nappe phréatique existe, cette réserve utile est augmentée. *Ceci précise que, si la conclusion issue du bilan hydrique Thornthwaite reste valable pour la plupart des sols de Fontainebleau, il existe aussi des sols qui ne présentent guère de déficit estival, surtout dans les années humides.*

TABLEAU I - RECAPITULATIF DES DONNEES CLIMATIQUES obtenues entre 1883 et 1946

Janvier	1°1	-20°8	16°4	55	2	125	14	3	25
Février	2°1	-21°0	20°8	45	2	125	12	3	22
Mars	4°6	-15°0	27°0	53	0	114	14	1	23
Avril	8°1	-08°1	29°8	53	0	125	12	2	24
Mai	12°3	-04°8	34°2	59	3	170	12	3	24
Juin	15°1	-00°7	35°2	62	6	140	11	2	17
Juillet	17°2	+00°9	39°1	63	6	150	11	3	24
Aout	16°8	+01°5	38°2	50	7	122	10	4	22
Septbre	13°9	-02°9	36°6	55	1	138	11	3	20
Octobre	08°8	-06°6	28°5	74	15	217	16	4	28
Novbre	04°4	-13°5	21°1	63	11	162	15	4	26
Décbre	01°8	-18°0	15°0	64	17	138	15	4	25
ANNEE	08°9	-21°0	39°1	696	399	1161	152	102	210
	Moyenne générale	Minima Extrêmes	Maxima	Moy. Lamé d'eau en mm.	Mini	Maxi	Moy. Jours de pluie	Mini	Maxi

TEMPERATURES

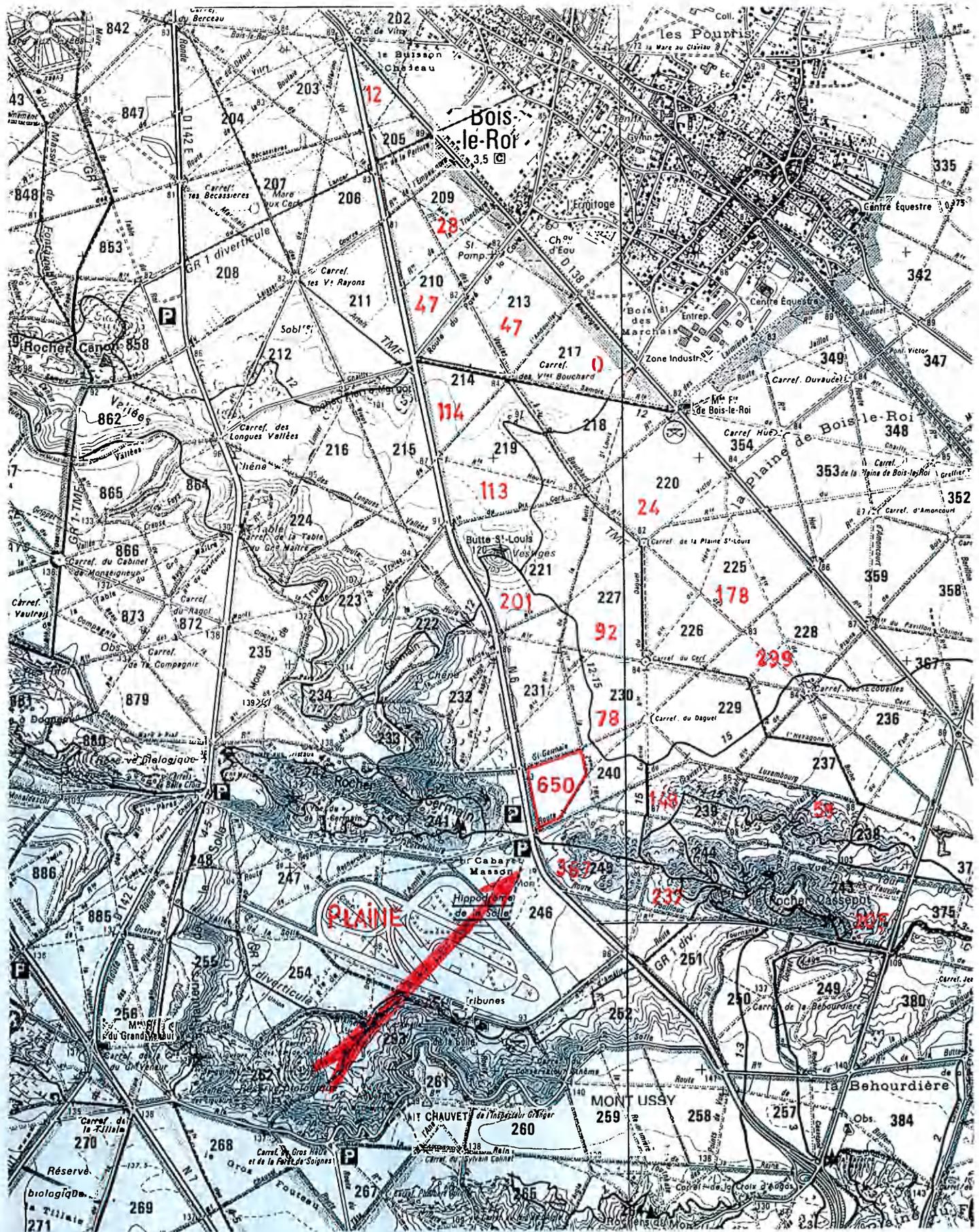
PRECIPITATIONS

PLANCHE VI



IMAGE INFRAROUGE - Avril 1990 - 3 heures du matin -
Nous remercions Monsieur BURKHALTER du L.N.E. de nous avoir aimablement
communiqué cette thermographie.

Localisation des chablis (parcelle 866) près du Carrefour du Cabinet de Monseigneur.



EXEMPLE DE PARCOURS OBLIGATOIRE DU VENT DOMINANT ET DE SES CONSEQUENCES
lors des tempêtes

Indépendamment de la structure du peuplement, il semble que le couloir du Cabaret Masson soit toujours le lieu de ravages catastrophiques, comme l'indique le nombre remarquable de chablis situés dans cet axe.

Nous remercions Monsieur PRIGENT (ONF) de nous avoir diligemment fourni ces données.



Le canal 6 (0,7-0,8 micromètre), situé dans le début du proche infra-rouge, permet de visualiser l'extension de la forêt et des bois alentours, les alignements gréseux, l'emplacement des carrières.



Le canal 7 (0,8-1,1 micromètre), correspondant à l'émulsion photographique infra-rouge noir et blanc, distingue les boisements de résineux (gris sombre) des boisements de feuillus (gris très clair).

Les roches formées hier... à l'origine des sols d'aujourd'hui

Les roches, en s'altérant, donnent les sols. De ce fait, ceux-ci ont des qualités et des défauts, physiques et chimiques, qui dépendent de la nature de la "roche mère" et parfois aussi de celle d'un autre matériau sous-jacent proche.

A Fontainebleau justement, la présence fréquente des sables détermine certains processus pédogénétiques à base "d'entraînement", tandis que la proximité ou la présence de calcaire peut favoriser d'autres processus éventuellement contraires.

Le substrat géologique est donc à l'origine des potentialités que le sol offre à la forêt.

I - LE RELIEF

Les formes du relief de la forêt sont nettes avec des alignements remarquablement parallèles d'orientation WNW-ESE dans lesquels s'inscrivent les étroites tables calcaires ou gréseuses de 130 m d'altitude approximative, ainsi que plusieurs plaines basses avoisinant les 80 mètres (Planches VIII et IX).

Ces dénivellations qui restent souvent de l'ordre de la cinquantaine de mètres, mettent en évidence (Planche IX) :

- les points hauts sur roches dures. Ce sont:

- . les "Monts" (de Fays, Monts Girard, Mont Ussy avec le point culminant à 144 m) sur le calcaire d'Etampes : roche dure la plus récente, qui garde plus de continuité au centre de la forêt (autour de la Vente des Charmes) et surtout dans la partie méridionale (Barnolets, Pieds Pourris, Grands Feuillards.... Erables et Déluges).

- . les "Buttes" de grès en place affleurant en "platières" (d'Apremont, de Franchard, de Milly, de la Reine ...) parfois diaclasées en blocs isolés ou en "chaos", comme le présente la carte géomorphologique au 1/25.000° de DEWOLF et JOLY (1983) réalisée d'après le levé de ELLENBERGER.

L'ampleur des chaos était plus visible autrefois comme en témoignent les anciennes cartes postales de la forêt, rassemblées par M.N. GRAND-MESNIL (1981-82). En effet les incendies, plus difficilement maîtrisés, supprimaient régulièrement la végétation.

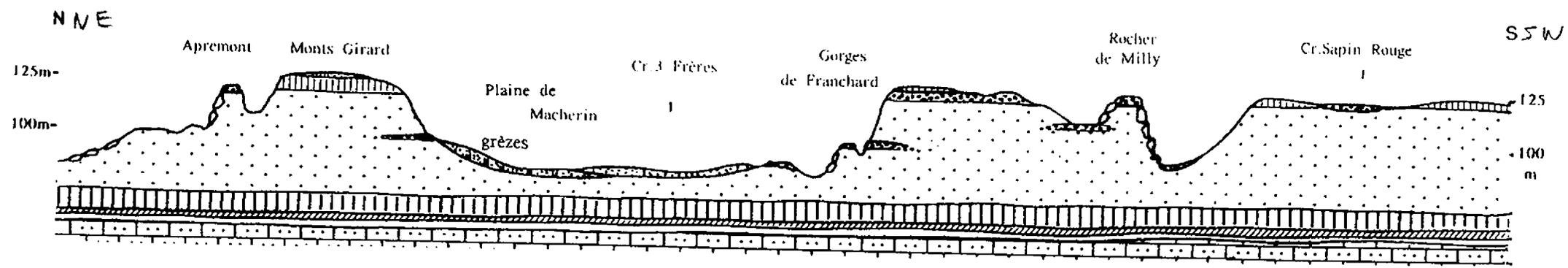
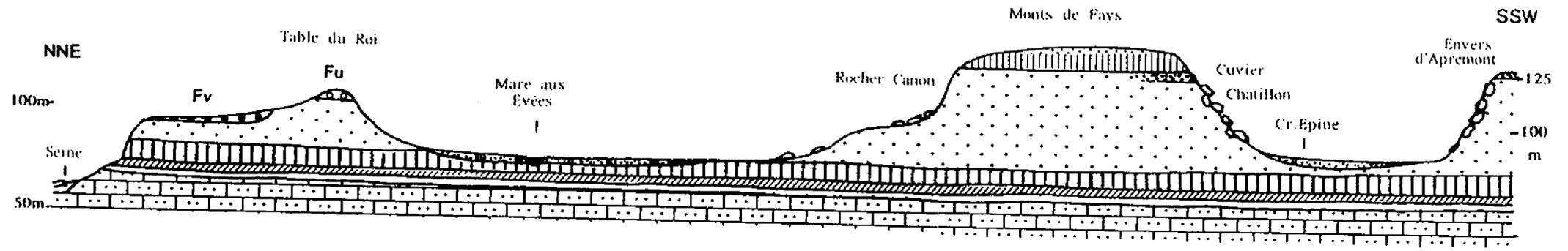
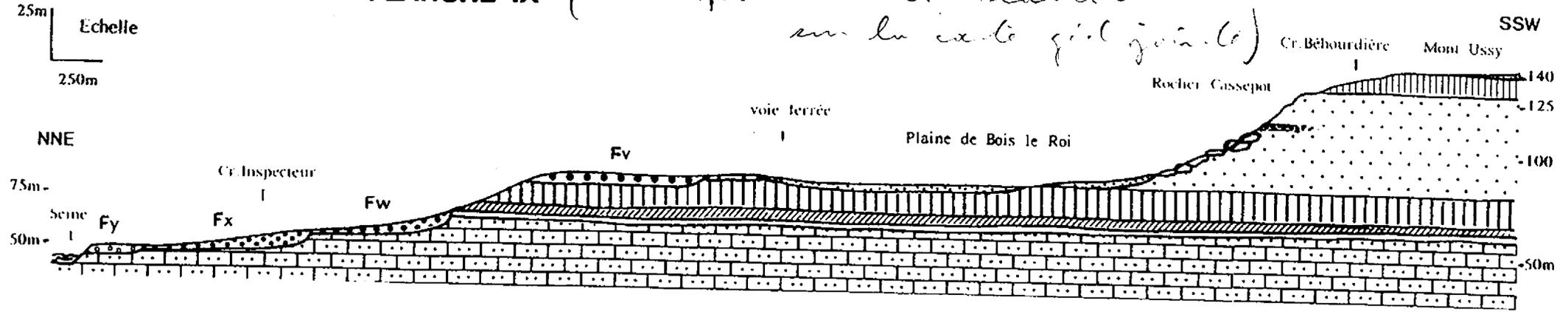
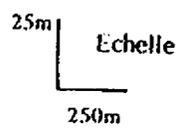
- l'érosion de la formation meuble des sables stampiens dits "de Fontainebleau" qui forment les pentes.

- les points bas au niveau d'une roche dure plus ancienne (le calcaire de Brie) que l'érosion a jusqu'à présent respectée sur la plus grande partie du Massif. Ce sont :

- . les plaines vastes de Bois le Roi, de Samois, du Rosoir,
- . et en lisière de ces plaines au pied des pentes, ou dans des dépressions fermées : les dépôts de "grèzes" = cailloutis calcaires correspondant au "dépôt hydroéolien" (MORAND, 1966) de la surface altérée du calcaire d'Etampes. Selon le même auteur, la pente en long de ces plaines de grèzes (dont l'axe dépasse parfois 3 km) serait inférieure à 0,5 % et celle du glaciaire transversal, presque nulle au Champ de Tir n'excéderait guère 1 % en général (1,3 % à la Solle).

D'autre part la Seine, coulant à 40 m d'altitude, a depuis longtemps entaillé à l'est et au Nord non seulement le niveau du calcaire de Brie mais aussi celui du calcaire de Champigny sur une bonne hauteur (falaise proche du pont de Valvins).

PLANCHE IX (voir position de la tranche de sur la carte géol. jointe)



- sables soufflés
- sables Stampiens
- calcaire de Brie
- marnes blanches
- calcaire d'Etampes
- grés en platière
- marnes vertes
- calcaire de Champigny



Le relief est à prendre en considération dans la mesure où il peut exagérer ou neutraliser l'impact du climat sur la forêt :

- les pentes Nord, les plateaux et les couloirs exposés au vent, sont plus sensibles aux rigueurs thermiques par opposition à certaines dépressions resserrées et abritées. (pas de trous à jeter?)
- les plateaux, plus élevés d'une cinquantaine de mètres, bénéficient de 5 à 10 % de plus de précipitations que les plaines (c.o. DORIZE).
- les rebords de plateaux, les zones d'écoulement ou d'engouffrement aérodynamiques subissent plus souvent les dommages des tempêtes (Planche VII), parfois en liaison avec la taille relative des peuplements voisins (Planche VI).
- les extrémités Ouest de certaines dépressions peuvent être privées de pluie, d'autant que leur limite (W) est abrupte, ce qui peut déterminer une légère variation micro-climatique par diminution d'humidité atmosphérique que le hêtre, par exemple, peut alors ne pas apprécier ; ceci n'exclut pas que les sols de ces extrémités puissent recevoir l'eau percolée depuis le plateau.
- quelques dépressions de taille non excessive et de forme assez refermée, reçoivent les eaux percolées des alentours surélevés : c'est à cet avantage que les arbres de la cuvette située au Nord de la Maison de Montagne (parcelles 61 et 62 aux Trois Pignons) doivent leur taille et leur forme sensiblement plus belles que dans les secteurs voisins.

*Toute situation topographique est un cas particulier...
et si certains cas particuliers peuvent se regrouper, leur analyse doit alors tenir compte des peuplements déjà implantés, ainsi que de leur âge.*

II - L'HISTOIRE GEOLOGIQUE

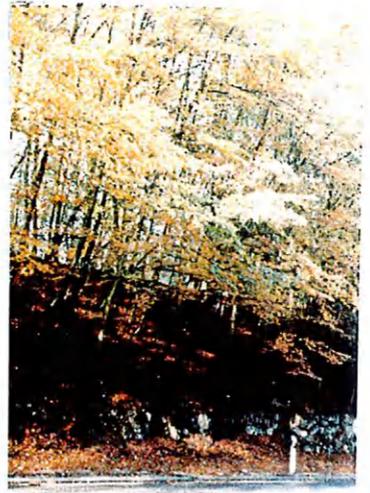
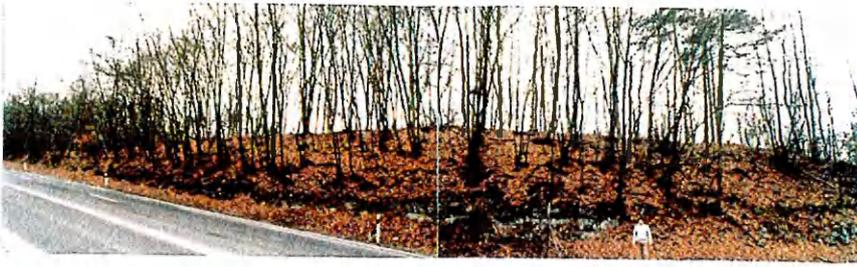
Le massif forestier de Fontainebleau est installé sur une succession des principaux terrains "sédimentaires" formant le Bassin Parisien (Planche IX et carte en annexe).

Chronologiquement, en partant des terrains les plus anciens:

- l'assise profonde est constituée par la craie Sénonienne (e3 période Eocène de l'ère Tertiaire) . Ce sédiment marin du sous-étage Campanien affleure face à l'angle Sud-Est de la forêt, sur la rive droite du Loing.
- existe ensuite une longue période d'émersion.
- puis, se déposent les calcaires et marnes du Lutétien (e5) lors d'un épisode laguno-lacustre qui se renouvelle au Bartonien.
- le régime lacustre du Ludien donne le dépôt du calcaire de Champigny (e7a) visible en escarpements sur la rive gauche de la Seine.
- l'Eocène se termine (e7b = Ludien = Bartonien supérieur) avec les marnes blanches de Pantin...
- auxquelles succèdent :
- les marnes vertes du Stampien inférieur (Sannoisien inférieur) c'est-à-dire du début de l'Oligocène (g1a sur la feuille de Melun = g1b sur la feuille de Fontainebleau)
Elles sont très proches de la surface du sol, principalement le long d'une ligne Est-Ouest passant près du carrefour de Courbuisson au Nord-Est de la forêt - d'autre part, près de la Seine, sur le haut des escarpements du calcaire de Champigny, d'où elles fluent sur les pentes avec les marnes blanches, des fragments de calcaire et des colluvions sableuses... modifiant ainsi progressivement la topographie des limites forestières.

PLANCHE X

lateau



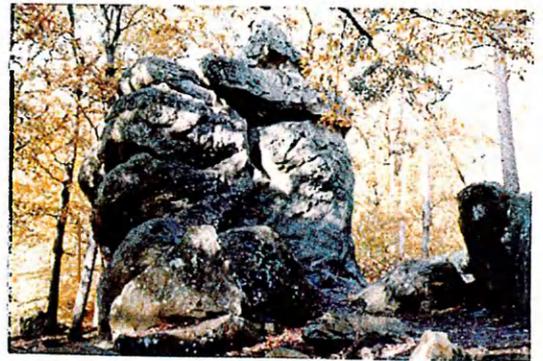
Limite d'un plateau (Nord du Mt. Ussy)
le banc du calcaire d'Etampes est très visible.



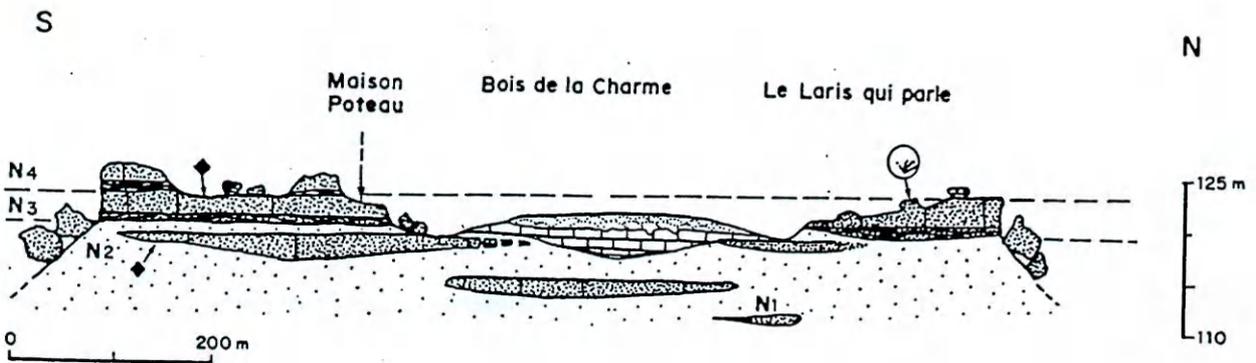
Mare de platière
(Mare à Piat)



Chaos



Bloc de grès



◆ Inclusions calcitiques
⊙ Traces végétales

Calcaire
d'Etampes

Grès
massif
illé

Sables
soufflés
en place

Répartition des niveaux de grès (N1,N2,N3,N4) au Nord du Cirque des Trois Pignons.
d'après D.OBERT. 1985 . qui envisage leur formation au moment de l'arrivée du lac.

- puis les calcaires et meulières de Brie (Stampien inférieur, Sannoisien supérieur g1b ou g1c selon la feuille géologique) qui représentent l'actuelle base "résistante" de la forêt.

- ensuite s'exprime au Stampien moyen la transgression marine caractérisant le Massif (dernière invasion de la mer dans le Bassin Parisien il y a environ 34 millions d'années) : c'est le dépôt des sables stampiens ou "sables de Fontainebleau" dont la "puissance" (épaisseur) correspond au dénivelé entre les plateaux et les plaines (40 à 55 mètres). ()

- à la fin de cette période, le relèvement du Nord du Bassin déclenche l'évacuation des eaux marines vers le Sud-Ouest.

La fracturation tectonique du substratum serait à l'origine de l'orientation WNW-ESE d'une série de chenaux envahis par les eaux douces et dont le fond se serait peu à peu cimenté pour former des grès, grâce à la charge en silice des eaux ... dont les variations de niveau auraient déterminé les différents étagements des dalles (N1,N2,N3,N4 : figure, Planche X) - la fracturation continuant à s'exprimer, aurait déterminé des diaclases orientées préférentiellement WNW-ESE, cette fois dans la masse des grès - selon OBERT (1974-81-84-85-88), dont les hypothèses reposent sur les arguments les plus complets. [La théorie de H. ALIMEN (1936), avec précipitation de la silice par suite de l'évaporation des eaux de la nappe au niveau dunaire, semble abandonnée. Depuis, de nombreux auteurs communiquent leurs observations (ELLENBERGER 1967-81-84) et leurs hypothèses (DEWOLF et MAINGUET 1976-88, THIRY 1988)] .

- au Stampien supérieur, le lac d'Etampes dépose les calcaires (g2c) qui forment aujourd'hui les monts en relief de la forêt (Planche IX et X). L'érosion qui suit l'assèchement de ce lac s'attaque à ces calcaires. Leur surface est aujourd'hui presque toujours coiffée d'une couche d'altération gravillonnaire et sableuse que l'on trouve également au fond des plaines : ce sont les "grèzes" qui sont en formation souvent épaisse.

- l'altération du calcaire a été complétée au Quaternaire en condition périglaciaire....

- et l'ensemble du paysage, (monts, buttes, pentes et plaines) a été recouvert par des dépôts sableux éoliens autrement dits "sables soufflés". Ils sont souvent appelés "limons des plateaux" (LP) alors qu'en réalité ce sont surtout des sables repris par le vent à partir des pentes de sables stampiens. Ces sables soufflés recouvrent pratiquement toute la forêt. Leur épaisseur et leur composition - très variables - sont considérées plus loin. L'observation pédologique permet de constater qu'il y a eu plusieurs soufflages.

- tout au long de son cours, dans le temps (Pliocène et surtout Quaternaire) comme dans l'espace, la Seine a "entaillé" (érosion) et "charrié" (sédimentation en période de répit), ce qui se traduit par les dépôts alluviaux des différentes terrasses des pointes Nord de la forêt (Planche IX).

III - LES SEDIMENTS EN RELATION AVEC LES SOLS

La nature et l'épaisseur des sédiments qui ont rôle de "roche mère", et d'autre part la proximité, l'épaisseur et la largeur d'affleurement de matériaux sous jacents, interviennent directement dans la différenciation des stations forestières.

1 . La roche mère la plus fréquente des sols de la forêt correspond aux sables "soufflés"

(LP ou RCg2). Ceux-ci sont donc des sables stampiens remaniés par le vent souvent très localement, mais "enrichis" en particules fines : argiles granulométriques et limons qui constituent la richesse des sols de la forêt (car ces deux fractions contiennent des argiles "minéralogiques"). Cette faible richesse est fragile et mérite toute l'attention des forestiers (ROBIN, 1979 - 84 - 90).)))

PLANCHE XI

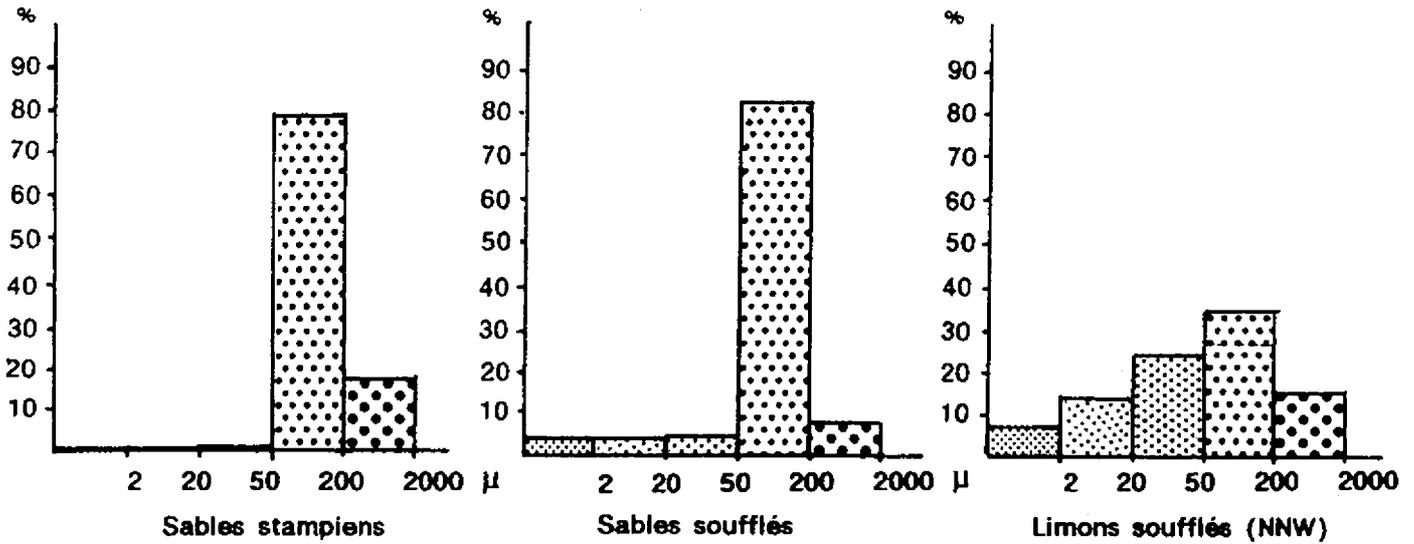


Fig. 1. GRANULOMETRIES COMPAREES

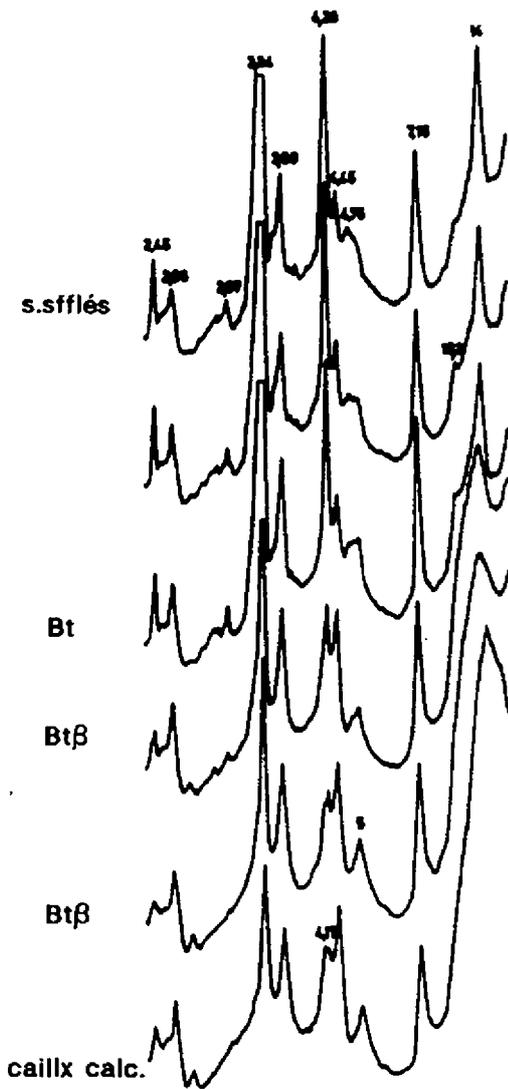


Fig. 2. DIFFRACTION AUX RAYONS X des argiles des sables soufflés, du Bt_β et du cailloutis calcaire

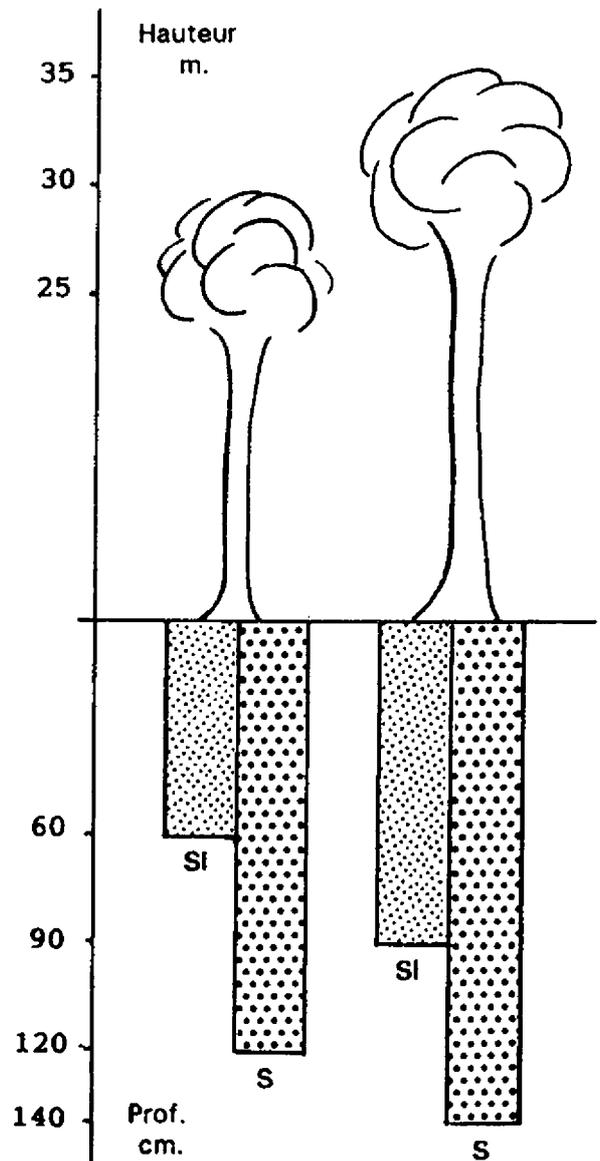


Fig. 3. POTENTIALITE DIFFERENTE selon la profondeur et la charge en limons des s. sflés

La "proportion" de particules fines parmi les sables de la formation soufflée a beaucoup d'importance sur la pédogenèse : les processus d'entraînement, forcément liés à la porosité du matériau sont plus ou moins facilités selon cette teneur ; or celle-ci est variable . C'est ainsi que la pointe NNW et la frange méridionale de la forêt sont recouvertes de sables soufflés plus riches en "fines" (argiles granulométriques + limons = 20 ou 40 %) que le centre de la forêt (10 %... 5 % à la Tillaie) - (Planche XI, figure 1).

→ *Ces extrêmes de teneur en particules fines, influant sur la pédogenèse, orientent ainsi vers des potentialités différentes.*

(les
fines
sables)

La "nature" des particules fines joue aussi un grand rôle : dans ces sables soufflés, les argiles "granulométriques" sont des quartz, des feldspaths, et des argiles "minéralogiques" : kaolinites, illites, micas, chlorite-vermiculites, smectites. Toutes ces argiles ont d'ailleurs une répartition variable selon les horizons, en relation avec la pédogenèse (Planche XI, figure 2). Les argiles gonflantes sont issues de l'altération des calcaires dans lesquels elles étaient contenues à l'état d'impuretés (ROBIN 1975).

→ *Et ce sont ces argiles ferromagnésiennes qui enrichissent réellement les sables soufflés par rapport aux sables stampiens (ROBIN 1979). Elles déterminent une potentialité différente, même si la quantité de particules fines est faible. Voilà pourquoi il est très important de sauvegarder l'avantage qu'elles apportent.*

"L'épaisseur" de cette formation soufflée importe considérablement pour l'enracinement des arbres, pour le maintien en profondeur de la réserve en eau, et d'autre part pour le risque de podzolisation d'une surface déjà appauvrie par lessivage et acidification (voir le chapitre sol).

De nombreux cas de figures existent puisque le revêtement peut être mince, ou présenter une épaisseur de 1 mètre (cas le plus fréquent) ... mais parfois 2 ou 3 (MORAND 1966 au Gros Fouteau) et même 4 mètres (ROBIN à la Tillaie).

Lorsque la formation est très épaisse (> 2 m 50), cela peut correspondre à un dépôt éolien de la partie centrale d'un plateau ou à un comblement éolien de zones préférentiellement déprimées par l'érosion. L'épaisseur présente alors, presque toujours, des passages enrichis en argiles et limons (les arbres peuvent alors mesurer 35 mètres). La base peut avoir exceptionnellement des épisodes hydroéoliens.

Il peut aussi s'agir de formations dunaires repérables par leur relief dans le paysage (Carte géomorphologique DEWOLF et JOLY 1983). Le dépôt est souvent seulement sableux et sa potentialité peut être semblable à celle d'un dépôt moins épais mais plus riche en "fines" (Planche XI, figure 3).

Plusieurs soufflages successifs ont existé, comme en témoignent les superpositions de profils pédologiques avec horizons A1 enterrés.

Un soufflage important daterait vraisemblablement du Würm : en effet la présence d'un gisement remanié de silex Moustériens à la base de la formation soufflée permet de préciser que le soufflage est postérieur au Paléolithique, la pédogenèse des sables soufflés se réalisant donc au Würm ou au Postglaciaire (ROBIN 1974).

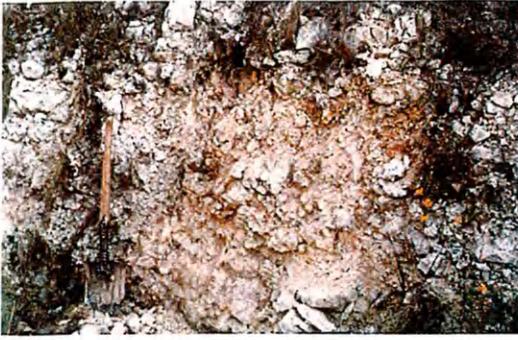
D'autres soufflages plus récents ont certainement eu lieu .

→ *L'épaisseur de la formation de sables soufflés est un critère à retenir pour le classement des stations forestières ... en même temps que la nature et la quantité de particules fines de la formation.*

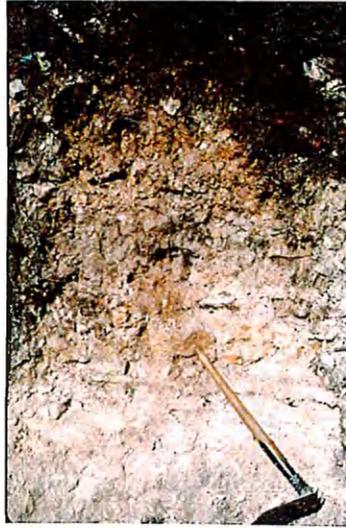
Les sables soufflés constituent la roche mère de presque tous les sols de la forêt, ceux-ci allant du sol brun calcaire ou brun calcique aux différents types de podzols.

()

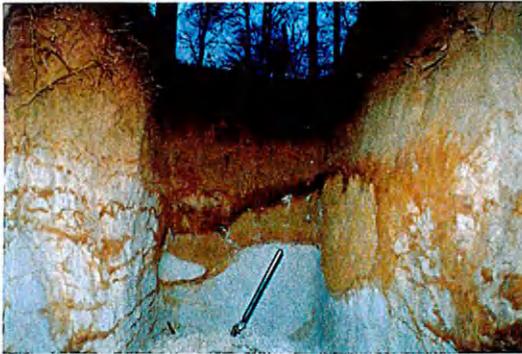
PLANCHE XII



L'altération du calcaire d'Etampes est visible à la partie supérieure du banc, ici proche de la surface du sol. Ventes Emblard, bord N7 ↑



Les "Monts" présentent une épaisseur de ce matériau d'altération (IIC) de l'ordre de 20 à 50 cm. (sous les sables soufflés pédogénisés), mais parfois nettement supérieure : ici > 2 mètres. Proximité Grands Feuillards →



Mais, à la limite des plateaux, le banc calcaire peut être absent (Gorge Néfliers ↑ près Tillaie), de même qu'en bord de platière (Grands Bérlots →) : des poches de ce matériau, transportées gelées, peuvent se trouver, seules, entre sables soufflés et sables stampiens -



ou simplement en surface des pentes de sables stampiens (Table Grand Maître ↑)



↑ Dans certaines plaines, le dépôt de "grèzes" est exploité, quand ce matériau est très épais et caillouteux.

↑ Chanfroy - Chailly → (cryoturbation visible)



2 . Le matériau sablo-graveleux issu de l'altération du calcaire d'Etampes - et son rôle .

Il est situé essentiellement sur les plateaux, à la base des sables soufflés et sur le calcaire d'Etampes, mais parfois sur les pentes de manière souvent irrégulière, ou bien encore dans les plaines de grèzes. (Planche XII)

Les graviers ou gravillons calcaires ont souvent de 0,5 à 1 cm de diamètre et les sables qui les accompagnent sont calcaires et quartzeux, ces derniers provenant de très anciens soufflages. D'autre part, les sables sont parfois limoneux et/ou argileux. La couleur de cet ensemble est le plus souvent assez jaune, mais parfois de teinte foncée, ou au contraire très claire presque blanche si la charge en poudre calcaire est très forte. L'épaisseur, souvent de 20 ou 30 cm. sur le plateau, peut être très forte, en particulier dans les plaines où les grèzes très graveleuses ont pu être exploitées (Chanfroy) .

La présence de ce matériau à une profondeur prospectable par les racines, permet aux arbres de profiter d'une réserve de cations Ca^{++} . Et si le mélange contient des argiles et des limons ceux-ci apportent des cations plus variés dans les solutions nutritives, et les argiles permettent une meilleure rétention de l'eau utile en période sèche. Si le peuplement de hêtres des Grands Feuillards peut atteindre 37 mètres, c'est bien à cause des 10 % d'argiles et des 20 % de limons que ce matériau possède vers 2 et 3 m. de profondeur (il n'en possède que 4 % et 7 % vers 1,5 m. de profondeur).

Cependant cette formation peut être très sèche, lorsque la charge en graviers est importante avec un enrobage purement sableux, et que la couverture soufflée sous-jacente est peu épaisse. C'est souvent le cas dans les plaines de grèzes.

Ce matériau sablo graveleux issu de l'altération du calcaire d'Etampes a subi un transport depuis le bord des plateaux sur les pentes, en coulées boueuses parfois en partie gelées (Planche XII). Ceci explique le **panachage de sédiments irréguliers des pentes stampiennes**, où certains bossellements de la couverture soufflée peuvent parfois révéler la présence de lentilles intermédiaires de ce matériau.

Dans les plaines, à l'occasion de chantiers ou de carrières, on peut observer l'existence de figures de cryoturbation de l'ordre de 1 mètre dans la partie supérieure de ce matériau qui a supporté les conditions périglaciaires (Planche XII). Le tri granulométrique, ainsi créé en auréoles concentriques vers la profondeur, peut expliquer l'irrégularité du matériau prélevé à la tarière.

Le matériau sablo graveleux d'altération du calcaire d'Etampes peut avoir parfois le rôle de roche mère : dans le cas des rendzines (s'il est très calcaire et pulvérulent) et dans le cas des sols bruns calcaires et calciques, dont le support sableux peut provenir d'un complément par saupoudrage ...à plusieurs époques - tous ces sols étant plutôt au bord des plateaux ou dans les plaines de grèzes.

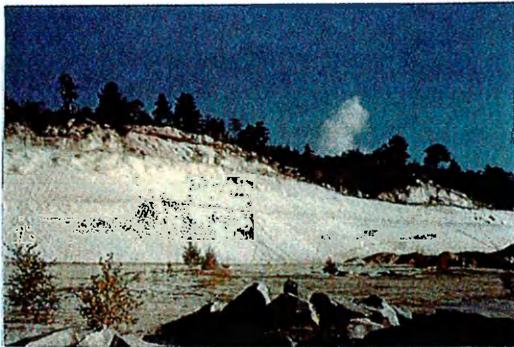
Mais sa situation sous-jacente, par rapport à la roche mère des sables soufflés parfois épais, lui confère plus souvent le rôle d'un substrat utile qui compense un peu, par le cycle biogéochimique, l'acidité de surface de la série des sols bruns mésotrophes ... lessivés ...et ...des podzols.

L'intervention de ce matériau nous permet de l'appeler très souvent "C"...mais précédé du chiffre "II" indiquant par là sa différence d'origine (dépôt hydroéolien) par rapport aux sables soufflés. Ces derniers (éoliens) représentent une autre phase: "I" directement roche mère du sol. Les profils schématiques des sols indiquent donc le matériau d'altération par le symbole "IIC".

PLANCHE XIII



Aux Ventes Emblard, bord de la N7 ↑
on peut voir la superposition du "banc"
de calcaire d'Etampes, en partie altéré, surmontant la platière de grès ↑



← La grande sablière de Bourron Marlotte montre bien :
– le niveau supérieur du grès (platière en surface)
– l'épaisseur de la masse de sable – ici très blanc.

SABLE STAMPIEN

Aucune raison de s'étonner du type aliotique de podzol
visible ici ↓ leur roche mère est "extrêmement" quartzreuse.



← Curiosité géologique : les rares "fines" de ce sédiment sableux
sont parfois accumulées en fines lamelles au niveau des
"stratifications entrecroisées" dues à des dépôts de style estuarien.

3 . Le calcaire d' Etampes g2c

La plupart du temps, cette formation est surmontée par son "matériau d'altération". Le calcaire d'Etampes lui même peut être alors atteint par les racines dans les cas où la couverture soufflée et le matériau d'altération ne sont pas trop épais.

Mais il peut arriver que le matériau d'altération soit absent. Le sol est alors directement installé sur le banc de calcaire d'Etampes qui peut être :

- soit fissuré en très gros blocs jointifs (fosse 674); les racines savent pourtant s'insérer entre ces blocs visiblement assez durs et résistants à l'érosion.
- soit défait en plaquettes sur les 30 ou 50 centimètres supérieurs (fosse 666) ; le passage des racines est alors plus facile.
- soit particulièrement tendre dans sa masse cohérente de surface, que les racines prospectent jusqu'à former une natte à la limite de la partie plus dure du calcaire (fosse 566).

De toute manière, il n'est guère possible de connaître partout les possibilités de pénétration racinaire : ces trois exemples différents montrent combien la nature vivante sait s'adapter aux obstacles. Et si ce calcaire de couleur claire, beige ou grise, et de grain fin ou poreux peut présenter des duretés variables, les bancs irréguliers de 10 à 50 cm. d'épaisseur sont séparés par des lits marneux intermédiaires dont les racines peuvent profiter : bien qu'il ne soit pas question de nappe ici, elles y trouvent certainement un peu de l'eau toujours nécessaire, véhiculant les cations.

Cependant, lorsque le passage "direct" du sable soufflé au banc calcaire est proche de la surface, la croissance des arbres est plus difficile.

C'est bien la mémoire du forestier, consignée dans les archives, qui peut, mais surtout qui pourra, témoigner des "performances locales possibles" des arbres sur ces types de stations.

)) *

Lorsque le banc calcaire présente à sa surface une masse très tendre la saturation du sol en ions calcium est telle que le cycle pédogénétique donne un sol brun calcaire ou calcique. La surface tendre du banc a le rôle de l'horizon II C.

Lorsque le banc présente des blocs très durs et que le sol est formé de sables soufflés, l'alimentation des arbres en Ca^{++} n'est due qu'à l'exploration racinaire profonde entre les blocs. Le banc calcaire n'a pas de rôle de roche mère, il est seulement à l'origine de la recharge locale du soufflage en argiles ferromagnésiennes (provenant de son altération préalable ou même du mélange éolien d'horizons de sols précédents plus ou moins tronqués). Ces sables soufflés, contenant des éléments fins, donnent des sols à fonctionnement de brun lessivé ou de lessivé.

La "puissance" de la formation de calcaire d'Etampes est de l'ordre de la quinzaine de mètres.

(* Problème général et persistant de l'appréciation des ressources hydrauliques en montagne est celle ...)

4 . Les sables stampiens = " de Fontainebleau " g2ab ... roche mère ?

Ils se trouvent situés en-dessous du calcaire d'Etampes : ils sont plus anciens que lui dans la série sédimentaire (Planche IX et XIII).

Cependant l'esprit logique ne doit pas être surpris de constater "parfois" la présence de grès (solidification locale de ces "sables stampiens") topographiquement plus élevés que le calcaire d'Etampes : ceci provient simplement du fait que l'érosion de l'époque a décapé plus facilement les points sableux autour des niveaux gréseux les plus élevés (N4), permettant ensuite une sédimentation lagunolacustre (calcaire d'Etampes) dans les dépressions ainsi formées (figure de la Planche X).

L'épaisseur de ces sables – de l'ordre de 50 mètres – détermine les versants les plus fréquents de la forêt, dont certains peuvent être recouverts en partie de chaos gréseux (eux-mêmes issus de la fracturation d'une platière). Ces pentes couvertes de blocs ne sont guère praticables pour l'exercice de la foresterie.

Mais les pentes plus douces et sans rochers présentent, pour le forestier, un intérêt d'autant plus grand que la couverture soufflée de surface sera plus épaisse ou plus riche en "fines" par-dessus ces sables stampiens :

Ces sables stampiens sont en effet des "sables" fins, très bien classés (plus de 75 % sont compris entre 100 et 200 microns) dont la proportion d'argiles et limons est infiniment faible : souvent 2 à 3 %.

Parfois légèrement jaunâtres ou mauves, ils sont souvent très blancs. La présence de feldspaths, micas, kaolinite et de traces de minéraux lourds variés (tourmaline, zircon, rutile, staurotide, disthène, andalousite) vraisemblablement en provenance du Massif Central (RIVELINE-BAUER, 1970) est dérisoire. **La caractéristique minéralogique est donc la présence presque exclusive du quartz.** Lorsque la teneur en silice est de 99 ou 97 %, ces sables sont utilisés pour la verrerie (ils sont connus et exportés partout en Europe). Les sables grossiers sont employés en fonderie (et les sables contenant fer et argiles servent pour les Travaux Publics). ***C'est toujours la silice qui domine ; et la kaolinite, de plus grande importance relativement aux autres minéraux minoritaires, semble s'altérer par suite de la podzolisation, ce qui libère de la silice ... et de l'alumine (ROBIN, 1979) guère plus bénéfique pour le sol et pour les arbres.***

Les sols formés sur ce matériau très pauvre font partie de la série podzolisée parfois jusqu'à un pôle "extrême" : celui des podzols à alios "humique" (Planche XIII). La différenciation peut être celle de podzols "humoferrugineux" si le sable stampien présente des accumulations argiloferriques synsédimentaires, ou pédologiques anciennes. La surface de ces sols peut présenter un redoublement des horizons de surface, par suite de soufflages ultérieurs. La recharge en "fines" est de toute manière fonction de la force, du parcours et des remous éoliens responsables du remaniement, dans la topographie.

Les sables stampiens peuvent être une roche mère, dans la mesure où le dépôt soufflé de surface est quasiment identique, par suite d'une reprise éolienne ultra locale de ces sables stampiens. Les teintes restent souvent de l'ordre des blancs ou des gris – sans jamais la nuance "beige mate" des sables soufflés typiques – et l'apparition à la tarière d'une teinte particulièrement "lumineuse" est l'indice du Stampien en place.

5 . Le calcaire et la meulière de Brie g1b (feuille Melun) = g1c (feuille Fontainebleau)

Ce sédiment montre des affleurements sur la carte géologique, ce qui signifie que, dans les vastes plaines basses, il peut être parfois assez proche de la surface. Mais il est pratiquement toujours recouvert de sables soufflés. La situation est alors tout à fait équivalente à celle des plateaux ou Monts (sur calcaire d'Etampes).

Cependant, les faciès de la formation de Brie sont variables : calcaires durs et compacts, parfois silicifiés, meulières, marnes blanchâtres ou verdâtres, parfois argile verte à la base – le tout sur une puissance d'une dizaine de mètres.

Une recharge en calcium est donc toujours possible par les racines des arbres qui peuvent descendre profondément et rejoindre dans certains cas des niveaux marneux, voire argileux. La proximité de ces niveaux peut dépendre du modelé imprimé par l'érosion sur cette formation de Brie pendant le préalable de quelques millions d'années.

Pour cette raison, il est sans doute à retenir que le forestier pourrait avoir intérêt à planter là des espèces à enracinement "très" profond. Exemple : pourquoi les Douglas de la parcelle 369 atteignent-ils 37 mètres ? Belle performance pour Fontainebleau. (La nappe est proche).

Les types de sols dépendent de l'épaisseur et de la qualité des sables soufflés sus-jacents.

6 . Les marnes vertes g1a (feuille de Melun) = g1b (feuille de Fontainebleau) et les marnes blanches e7b

Ces deux formations, de 4 à 10 mètres au total, contiennent en intercalation des marnocalcaires et des calcaires ; les marnes sont blanchâtres "et" verdâtres dans un cas comme dans l'autre et des couches d'argile verte peuvent se présenter. Cet affleurement géologique très restreint ne présente d'intérêt que pour les raisons suivantes : *imperméables, ces marnes retiennent la nappe dite "du calcaire de Brie". De ce fait elles permettent alentour une alimentation en eau, bien avantageuse pendant les années sèches – ce qui détermine une plus grande beauté des peuplements* : en amont, grâce à la proximité de la nappe ; et juste en aval, grâce à son déversement qui s'infiltré en profondeur et se trouve profitable sur une bande parallèle à l'affleurement des marnes (...tant que l'infiltration n'est pas trop profonde dans le matériau très poreux des terrasses). *De plus, les arbres profitent de la richesse magnésienne de ces marnes.*

Cependant, la retenue de la nappe déclenche aussi le phénomène d'hydromorphie, qui peut être très net (les photos des fosses 332-2 et 333-1 sont parlantes) ou même complet comme dans le cas d'une station à gley (332-3).

Lorsque ces marnes sont en position sommitale, en haut des falaises du calcaire de Champigny, près de la Seine, leur engorgement les fait fluer sur la pente.

7 . Le calcaire de Champigny e7a

Situation très rare dans la forêt : à proximité de la Seine, une ou deux banquettes réduites où les rendzines sont peu à peu épaissies par le matériau argilomarneux ayant flué du haut de la falaise – ce qui n'appauvrit pas ces sols minces sur calcaire.

8 . Les terrasses ou formations alluviales de la Seine = formations récentes

Bien représentées au Nord de la forêt, elles témoignent d'un cours un peu différent de la rivière dans le passé, surtout au niveau des plus anciennes terrasses . (De la terrasse Fu, il ne reste qu'un lambeau de cailloutis, à 105 m à la Table du Roi).

▷ La très haute terrasse Fv variant entre 85 et 95 mètres, soit 45 à 55 m au dessus du niveau actuel de la Seine, est assez étendue. Sa sédimentation montre une évolution entre l'Est et l'Ouest où elle est beaucoup plus caillouteuse, au moins à proximité de la Seine. Ces "cailloutis de Sénart" sont essentiellement des silex bruns ou noirs roulés, parfois cassés, enrobés dans une matrice de sables souvent grossiers ou même de gravillons...rayée de quelques veines argileuses. On peut observer parfois des blocs de grés et de meulière. L'épaisseur de cette terrasse est de l'ordre de 4 à 6 mètres. **Tout le secteur NNW repose d'ailleurs sur une argile sableuse - peut-être une terrasse préalable ou plutôt une première phase de dépôt. Cette argile sableuse stoppe l'infiltration des eaux de pluie, créant une nappe perchée pendant la moitié de l'année. Ceci détermine l'hydromorphie des sols sus-jacents à surface souvent limonosableuse.** C'est la raison pour laquelle les limites de parcelles sont aujourd'hui cernées de fossés de drainage. Cette hydromorphie est sans doute à l'origine de la formation - sous un autre climat - de la "croûte pédologique" siliceuse, cimentée sur 40 cm. et enchâssant d'énormes concrétions coalescentes noires de fer et de manganèse. Cette croûte est certainement à l'origine du nom de " la Rochette".

▷ La haute terrasse Fw située entre 60 et 70 mètres, soit 20 à 30 m au dessus du niveau actuel de la Seine est très caillouteuse avec des silex bruns, noirs ou clairs, des graviers et des sables, sur 3 mètres. **Les sols formés sur ce sédiment sont filtrants et secs, "sauf à proximité de l'affleurement des marnes vertes et blanches", dans les dépressions, ou sur les passages argileux. L'acidification est fréquente en surface.**

▷ La moyenne terrasse Fx à 50 ou 60 mètres d'altitude, soit 10 ou 20 m au-dessus du niveau actuel de la Seine, est aussi caillouteuse et siliceuse, avec de nombreux galets de silex sur une épaisseur de 4 mètres ; on observe parfois des lits ou des poches de dragées calcaires dures. **Les sols sont très filtrants et secs, acides en surface.**

▷ La basse terrasse Fy située entre 40 et 50 mètres, soit 0 à 10 m au dessus du niveau actuel de la Seine, est la plus récente, la plus proche de la Seine. Plus épaisse que les précédentes, avec 6 à 8 m de matériau "silico-calcaire" plus ou moins graveleux, sableux et limoneux, **elle peut être parfois très calcaire - ce qui détermine des sols beaucoup plus riches que sur les précédentes terrasses, d'autant que la nappe est proche ce dont savent profiter les arbres.**

IV - HYDROGEOLOGIE

Les eaux de pluie percolent dans la masse des roches meubles telles que les sables, ou des roches poreuses telles que certains calcaires ; elles s'infiltrent dans les fissures des roches compactes à grain fin telles que d'autres calcaires. Toutes ces roches plus ou moins perméables sont les roches "réservoirs", qui "contiennent" l'eau et donnent naissance à la nappe, qui porte leur nom. Les eaux sont arrêtées par les niveaux imperméables sous-jacents : argiles ou marnes, à la surface desquelles elles s'écoulent pour resurgir plus ou moins loin dans le paysage.

La succession des couches sédimentaires du Massif de Fontainebleau détermine le lieu de plusieurs nappes (MEGNIEN 1976) dont certaines, très profondes, n'ont aucun rôle pour la forêt.

Partant des points topographiquement les plus élevés, aucune "nappe" de grande extension n'existe avant celle du calcaire de Brie. En effet le calcaire d'Etampes ne constitue pas un réservoir. Quelques accumulations très locales d'eaux de pluie peuvent seulement être retenues dans certaines intercalations marneuses. De même dans les formes en vasques des platières de grès : ceci à ciel ouvert ou sous une certaine épaisseur de sables soufflés.

Les peuplements des Monts et des pentes de sables stampiens de la forêt peuvent donc éventuellement souffrir des étés des années sèches, puisque la nappe du calcaire de Brie est trop éloignée (l'eau est à 66m de profondeur au puits de la Maison de Franchard). → On comprend combien l'épaisseur et la granulométrie des sédiments soufflés, ainsi que l'importance des horizons profonds d'accumulation argileuse des sols peuvent compter, pour le maintien de "l'eau capillaire utile" absorbable par les racines.

⌘ La nappe la plus élevée est donc celle du calcaire de Brie – Oligocène – éventuellement appelée nappe du Stampien, et dont le réservoir peut remonter jusque dans les sables, en période pluvieuse. Les marnes vertes qui arrêtent le "plancher" de la nappe sont à l'origine de plusieurs sources, dont celle qui détermina la création du château (FLON 1948). Elles portent un ourlet de végétation remarquable sur les coteaux de la Seine. La présence de cette nappe est d'un très grand bénéfice pour les arbres, dans la mesure où elle leur évite de souffrir de la période sèche. La beauté des peuplements des plaines basses du SE de la forêt n'est pas un hasard. Ceci est particulièrement net dans la plaine du Rosoir où la surface topographique déclinant progressivement vers l'Est rapproche le système racinaire du niveau de la nappe, celle-ci s'écoulant au niveau des marnes vertes, vers le Loing. De même, au NE, les Douglas de la parcelle 369 ont leurs racines dans le calcaire de Brie et profitent également de la nappe.

- Sachant qu'aux abords des cours d'eau le toit de la nappe se situe vers 5 mètres de profondeur et qu'il se situe vers les 10 mètres lorsqu'on s'en éloigne,
- et connaissant les performances d'exploration racinaire des arbres en profondeur,
→ *on imagine facilement tout le bénéfice qu'il peut y avoir à planter des espèces à enracinement profond sur les sables soufflés surmontant presque directement les sables stampiens et les calcaires de Brie des plaines basses.*

Dans la région NNW, la situation est plus complexe :

- d'une part la zone très basse WNW-ESE des alentours de la Mare aux Evées repose sur une épaisse alternance de couches argileuses et sableuses de comblement qui déclenche un engorgement d'autant plus important que la couverture soufflée est riche en particules fines.
- un captage important de la nappe au lieu-dit "la Glandée", à la limite sables stampiens/terrasse ancienne Fv, sert à l'alimentation en eau potable de la ville de Melun.
- d'autre part la terrasse ancienne Fv présente une couche argileuse à sa base qui retient l'eau sous forme de "nappe perchée" pendant la moitié de l'année, déterminant une hydromorphie dans les sols sus-jacents souvent limonosableux.

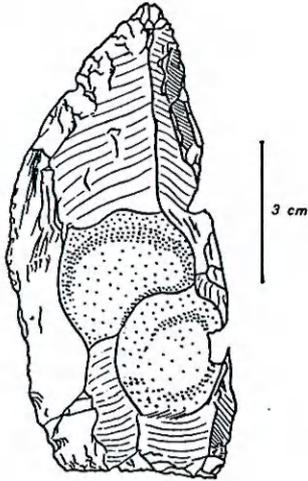
La qualité la plus nécessaire pour les arbres de ces secteurs est une grande souplesse d'adaptation au niveau de l'alimentation en eau - c'est-à-dire la tolérance aussi bien à la sécheresse des étés de certaines années qu'à l'engorgement des saisons et des années humides.

⌘ La nappe du calcaire de Champigny – Eocene – est très peu représentée dans la forêt : c'est seulement sur la frange de ce banc entaillé par la Seine qu'elle peut avoir un rôle, mais plus particulièrement au niveau des alluvions proches de la Seine. Le réservoir de ces alluvions est en effet en grande partie nourri par cette nappe.

La nappe de la terrasse Fy se trouve "à peu près" à 2 mètres de profondeur, ce qui en plus de la richesse minérale, justifie les espoirs d'une exploitation intéressante.

PLANCHE XIV

Nous remercions le Docteur F. BEAUX de nous avoir aimablement
procuré ces clichés.



PALEOLITHIQUE

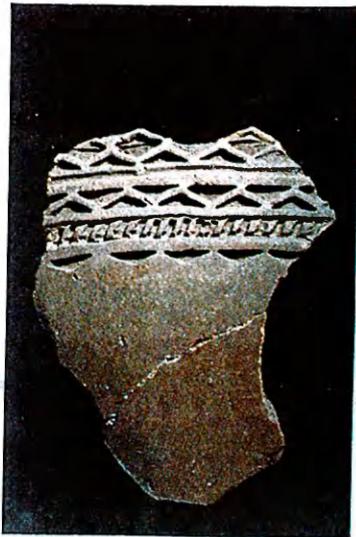


MESOLITHIQUE ? Saint Aignan



NEOLITHIQUE Hache des Buthiers

AGE DU BRONZE



Marion des Roches



Grotte des Orchidées



GALLO-ROMAIN



Bois Gauthier

LA VIE au cours de la préhistoire et de l'histoire

Nous voulons mentionner ici rapidement les vestiges archéologiques de vie humaine et surtout les différentes caractéristiques de la vie végétale pour la période postglaciaire jusqu'à la forêt d'aujourd'hui.

I - LES VESTIGES ARCHEOLOGIQUES

Ils semblent plutôt répartis "autour" du Massif que sur l'emplacement même de l'actuelle forêt. Sans doute la proximité des rivières était-elle plus intéressante comme en témoignent les sites du Paléolithique supérieur proches de Montigny sur Loing : la caverne du Croc Marin fouillé par Th. de MARANCOURT au 19ème siècle ... le site du Long Rocher découvert par DOIGNEAU et DURAND en 1870 (in BEAUX, sous presse).

Le **Paléolithique** est néanmoins connu au centre du Massif, comme a permis de le révéler la découverte d'une industrie de silex taillés, du type "Moustérien à débitage Levallois" (Planche XIV), située à deux mètres de profondeur à la base des sables soufflés dans la parcelle de la Tillaie (ROBIN 1974).

Le **Mésolithique** dont la période est comprise entre -8.000 et -5.000 av. J.C. est caractérisé par des silex de très petite taille, appelés microlithes. C'est de cette époque que date l'industrie trouvée à Larchant par HINOUT (1991). Par ailleurs, l'appartenance à cette époque de certaines gravures rupestres repérées par les membres du GERSAR (Groupe d'Etude, de Recherche et de Sauvegarde de l'Art Rupestre), ...reste très hypothétique.

Le **Néolithique** (-5.000 à -2.000 av. J.C.) est l'époque des éleveurs-agriculteurs, et il ne se révèle guère sur l'emplacement sableux de la forêt, alors que les plateaux environnants plus limoneux livrent encore des fragments de haches polies. Certaines gravures rupestres pourraient provenir de cette période.

L'**âge du bronze** et l'**âge du fer**, caractérisés par le travail des métaux, nous laissent des lames de poignard, et aussi de la poterie. Les gravures de la Grotte des Orchidées pourraient dater de ce temps (BEAUX 1991).

L'**époque gallo-romaine** est un peu connue par les restes d'objets et de fresques du fanum du Bois Gauthier (GARF = Groupe Archéologique de la Région de Fontainebleau 1961-78) et par les monnaies du site du Menpehous fouillé par DOIGNON et al. en 1940 (à proximité de la Croix du Grand Veneur).

Le **Moyen Age** nous laisse essentiellement la Maison de Franchard qui faisait partie d'un couvent au XIIème siècle, et d'autre part un reste de construction à la Butte Saint-Louis... peut-être quelques fragments d'enclos en pierres sèches aux Trois Pignons et au Coquibus, avec fragments de poterie ...peut être aussi quelques gravures rupestres (BEAUX 1984).

II – L' EVOLUTION POSTGLACIAIRE DE LA VEGETATION

Elle fut essentiellement liée aux diverses modifications climatiques, et peut-être à l'action anthropique dans certains cas. C'est par l'analyse palynologique des sédiments que cette évolution forestière postglaciaire fut reconstituée dans le Bassin Parisien (SAUVAGE 1954, LEMEE 1966, JALUT 1967) et sur le Massif de Fontainebleau (GUILLET et ROBIN 1972-79, LEMEE 1981-83). En effet, les pollens migrent lentement en profondeur dans le sol et peuvent se conserver, dans certains types de sols, comme les podzols. La reconnaissance de ces pollens caractéristiques par leur taille et leur forme, permet l'établissement des "spectres polliniques" qui expriment les successions d'espèces végétales.

Après une phase tardiglaciaire de tundra, marquée par l'absence de pollens d'arbres et, corrélativement, par l'importance des pollens d'espèces herbacées (Graminées...Cypéracées...), une phase préboréale se caractérise par l'implantation des pins et des bouleaux présents à tous les interstades. Le bouleau reste d'ailleurs le plus fidèle occupant de la forêt de Fontainebleau.

L'époque boréale débute par la très grande extension du noisetier, précédant l'établissement, à l'époque atlantique, de la "chênaie mixte": celle-ci représentait une forêt feuillue composée de chênes, ormes et tilleuls sur les sols bien drainés ; le chêne vert est remonté jusque dans la région parisienne d'où il est maintenant absent.

La persistance du noisetier jusqu'à la fin de la période atlantique pourrait provenir, d'après LEMEE (1990) non seulement du climat doux et humide mais aussi d'une action anthropique : l'homme du Néolithique en aurait utilisé les fruits pour son alimentation.

La période subboréale, marquée par un refroidissement, voit l'apparition du hêtre. Dans l'état actuel des connaissances, plusieurs points de la forêt présentent, pour cette période, du tilleul : aussi bien à Bourron Marlotte qu'à la Solle, au Rocher Besnard ou encore au site de Marion des Roches.

A l'âge du bronze, le tilleul aurait prédominé sur le chêne et le hêtre pour des causes biologiques (LEMEE 1990) telles que : *"une plus grande fertilité localement confortée par la capacité de drageonner, ainsi qu'une plus grande protection des semis et jeunes rameaux vis-à-vis de l'abrouissement par les cervidés"* (ALLAIN et al., 1978)... De plus, le tilleul aurait pu être exploité comme fourrage, bois de construction souple, et même cordage avec les écorces (GODWIN 1975). En parallèle à la grande extension de cette espèce, d'ailleurs remarquable dans toute l'Europe occidentale pendant les périodes atlantique et subboréale, on note à Fontainebleau la présence des landes à bruyères, accompagnées de pins sylvestres et de bouleaux sur les platières gréseuses et les pentes sableuses proches (site de Marion des Roches).

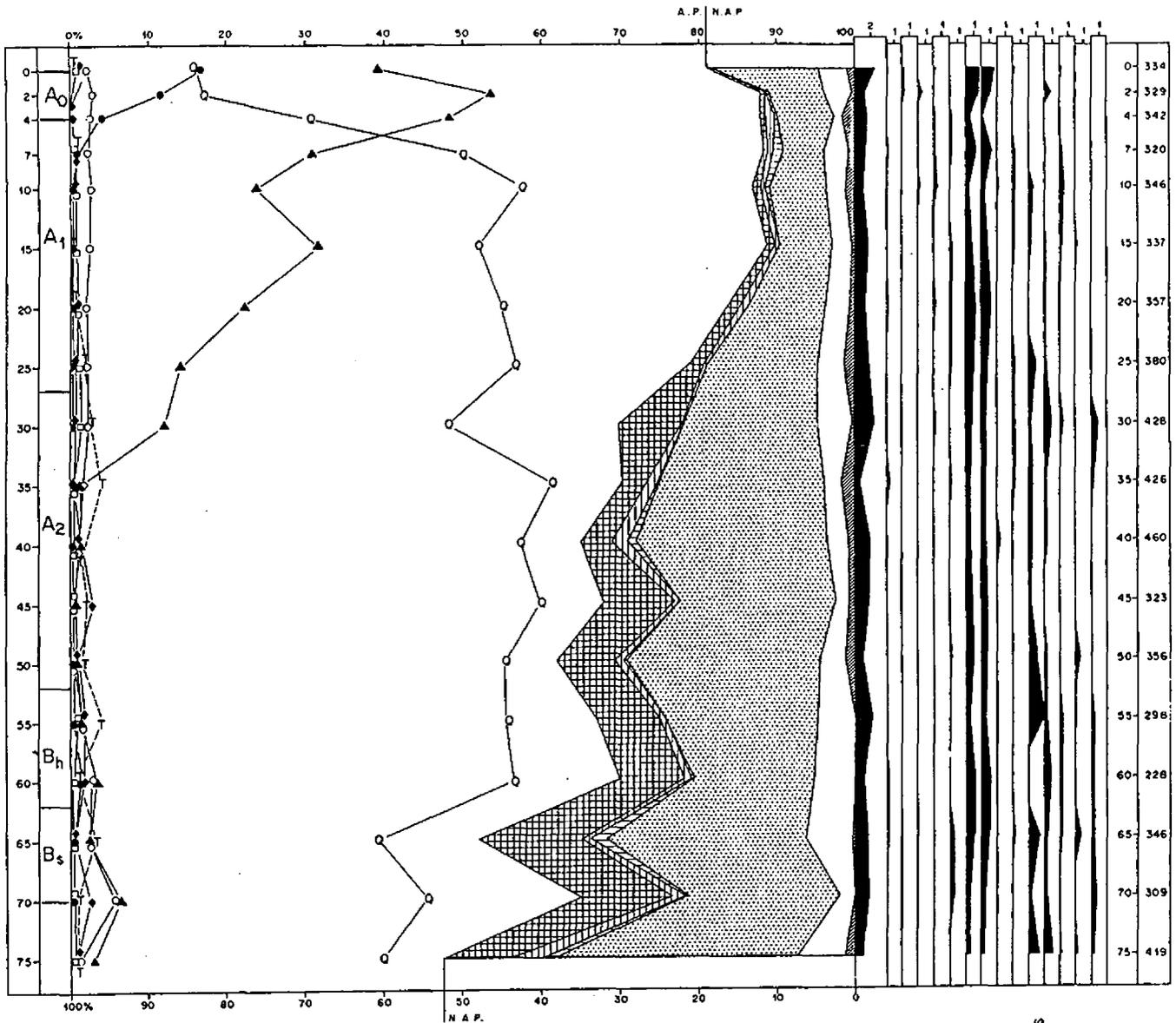
Au subatlantique le hêtre devient très abondant et le noisetier marque une nouvelle progression sur le tilleul, due aux ouvertures pratiquées dans cette forêt. De même, depuis l'Europe centrale, le charme apparaît corrélativement aux défrichements. Ces espèces sont progressivement remplacées par le chêne et le hêtre.

LEMEE (1990) attire l'attention sur les "successions autogéniques" (TANSLEY 1935) où les plantes déterminent elles-mêmes l'évolution ultérieure du paysage en influant sur leur environnement : c'est ainsi que l'évolution de la lande à Pteridium vers la betulaie..., la chênaie puis la hêtraie, aboutit à un stade terminal (= climax) où l'espèce la plus résistante à l'ombrage, le hêtre en l'occurrence, s'établit et demeure.

DATE /J.C. (années)	PERIODE GEOLOGIQUE	PERIODE ARCHEOLOGIQUE	ESPECES VEGETALES
	Actuel		Chêne-hêtre / Pin-Bouleau bruyères
+1000		Temps historiques	
0	Subatlantique	Fer	Charme Hêtre noisetier Tilleul / Pin-Bouleau bruyères
800			
	Subboréal	Bronze	Tilleul Chêne / Pin-Bouleau appar. Hêtre bruyères
- 2.500		Néolithique	
	Atlantique		Chênaie mixte / Pin-Bouleau = Chêne, Orme bruyères et Tilleul
- 5.500			
	Boréal	Mésolithique	noisetier
- 8.000			
	Préboréal		Pin et Bouleau
		Epipaléolithique	
			toundra graminées....
	Tardiglaciaire		

Ainsi, les diverses dominances successives ont-elles représenté des climax différents, qui ont progressivement intégré l'apparition de nouvelles espèces venant de l'Est.

De plus, ces dernières périodes géologiques sont "habitées" par l'homme chez qui l'archéologie décèle la transformation de l'instinct vital en génie : celui de créer autour de lui des conditions favorables de vie.



PROFONDEUR (CM)
HORIZONS
PEDOLOGIQUES

CARPINUS
ULMUS
FRAXINUS
SALIX
CASTANEA
JUGLANS
PLANTAGO sp.
PLANTAGO lanceolata
RUMEX acetosella
CHENOPODIACEES
COMPOSEES TUBULIFLORES
COMPOSEES LICULIFLORES
OMBELLIFERES
SCABROSA
POLYPODIUM
PROFONDEUR (CM)
A.P. + N.A.P.

SPECTRE POLLINIQUE DU PODZOL à Bh meuble DE LA TILLAIE

AP = Arborescent pollen NAP = Non arborescent pollen

- Pinus
- Betula
- ◆ Corylus
- Alnus
- △ Tilia
- Quercus
- ▲ Fagus
- ▨ Calluna
- ▤ Pteridium
- ▧ Dryopteris
- ▩ Graminées
- Céréales

III - L'EVOLUTION HISTORIQUE DE LA FORET

"L'introduction" par l'homme d'espèces comme le châtaignier à l'époque gallo-romaine fait basculer la préhistoire dans l'histoire - mettant en évidence la volonté précise d'organiser les peuplements végétaux à un niveau assez vaste : c'est l'émergence du "sylviculteur".

Dans son livre sur l'histoire de la forêt de Fontainebleau, DOMET (1873) nous apprend que l'appartenance du Massif à la Province du "Gâtinais" semble évoquer le caractère de "terre déserte et en friches" tandis que, un peu plus tard, avant l'an 1000, l'appellation de "Pays de Bière" attribue le sens de "plaine" à la partie comprise entre Melun et Fontainebleau. Sans limites bien précises, ce pays donne son nom à la forêt, qui le gardera jusqu'à la Révolution.

De ces premiers siècles nous ne connaissons guère d'écrits au sujet des espèces végétales, et comme les études palynologiques sont onéreuses, c'est encore la toponymie qui nous renseigne le plus facilement. C'est ainsi que, suite aux données précédentes, se confirme la présence des **chênes, des hêtres, des tilleuls, des charmes, des ormes** et même du buis - sans doute sur les sols les plus riches des plateaux - tandis que les platières et les sables gardent les **bouleaux** (les pins seraient absents à cette époque) avec en plus des **châtaigniers** ainsi que des **genévriers** dans les zones sèches. Les terrains humides portent des **frênes, des saules, des aunes**.

La datation et la détermination botanique de charbons de bois que nous avons trouvés en plusieurs points de la Tillaie (JACQUIOT, ROBIN.. 1973) précisent que la hêtraie d'aujourd'hui était, au 8ème siècle de notre ère, une chênaie, où se trouvaient parfois du charme, un peu de noisetier, de hêtre et de prunier.

Le chêne, favorisé à plus d'un titre au Moyen Age, donnait en effet le bois d'oeuvre pour la construction, mais aussi du bois de chauffage non moins nécessaire ... ainsi que ses fruits pour la nourriture des porcs, peut-être même la litière, dont l'ablation prive encore plus le sol de sa recharge minérale naturelle, cassant ainsi le cycle biogéochimique.

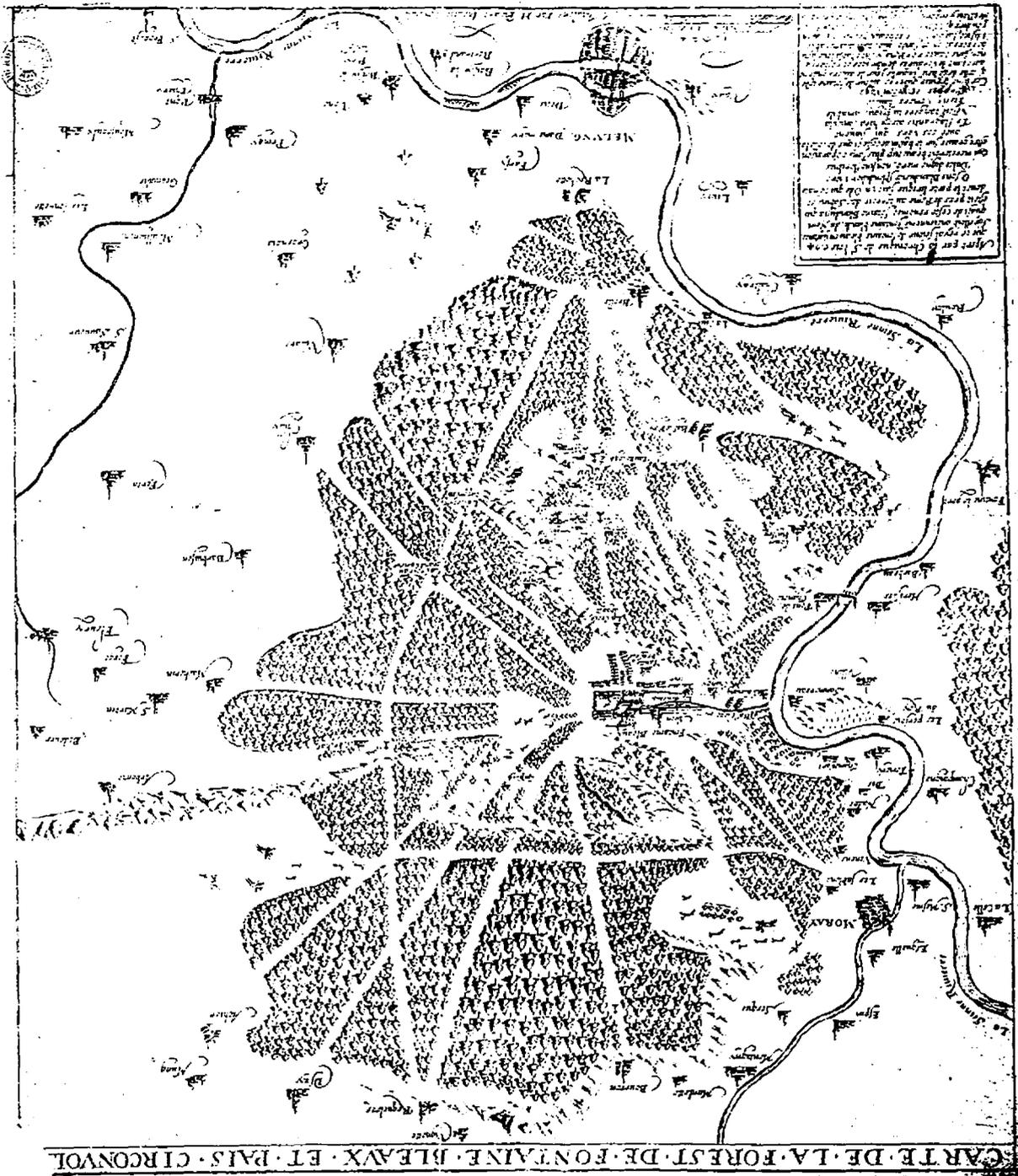
D'autre part, le massif n'était pas boisé partout, comme en témoigne l'ermitage de Franchard, construit au 12ème siècle et qui semblerait avoir eu des terrains cultivés.

A la fin du Moyen Age commence le remplacement de la chênaie par la hêtraie, peut être de manière assez générale (LEMEE 1985). Du moins la réserve de la Tillaie en offre-t-elle un exemple, comme l'indique la palynologie (Planche XV, GUILLET et ROBIN 1972). Ceci n'exclut pas à notre avis le remplacement inverse du hêtre par le chêne, que nous avons pu constater ailleurs, et qui peut se déclencher à la faveur du cumul de plusieurs facteurs :

clairiérage occasionnel et succession favorable de conditions locales et climatiques opportunes. ?

C'est vers 1590 que furent introduits les pins maritimes parallèlement au Mont Chauvet, dans ce qui devient "la Plaine des Pins". Par ailleurs, la forêt était particulièrement déboisée pour de multiples raisons, entre autres celle des incendies et celle de la grande abondance de gibier qui faisait disparaître souvent complètement les jeunes peuplements, comme le rappelle DOMET.

Au 17ème siècle, les cartes successives sont parfois contradictoires quant à l'extension des surfaces boisées : en 1624, la carte de Picart, la plus ancienne, (Planche XVI), précise 18 à 19.000 arpents de futaie alors qu'en 1705 celle signée "de Fer" (Planche XVII) en donne 13.000 pour 26.000 de superficie totale. Cette réduction de 70 % de futaie à .. 50% quatre vingts ans plus tard, provient-elle de déboisements réels ou de l'imprécision de la représentation ...?



CARTE DE LA FORET DE FONTAINEBLEAU

par H. PICART 1624
(Bibliothèque Nationale)

Afin de permettre une comparaison plus aisée des massifs boisés avec le parcellaire des autres cartes, nous avons présenté celle-ci en orientant le Nord vers le haut de la page, à l'inverse du document de l'époque, dont la lecture exige ici un retournement.

Il est intéressant de voir que dans les deux cas, les plateaux du SSW et le plateau W de la vente des Charmes, de la Tillaie... sont assurément boisés. Mais bien des précisions dessinées mériteraient que l'on s'attarde à une étude qui pourrait fournir, avec les archives, de précieux renseignements par comparaison avec l'actualité : par exemple la "Grande Mare" dessinée par de Fer en plein sud de la forêt... et d'autre part, la plaine du Rosoir qui n'était pas boisée, mais qui était réservée au parcours des chasses.

En 1664, la réformation de Barillon d'Amoncourt visait non seulement à supprimer les abus de toutes sortes, mais aussi à mettre en valeur les terrains du massif en fonction de la "nature des fonds". Quatre qualités différentes avaient été reconnues : la meilleure était : "propre à porter des hautes et vieilles fustayes", la seconde était "propre à porter de la fustaye de cent ans seulement dont les arbres après cet âge passé dépérissent au lieu de profiter, le fond estant trop secq ...", la troisième ne pouvait porter que "de hauts taillis de quarante à cinquante ans au plus ..." tandis que la dernière " la plus désespérée, celle des rochers et grez... sur aucun desquels par un long espace de temps il croist quelques bouleaux et mortuois, le reste estant inutile et stérile." ne présentait aucun intérêt.

Il semble que cet effort ne fut pas suivi par une application précise et que les exploitations continuèrent "à avoir lieu sans grand ordre " (DOMET). En 1681 cependant une mesure de clôture, pour la première fois efficace, fut prise pour protéger les jeunes arbres de l'abrutissement par le gibier.) (!)

Le froid terrible de l'hiver 1709 fit malheureusement périr les jeunes bois ainsi que les pins maritimes introduits cent vingt ans plus tôt.

Les effets de l'Aménagement de 1716 abaissant les révolutions (nombre d'années déterminé pour l'exploitation d'une forêt) permirent plus tard à l'Inspecteur des Forêts de tirer plusieurs conclusions intéressantes pour le sylviculteur du massif :
 - *le chêne, même le rouvre, ne peut donner toute sa mesure, sur des terrains légers et siliceux comme celui de Fontainebleau, "que s'il est mêlé à quelque essence à feuillage épais qui conserve au sol de la fraîcheur".* DOMET pensait à l'accompagnement par le hêtre puisqu'il prend pour exemple la beauté des vieux chênes du Gros Fouteau, de la Tillaie ... *On avait donc déjà remarqué (en 1873) combien un certain mélange des espèces peut être bénéfique.*
 - *"le traitement en taillis est toujours la cause de l'augmentation d'aridité"* lors de la mise à découvert du sol, par suite du dessèchement de la couche d'humus précédemment formée. *

Corrélativement aux préoccupations des aménagements de 1716 et 1750, la carte de Cassini (Planche XVIII) postérieure à 1750, marque un progrès remarquable dans la représentation de "l'occupation de l'espace" (GRAND-MESNIL 1980). Le dessin précise le parcellaire ainsi que l'état de friches ou de landes des plaines de Chanfroy, d'Arbonne, de Macherin, des terrains de la Rochette et du NNE, justement au-delà de la limite des marnes vertes.

Vers 1785, l'essor des Sciences Naturelles, auquel s'ajoute le phénomène de mode, détermine plusieurs essais de plantations de nouvelles essences : près de la Croix de Toulouse, furent introduits des pins de Weymouth, des genévriers de Virginie, des pins laricios, des épicéas (et même des platanes). Le nouvel essai de pins maritimes au même endroit que précédemment ..., eut le même échec, toujours à cause du froid, cette fois sur les jeunes plants.

(* Bénéfice du mélange ou de complémentarité, de l'humus, plus favorable à celui-ci ?)



CARTE DE LA FORET DE FONTAINEBLEAU

par Nicolas DE FER
(Archives Départementales)

CARTE DE LA FORET DE FONTAINEBLEAU

En (1786) l'introduction du pin sylvestre de Riga (Lettonie) eut par contre un succès ... que même SPOT aujourd'hui enregistre ! (Planche XIX). En 1801, les landes et les rochers furent reboisés par cette essence très frugale et robuste, sur 6000 hectares. *Sa seule exigence écologique est en effet la lumière ; ses pollens "aillés" lui donnent une vocation colonisatrice ...qui a fait ses preuves. Cependant nous verrons plus loin les raisons pour lesquelles cette espèce esthétiquement merveilleuse ne devrait être maintenue que sur les sables stampiens en paysage de chaos gréseux .*

En 1802, on planta du châtaignier. Il nous semblerait intéressant de connaître les lieux où ces essais furent pratiqués, car il n'est pas sûr que le climat soit la cause de l'insuccès rapidement évoqué par DOMET. *Il semble étonnant que, parmi la quantité de sols siliceux qui existent à Fontainebleau, ne se trouvent quelques sites, topographiquement abrités, qui puissent permettre à cette espèce de prospérer.*

En 1822, des greffes de laricio sur pin sylvestre réussissent. La taille, la droiture et l'élagage naturel de cette espèce la rendent remarquable, surtout pour le sylviculteur *qui ne devra cependant pas en abuser, comme nous le verrons.*

Depuis (1820-30) où la culture des résineux eut une grande extension, la critique semble constante, pour des raisons variables et variées : *la seule qui nous paraisse à considérer reste la raison scientifique qui invoque les répercussions sur les sols dans l'avenir.*

L'introduction, vers la même époque, d'espèces aussi variées que le micocoulier de Provence, le vernis du Japon ou le sequoïa... reste un exercice assez ponctuel de curiosité, qui permet d'évaluer la plasticité écologique de ces plantes rares (énoncées p. 169 du livre de DOMET). Les spécimens d'arbres moins étrangers, remarquables par leur beauté, sont aujourd'hui consignés dans un livret de l'Association des Amis de la Forêt de Fontainebleau (1988).

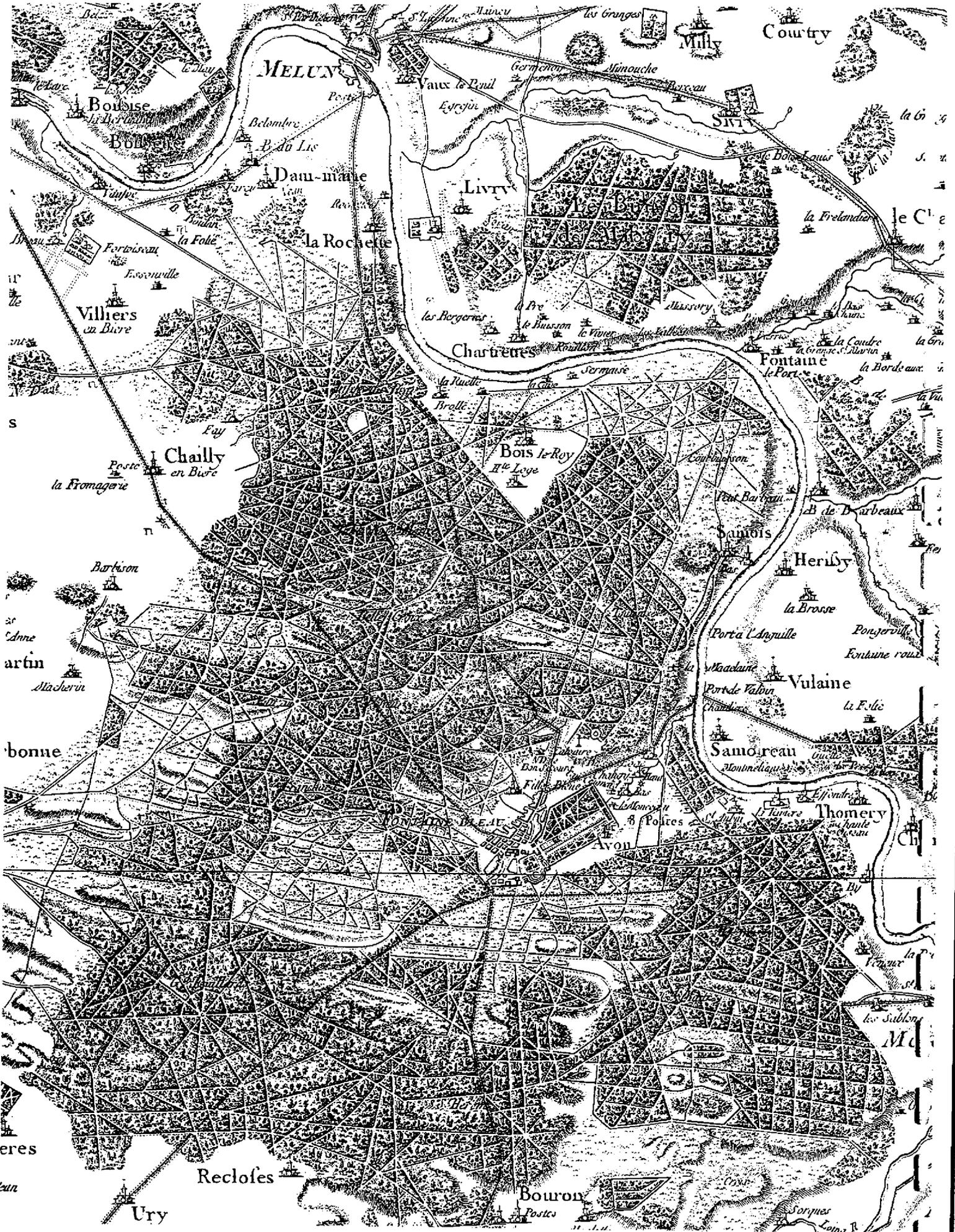
Les naturalistes de même que les artistes et les romantiques, tous messagers ou prophètes d'un public en quête de ses racines, s'intéressèrent à la forêt de Fontainebleau si proche de Paris. C'est ainsi que, *grâce à l'intervention de "l'Ecole de Barbizon", en 1837, auprès de Louis Philippe, une coupe extraordinaire fut annulée à la Tillaie, au Bas Bréau et au Gros Fouteau (FLON 1948).*

La création d'une Commission en (1853) aboutit à un décret qui reconnaît officiellement en (186) une "série artistique" de 1097 ha peu à peu augmentée. Celle-ci est à l'origine de la Protection de la Nature en France. En 1945, pour répondre aux intérêts de tous, la *"Commission consultative des réserves artistiques et biologiques de la forêt de Fontainebleau" est instituée dans un but de sauvegarde des trésors naturels.* L'intérêt écologique de ces réserves suscite les recherches de LEMEE (1966) ainsi que de son équipe. Les forestiers eux-mêmes (JACQUIOT 1983) peuvent considérer la sécurité que ces réserves représentent comme "conservatoire de gènes" des peuplements naturels.

Les dernières plantations "forestières" dont on puisse un peu évaluer le devenir sont celles de JACQUIOT en 1935 : des Douglas qui s'avèrent un essai fructueux, à en juger par la taille et la forme de ces arbres aujourd'hui.

Les Archives forestières contiennent certainement des trésors d'observation... qui pourraient bien alimenter la réflexion des scientifiques.

PLANCHE XVIII



CARTE DE LA FORET DE FONTAINEBLEAU

par CASSINI vers 1750

C'est ainsi que ce pays de Bière, en partie en friches, est devenu une grande forêt. Le forestier essaye de l'améliorer, de l'organiser, de la gérer, afin d'en tirer le meilleur profit. Dans ce but, la recherche des essences les plus appropriées au climat et aux différents sols doit rester un souci constant .

Quelques remarques peuvent susciter dès maintenant la réflexion :

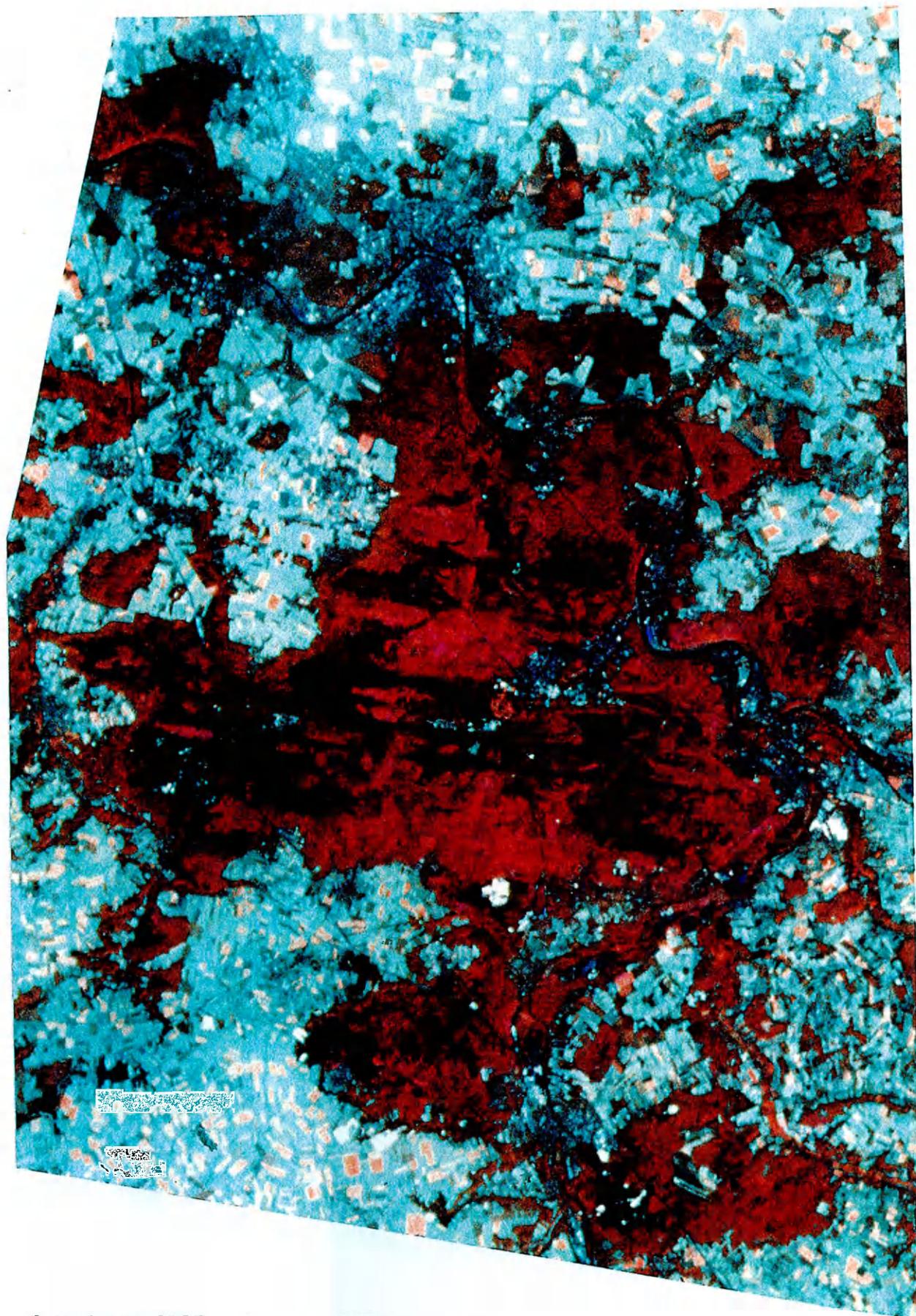
- le "climax" est par définition "un état d'équilibre"*
- cet "équilibre" correspondait "naturellement" à la présence de plusieurs espèces, malgré la dominance de l'une d'entre elles, qui caractérisait le climax .*
- la situation du Massif de Fontainebleau est en milieu "tempéré".
Si les forêts boréales ont toujours été caractérisées par des peuplements monospécifiques, et les forêts de basse latitude par l'hétérogénéité de leur peuplement, celles des pays tempérés ont toujours eu, à l'état naturel, une répartition des essences plus ou moins en bouquets, avec une espèce dominante selon les lieux.*

Le plus grand génie du forestier

ne sera-t-il pas d'intégrer cette observation

à ses plans ?

(!)



Cette image SPOT
correspond à l'émulsion photographique "fausse couleur" = infra-rouge couleur.
Elle révèle les peuplements de résineux (en vert-noir)
même à l'état jeune ou clairsemé (couleur mitigée claire vert-brun-rouge)
par opposition aux peuplements de feuillus (en rouge).

SPOT nous incite inévitablement à prendre quelque distance, dans le temps et dans l'espace.

Dernière glaciation ...

végétation de toundra ...

forêts avec dominances successives de certaines essences ...

Recherche progressive de la meilleure productivité....

essai de maîtrise de l'homme sur la Nature ...

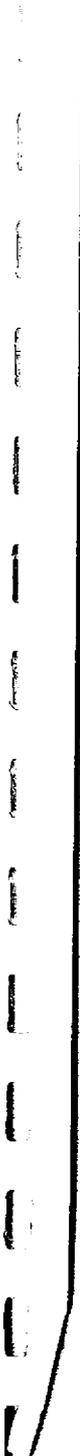
*et pourtant rappel à l'ordre de la beauté et de la fragilité de cette Nature,
à laquelle il appartient
et dont il "lui" appartient ... de maintenir l'équilibre.*



BUT et METHODE

FLORE et SOL

CARACTERES DIAGNOSTIQUES



BUT ET METHODE DE L'ETUDE

L'homme cultive depuis longtemps la forêt, pour produire essentiellement du bois. L'intérêt de cette culture est donc de prévoir l'implantation des espèces arborescentes qui "donnent" le mieux. Or, incontestablement, leur croissance est liée aux facteurs du milieu naturel, en particulier : le climat, et le sol - lui-même dépendant de la roche mère.

C'est ainsi que, le climat d'ensemble restant le même pour tout un massif, les "réponses" des arbres dépendent surtout de leur localisation, c'est-à-dire de la "station" = étendue de terrain homogène dans ses conditions écologiques (topographie, sol, climat et végétation spontanée)...et d'égale potentialité quant à la production (RAMEAU 1985). Cette dernière caractéristique sous entend une homogénéité de la station, non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps, comme le souligne BRETHES (1984). Une certaine stabilité se trouve inhérente à la notion de station.

En chaque point, les sols sont le lieu de l'altération des substrats très anciens. Leur "différenciation actuelle" est le résultat d'une genèse qui s'est réalisée le plus souvent sur des milliers d'années...parfois plus, et sous des climats moins équilibrés... parfois moins, justement quand la végétation a joué un rôle : on aperçoit là combien "le sol est un enregistreur complexe intégrant, tout en même temps, la dynamique minérale et la dynamique organique". Or, cette dernière dépend de la "nature chimique" des espèces végétales, arborescentes entre autres. → Le sylvo-faciès a donc une part dans le cycle pédogénétique, et il peut se trouver à l'origine des variations de la station, dans le temps.

C'est ainsi que l'homme peut, par le biais de la sylviculture, déclencher des transformations, notamment à la surface du sol au niveau des humus.

- Voilà pourquoi toute décision du forestier a pour conséquence l'amélioration, le maintien ou la détérioration du niveau écologique du sol.
- *Ceci a inévitablement des répercussions sur les jeunes semis ou plants à venir.*
- Tout Plan d'Aménagement est donc porteur de l'avenir de la forêt elle-même, au-delà des premières générations prévues.

La liaison du sol et de la végétation a été mise en évidence par DUCHAUFOR sur le plan forestier dès 1948. Précisée aujourd'hui dans ses facteurs physiques et chimiques (1989), elle est aussi évoquée dans une rapide mise au point qui scrute les différentes méthodes d'étude au niveau international (1990) ... l'initiateur de la pédologie forestière ne cessant d'exprimer que "c'est le sol qui, par ses propriétés, représente l'agent intégrateur de l'ensemble des composantes de l'écosystème forestier" (DUCHAUFOR 1989).

Pour l'élaboration de ce Catalogue de Stations Forestières, référence a été faite aux travaux de BONNEAU et TIMBAL (1972), de BECKER et al. (1980), aux recommandations présentées par TIMBAL et al. (1984), à la Typologie des Stations (RAMEAU 1985), au Vocabulaire de typologie des stations forestières (DELPECH et al. 1985), au guide de dendrologie de JACAMON (1979), à la Flore forestière de RAMEAU et al. (1989), ainsi qu'aux Catalogues établis par de nombreux collègues dont la majorité ne me portera pas rigueur si je cite parmi eux seulement : BAILLY et SCHMITT (1982-89) BRETHES (1984), GIRAULT (1988), DRAPIER (1989), BAILLY (1989) ...

Sur ces trois années octroyées pour les 20.000 hectares de la forêt, nous avons procédé à une reconnaissance de terrain par transects en fonction des variations géologiques dans trois secteurs différents de la forêt (Planche XX).

L'étude a comporté 450 sondages pour lesquels étaient notés : les caractères topographiques, les observations pédologiques, les espèces végétales et leur abondance-dominance, les observations sur le peuplement arborescent, en particulier sa composition, sa structure, la hauteur et le diamètre des arbres, leur état et leur forme, le recouvrement des strates,

La notation de la hauteur des arbres les plus beaux, ainsi que du diamètre en considérant l'âge, a permis de mettre en évidence un des caractères souvent diagnostiques à Fontainebleau : l'épaisseur du sol, que l'on peut encore appeler "la profondeur du sol", puisqu'il s'agit en fait ici des possibilités de prospection racinaire que le sol offre aux arbres.

Les analyses de sols ont été réalisées au laboratoire INRA d'Arras.

Pour chaque fosse pédologique, nous avons tenu à faire l'effort de la très longue préparation qu'exige la prise d'une photographie de "profil pédologique", afin que l'homme de terrain puisse disposer d'un élément de comparaison complétant le "profil schématique" et la description.

LA FLORE

VEGETATION ACTUELLE DU MASSIF ET ROLE DANS LA DETERMINATION DES STATIONS

Parmi les trois strates de végétation arborescente, arbustive et herbacée, celle des arbres façonne le "sylvofaciès" qui peut être d'un type - et d'un effet - très variable selon le genre végétal et selon le traitement forestier.

Les espèces de la strate herbacée, très sensibles, sont très dépendantes des multiples facteurs du milieu qu'elles peuvent, en association avec les espèces de la strate arbustive, ainsi caractériser. Les "groupements végétaux" sont donc habituellement révélateurs.

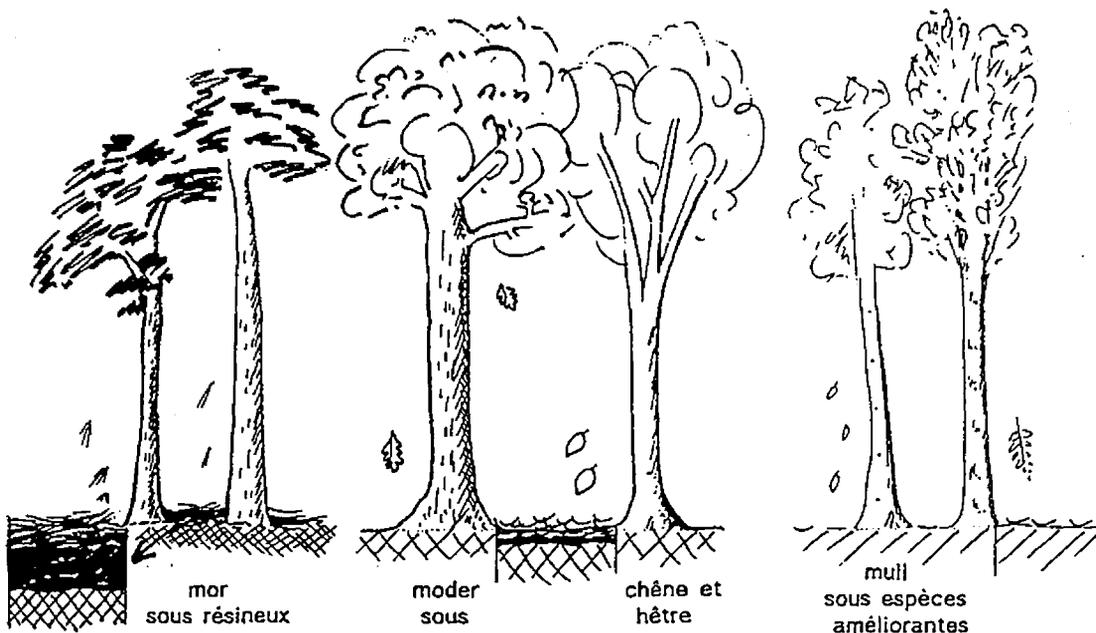
Le rôle indicateur des strates herbacée et arbustive a cependant ses limites, à Fontainebleau, pour la "détermination des stations", dans la mesure où le cortège est très souvent absent.

LES SYLVOFACIES

Ils correspondent à la substitution du cycle sylvogénétique naturel par le "cycle contrôlé et dirigé par l'homme".

I - LES SYLVOFACIES ET LEUR INTERDEPENDANCE AVEC L'HUMUS

L'observation la plus évidente confirme la relation bien connue de la végétation et du sol, passant par l'humus.. effectivement en grande partie induit par la nature des espèces végétales. Le croquis ci-dessous schématise l'action des trois grands types à distinguer :



* LE SYLVOFACIES DES CONIFERES en particulier des pins : sylvestre, laricio, noir et maritime, des épicéas et un peu des Douglas. Toutes ces espèces à C/N élevé (≈ 60), c'est-à-dire de "composition chimique pauvre en azote", se décomposent lentement, car l'action de la microflore, exigeant toujours de l'azote, n'est donc pas stimulée. De plus, ces espèces végétales contiennent certains diphénols qui forment des complexes résistants, et ces derniers empêchent la minéralisation de l'azote (HANDLEY 1961, SCHVARTZ 1975, in DUCHAUFOR 1977)

De ce fait, ce type de sylvofacies se caractérise par un humus souvent épais appelé "mor", qui détermine une acidité certaine, le pH variant entre 3,5 et 4.

C'est la raison pour laquelle ces espèces appelées "acidifiantes" ont un effet dégradant pour le sol, et difficilement réversible.

Ce sylvofaciès est normal sur sable stampien presque pur, puisque la silice, constituant presque unique, ne peut porter que des espèces très frugales.

Mais par contre, ce sylvofaciès appauvrit, de manière regrettable, certaines parcelles des plateaux, telles que la 257 à la Béhourdière par exemple, plantée en pins en 1970, ou certaines pentes stampiennes recouvertes d'une épaisseur suffisante de sables soufflés pour pouvoir porter d'autres espèces.

Au delà de la mise en évidence, "l'information" des "effets dégradants des boisements de résineux" a été parfaitement menée par DUCHAUFOR et BONNEAU (1961), BONNEAU et al. (1976-77)...avec la précision que pour "les roches sédimentaires acides, pauvres en fer et en bases"..., comme c'est le cas de Fontainebleau, → "la baisse du capital total de réserve passera inaperçue" BONNEAU et al. (1979).

* LE SYLVOFACIES DES FEUILLUS TELS QUE LE CHENE ET LE HETRE, à rapport C/N moyen (30 à 45) et teneur en tannins ... telle que la litière de feuilles se décompose très souvent en "plus" d'une année. Cette fois le type d'humus peut varier aussi en fonction du matériau, depuis le "mull jusqu'au dysmoder".

Ce sylvofaciès correspond aux peuplements les plus fréquents de la forêt, installés sur des épaisseurs très variables de sables soufflés : c'est sur les épaisseurs moindres que l'on trouve les mull, lorsque le calcaire (ou son matériau d'altération) est proche.

* LE SYLVOFACIES DES ESPECES AMELIORANTES telles que le charme, le tilleul, le frêne, le robinier, l'aulne et les fruitiers : noyer, merisier, ainsi que certains "accompagnements de sous-bois" que nos collègues allemands savent introduire pour améliorer le "rendement" de leur forêt : certaines graminées et légumineuses (WITTICH 1961, LEMEE 1973-75). Ces espèces sont dites "améliorantes" car leur richesse en azote (C/N < 25) suscite une grande activité des micro-organismes qui consomment rapidement la litière : cette décomposition rapide, avec bonne humification et bonne minéralisation, engendre la formation de "mull eutrophe".

La présence de calcaire en forte abondance dans le matériau peut bloquer certaines étapes de l'évolution de l'humus : ce sont les "mull carbonatés" qui font effervescence. A l'opposé en l'absence de calcaire "proche", et si les espèces améliorantes sont mélangées au chêne et au hêtre, le mull peut être "mésotrophe".

II – LES SYLVOFACIES ET LES CARACTERISTIQUES DES PRINCIPALES ESPECES CULTIVEES

1 – LES CONIFERES = RESINEUX

* LE PIN SYLVESTRE (*Pinus sylvestris*) a une très grande exigence en lumière. L'espèce en provenance de Riga a très bien réussi à Fontainebleau en 1786. Le succès immédiat des plantations de 1801, et qui dure encore, semble provenir du fait qu'il s'agissait de races nobles. La plasticité écologique de cette essence ne doit cependant pas laisser oublier l'importance des différences climatiques: la photopériode trop différente d'espèces venant du Nord de la Scandinavie est à l'origine de l'échec d'autres essais de régénération artificielle. La qualité de la race d'origine semble très importante, au vu des résultats de plusieurs autres tentatives. Et JACQUIOT (1983) regrette la coupe intégrale, en 1945, de très beaux spécimens de race noble, vraisemblablement de Bitche.

Si le Pin sylvestre a l'avantage, sur le plan économique, de croître assez vite, il présente l'inconvénient – qu'il faut appeler danger – de déclencher ou de renforcer la podzolisation à cause de la présence de tannins (dans les cellules du mésophylle des aiguilles, selon le même auteur). Ces tannins, ou diphénols évoqués précédemment, bloquent la dégradation ultérieure de la litière et engendrent les migrations organiques caractéristiques du processus de podzolisation :

→ Voilà pourquoi cette essence est à prohiber sur les sables soufflés.

→ D'autre part, deux observations permettent de déconseiller l'emploi de cette essence dans les plaines de grèzes :

– la nutrition en azote et en magnésium est freinée à $\text{pH} > 7$ (DUCHAUFOR, 1960). Le calcaire des grèzes, vite atteint par les racines, ne permet donc pas à cette essence d'avoir, là, sa meilleure forme.

– le manque de fer, à l'origine de la chlorose du pin sylvestre en milieu calcaire (ZECH 1970, in JACQUIOT, 1983), ne lui donne pas non plus des chances de croissance très extraordinaire en ces lieux.

→ *A l'heure de la compétition, la légendaire frugalité du pin sylvestre est à considérer dans ses limites et ses restrictions, auxquelles s'ajoute la sensibilité au vent : fort % de chablis à la tempête de 1990.*

→ *La personnalité de sa silhouette lui attribue cependant une certaine place parmi les paysages stampiens.*

* LE PIN NOIR (*Pinus nigra*) préférentiellement représenté par le LARICIO DE CORSE des pentes montagnardes exposées au Nord, s'est très bien adapté au Massif. Il présente des fûts remarquables par leur taille, leur diamètre et leur rectitude – toutes qualités très appréciées par le sylviculteur. JACQUIOT semble attribuer à cette espèce "l'avantage de ne pas entraîner une dégradation marquée du sol", ce que contredit BONNEAU (comm. orale) qui a déjà constaté son effet acidifiant.

→ *La réussite des quelques essais du 19ème siècle rendent le pin laricio apparemment intéressant, mais son effet malgré tout acidifiant et sa fragilité aux grands froids au stade juvénile le rendent rarement opportun.*

→ *Son manque de tolérance pour les sols hydromorphes l'exclut obligatoirement de la zone NNW .*

→ *Sa crainte pour le calcaire doit lui faire préférer l'espèce "laricio de Calabre" pour les sols minces sur calcaire, comme l'illustre son implantation sur craie en Champagne.*

→ *Une conduite sylvicole en mélange avec l'aulne devrait être essayée (p.78..)*

* LE PIN MARITIME (*Pinus pinaster*) introduit en 1790... fut grandement éliminé par les extrêmes froids, mais force est de constater que certains individus, issus des premières générations, ont supporté les -31° de l'hiver 1879 (CROIZETTE DESNOYERS 1881 in JACQUIOT 1983) et qu'ils se régénèrent bien, en particulier dans les zones incendiées (des paysages stampiens... car l'espèce est calcifuge).

→ *Même si une sélection résistante s'est constituée sur place, il paraît peu prudent de vouloir multiplier le pin maritime qui reste fragile aux grands froids.*

→ *Une faible proportion, sur les sables stampiens parmi les grès, est cependant heureuse pour le maintien de la variété des essences, qui est une des richesses de Fontainebleau. Sa forme ne peut alors que bénéficier de la présence de l'aulne blanc.*

* L'ÉPICEA (*Picea abies*), très rare dans le massif, demande une alimentation en eau suffisamment importante pour que les années sèches révèlent son inadaptation. De plus, "s'il arrive à une certaine taille", il est la proie des premières tempêtes en raison de son enracinement très superficiel et du matériau sableux, (Planche IV). Son effet podzolisant, mis en évidence par NYS (1987) sur matériau granitique, ne risquerait pas d'être moindre sur les sols de Fontainebleau.

→ *L'épicéa n'est pas dans son contexte écologique à Fontainebleau.*

* LE DOUGLAS (*Pseudotsuga douglasii*) espèce introduite en France seulement au milieu du siècle dernier, est très peu représenté dans le Massif. Les individus les plus anciens semblent être ceux qui bordent certaines allées : la beauté incontestable de ceux qui bordent la parcelle 369 provient, comme nous l'avons dit, de la relative proximité de la nappe du calcaire de Brie : ce qui prouve malgré tout que l'enracinement du douglas n'est pas si superficiel que cela ... et que les racines profondes, en général, n'ont peut-être pas seulement un rôle de "survie".

→ *L'adaptation étant très différente selon les provenances (RAMEAU 1985), le choix éventuel de cette espèce ne devrait se faire qu'après avoir retrouvé l'origine de ces beaux individus, ainsi que celle des arbres plantés par JACQUIOT en 1939 ... qui montrent déjà un beau résultat dans la parcelle 313.*

→ *Son manque de tolérance pour les sols superficiels ou calcaires d'une part, et pour les sols compacts ou à pseudogley d'autre part, ne le rend opportun ni pour les plaines de grèzes, ni pour les sols hydromorphes du NNW de la forêt.*

→ *Son humus relativement peu podzolisant et son adaptation aux sols profonds et filtrants peuvent le rendre éventuellement intéressant pour la fraction peu productive de la terrasse Fw et pour la terrasse Fx, au NNE de la forêt (toujours avec de l'aulne blanc) ... après évaluation des risques dûs :*

- à sa sensibilité aux gelées tardives et au vent (sa taille peut être élevée).
- ainsi qu'à sa relative exigence en pluviosité annuelle (son minimum possible de 700 mm laissant prévoir une forme moins bonne lors des longues successions d'années sèches).

* **LE CHENE ROUGE** (*Quercus rubra*) Cette espèce, au feuillage particulièrement esthétique en automne, convient aux sables et limons, mais ne supporte ni le calcaire actif, ni l'hydromorphie. Son introduction donne de bons résultats.

→ *Acidicline à large amplitude, donnant un bois de bonne qualité, le chêne rouge peut être un complément esthétique avantageux dans la composition des paysages. Mais son bois n'atteindra sans doute jamais la qualité "supérieure" bien connue de nos chênes indigènes.*

→ *Sa présence doit rester très limitée, car l'espèce semble être atteinte par le flétrissement sur le continent américain (GIBBS 1985, PINON 1990, TIMBAL 1990).*

* **LE HETRE** (*Fagus sylvatica*) espèce sciaphile, mésophile à large amplitude, présente des difficultés de régénération lorsque les peuplements sont purs comme le remarquait SILVY LELIGOIS en 1949 pour presque toute la France, en plus du caractère particulièrement défavorable de la litière pour le sol qui se podzolise alors (GALOUX 1953).

De plus, l'observation de l'importance des populations de lombrics : maximale sous le mélange chêne-hêtre-charme, et "nulle" sous hêtre pur (RONDE 1953) semble correspondre aux observations de BOUCHE dans la Réserve biologique de la Tillaie, où il n'a trouvé que très peu d'individus (année 1970).

La disparition de la faînée 1974 trouve son explication dans la prédation des faînes par les oiseaux et les rongeurs, la présence de ces derniers étant d'ailleurs directement en relation avec l'importance de la faînée (LE LOUARN et SCHMIDT, 1972). Les observations de LE TACON et al. (1976) sur l'évolution de cette faînée 1974 ont permis de déterminer l'incontestable avantage d'un travail du sol enfouissant les faînes : ce qui assure une protection contre le dessèchement et les gelées tardives souvent possibles à Fontainebleau.

→ *Toutes ces observations, similaires pour le chêne comme pour le hêtre permettent de réaliser combien sont nécessaires :*

- *le mélange de ces deux espèces,*
- *et un léger travail du sol.*

Le hêtre, exigeant un minimum d'eau, fuit par ailleurs les sols engorgés.

3 - LE CHATAIGNIER (*Castanea sativa*) relativement thermophile, et pouvant se trouver sur sols secs comme sur sols frais, acidiphile à large amplitude, peu exigeant en bases. De plus, ayant plutôt un caractère améliorant sur sols très sableux, il peut très bien se trouver sur sols profonds du stampien, ou sur sables soufflés assez épais pour éviter la proximité du calcaire. (La tolérance au calcaire, très rare, semble correspondre à la présence de micorhizes particulières). Cependant, au cas où le vent pourrait être à l'origine de la roulure qui affecte parfois cette espèce, il serait judicieux de le prévoir en situation abritée.

→ *Le châtaignier peut trouver sa place à Fontainebleau, plus qu'il ne l'occupe actuellement.*

4 - LES FEUILLUS AMELIORANTS

→ *frêne, merisier, noyer ... toutes espèces de grand prix, peuvent très bien valoriser les sols frais à mull de la plus récente terrasse ou les sols recevant le colluvium marneux, au pied de la falaise. Mais le merisier et le noyer ne doivent pas être placés en terrain hydromorphe.*

III - LES SYLVOFACIES ET LES REGIMES DE SYLVICULTURE FORESTIERE

* LE TAILLIS appauvrit considérablement "le sol" par suite de l'exportation répétée des éléments minéraux : les arbres en consomment beaucoup plus au stade jeune. Ceci peut aller jusqu'à l'appauvrissement du "taillis lui-même" comme cela peut s'observer dans les parcelles récemment acquises par l'O.N.F. par exemple sur le plateau des Grands Béorlots aux Trois Pignons (ROBIN 1983).

→ *Etant donné la pauvreté des matériaux sableux, le "régime du taillis" est à proscrire dans toute la forêt de Fontainebleau, sauf peut-être dans le cas de la chénaie pubescente ...
et les terrains hydromorphes du NNW de la forêt, a fortiori plus sensibles, subiraient, lors des coupes, une remontée de la nappe qui serait catastrophique.*

* LE TAILLIS SOUS FUTAIE , selon la réalité du traitement qu'il subit, peut être aussi appauvrissant que le taillis ou aussi équilibré que la futaie jardinée. Ce type de régime n'entre pas dans les objectifs actuels. Le taillis sous futaie, des périodes passées, correspond le plus souvent au mélange chêne-charme, quelquefois avec du châtaignier.

* LA FUTAIE "régulière" est le traitement qui domine actuellement pour l'ensemble de la forêt. Sa régénération se fait habituellement à la suite de la "coupe d'ensemencement", des "coupes secondaires" et de la "coupe définitive".

Il faut espérer que les effets de la méthode sauvage des "coupes à blanc etoc" menée en 1968-70 ont été suffisamment désastreux pour ne plus jamais avoir cours à Fontainebleau. La rupture du cycle biologique fut alors si brusque que le milieu fut totalement perturbé (quand il ne fut pas "labouré" jusqu'aux horizons minéraux). Le sol, victime d'une dessiccation profonde et appauvri dans sa flore et sa microfaune, fut colonisé par une véritable steppe à *Calamagrostis epigeios* qui mit une dizaine d'années à commencer à se clairier, permettant alors l'installation d'espèces pionnières telles que le bouleau, puis le pin sylvestre (Faille 1977).

La succession, sur huit années consécutives, des vains essais de reboisement de la parcelle 814 des Monts de Fays, prouve que le sol demande une quinzaine d'années pour se "refaire". Cette quinzaine d'années fut perdue pour la production (JACQUIOT, 1983).

Les coupes successives habituelles de la futaie régulière mettent les espaces concernés en état de clairièrage plus ou moins important - très important lors de la coupe définitive. Il est intéressant à ce sujet de connaître les conclusions de FAILLE (1975) lors de son étude comparative sur les effets du clairièrage pour deux humus différents :

- sur mull, le clairièrage entraîne une amélioration, en effet le pH augmente de même que le taux de saturation, et le C/N diminue par suite de l'extension d'une strate herbacée plus riche en azote que n'était le hêtre (l'étude a été faite à la Tillaie).
- sur moder, le clairièrage ne semble guère apporter de différence au bout de deux ans, après le flash minéralisateur du début.

Ceci s'ajoute aux conclusions de BELGRAND, DUCHAUFOR (1981), LEMEE (1982), HERBAUTS (1985), et DUCHAUFOR (1989) selon lesquelles le mull mésotrophe, se situant environ à pH 5,5 serait le plus opportun pour les espèces forestières.

→ L'acidification vers le mor étant néfaste, le forestier devrait avoir le souci de choisir des espèces – et de les répartir – de telle manière que le sylvofaciès, qui détermine en grande partie le type d'humus, permette de tendre vers l'humus le plus profitable : le mull mésotrophe.

Par ailleurs, certains considèrent que le traitement en futaie régulière présente un certain nombre d'inconvénients sur le plan économique "du présent immédiat" : sacrifices d'exploitabilité, pertes sur la vente des bois abattus par les tempêtes, pertes pour assurer la lutte contre les insectes et les parasites variés. A ces inconvénients s'ajoutent ceux "du futur"... qui risque d'hériter d'un sol assez peu ménagé par ce traitement forestier.

Le traitement en futaie jardinée, conduisant à une structure assez semblable à celle des peuplements naturels pour les essences d'ombre ou pour les mélanges d'essences, apparaît :

- plus résistant face aux tempêtes, par suite de l'étagement multiple des arbres,
- plus résistant face aux attaques d'insectes et de champignons, grâce à la santé du peuplement en équilibre à tous les niveaux de biocénose;
- de plus, "il assure au sol une protection plus continue" (COCHET 1971).

(?) appauvri
est?

Sur le plan de la production, les conclusions légèrement contradictoires de COCHET et de JACQUIOT permettent de penser que la différence entre les deux traitements de futaie ne doit pas être très grande. Mais le fait est que le jardinage exige beaucoup plus de soins et un suivi plus délicat... qu'il faut assurer. Il faut reconnaître que, dans le cas du chêne, sa nature d'essence de lumière ne se prête guère au traitement en futaie jardinée.

→ La sylviculture du chêne, à ne pas négliger puisqu'elle est très intéressante à Fontainebleau, devrait se faire en futaie régulière à condition de faire des coupes d'ensemencement modérées et de réduire la dimension des coupes à 5 hectares. La sylviculture du hêtre pourrait se traiter par bouquets.

Sur le plan esthétique, la futaie jardinée feuillue est très agréable. Elle serait cependant monotone à l'échelle de la forêt entière, comme le serait toute "structure" constamment répétée, en particulier la futaie régulière. Mais le promeneur, conscient ou non, est sensible aussi aux espaces lumineux de la futaie régulière ainsi qu'aux variations que peuvent offrir les "bouquets" ou les "parquets".

→ L'ensemble de la forêt devrait ainsi présenter une mosaïque équilibrée mais variée, traitée, selon l'essence cultivée, en futaie jardinée, en futaie par bouquets et en futaie régulière avec des parcelles de taille réduite – le tout agencé selon un souci paysager – afin d'apporter satisfaction tant sur le plan écologique global que sur le plan de la production forestière.

→ Souvent partiellement appauvri à Fontainebleau, le sylvofaciès appelle une amélioration par la pratique du mélange des espèces, et de l'apport d'espèces fixatrices d'azote.

LES GROUPEMENTS VEGETAUX

* (Les groupements végétaux de la région parisienne présentés par BOURNERIAS (1979) ont été rappelés par LAVERNE, PAULY et al.(1987) dans les Directives locales d'aménagement des forêts domaniales.

Sous ce terme de "groupements", pris ici dans son sens général, nous désirons surtout rappeler les groupes socioécologiques d'espèces indicatrices et d'autre part évoquer les principales associations végétales.

1 - LES ESPECES SOCIOECOLOGIQUES INDICATRICES

Ce sont des ensembles d'espèces ayant entre elles une certaine affinité sociologique, liée à des conditions écologiques particulières ; celles-ci sont régies par deux facteurs principaux qui sont :

- sécheresse-humidité (xero-hygro)
- pH (acidiphile à calcicole, en passant par neutro(nitro)phile).

Le suffixe "cline" correspond à une tendance (acidocline), par opposition au suffixe "phile" qui exprime une exigence (acidophile), ... ou au suffixe "cole" lié à une fréquence sans qu'il y ait d'exigence.

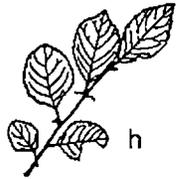
* (Le succès et l'utilisation de la Flore forestière française de RAMEAU, MANSION et DUME (1989) nous porte à utiliser les groupes socioécologiques d'espèces indicatrices qui y sont reconnus. Avant de présenter la liste, le tableau suivant figure la répartition de ces groupes en fonction des deux facteurs influents : teneur en eau et pH.

Sec	- - - Mésoxerophiles - - -				
				Mésoxerophiles calcaricoles et calcicoles	
Hum.moy.	Acidiphiles	Acidiclinaes	Neutroclinaes	Neutrocalcicoles	
				Calciclinaes	
			Neutronitroclinaes		
Humide	Mésohygrophiles			Neutronitrophiles	
	acidiphiles	acidiclinaes		neutrophiles	
Très humide	Hygrophiles				
	acidiphiles	acidiclinaes		neutrophiles	
Teneur en eau / pH	trés acide	acide	moyt.acide	neutre	légt.basique

(* Donnée de ne pas être reporté à 0 pour le catalogue, pour éviter les particularités locales.)

3 - ESPECES NEUTROCALCICOLES ET CALCICLINES
des sols riches en cations ou faiblement désaturés.

A	<i>Acer campestre</i>	Erable champêtre
a	<i>Clematis vitalba</i> <i>Cornus sanguinea</i> <u><i>Crataegus monogyna</i></u> <i>Daphne laureola</i> <i>Euonymus europaeus</i> <u><i>Ligustrum vulgare</i></u> <u><i>Prunus spinosa</i></u> <i>Lonicera xylosteum</i> <i>Viburnum lantana</i>	Clématite vigne blanche Cornouiller <u>Aubépine monogyne</u> Laureole Fusain Troène <u>Prunellier</u> Camérisier à balais Viorne lantane
h	<i>Agrimonia eupatoria</i> <i>Aquilegia vulgaris</i> <u><i>Brachypodium pinnatum</i></u> <i>Bromus erectus</i> <i>Calamintha silvatica</i> <i>Carex flacca</i> <u><i>Euphorbia cyparissias</i></u> <i>Melampyrum pratense</i> <i>Melittis melissophyllum</i> <i>Mercurialis perennis</i> <i>Platanthera chlorantha</i> <i>Tamus communis</i> <i>Viola hirta</i>	Aigremoine eupatoire Ancolie vulgaire <u>Brachypode penné</u> Brome dressé Calament officinal Laîche glauque <u>Euphorbe petit cyprès</u> Mélampyre des près*écotype seult. Mélitte à feuilles de mélisse Mercuriale perenne Platanthère à feuilles verdâtres Tamier Violette hérissée



4 - ESPECES NEUTROCLINES

sur sols bruns lessivés peu épais.

* à amplitude moyenne

A	<i>Acer platanoides</i> <i>Prunus avium</i>	Erable plane Merisier
h	<i>Carex sylvatica</i> <u><i>Melica uniflora</i></u> <i>Potentilla reptans</i>	Laîche des bois <u>Melique uniflore</u> Potentille rampante
B	<i>Eurhynchium striatum</i> <i>Fissidens taxifolius</i>	Eurhynchie striée Fissident à feuilles d'if



* à large amplitude

A	<i>Acer pseudoplatanus</i> <i>Carpinus betulus</i> <i>Robinia pseudaccacia</i>	Erable sycomore Charme Robinier faux accacia
a	<i>Corylus avellana</i> <i>Rosa arvensis</i> <u><i>Ruscus aculeatus</i></u> <i>Salix caprea</i>	Coudrier Rosier des champs <u>Fragon</u> Saule marsault



h *Brachypodium sylvaticum*
Centaurium erythraea
Dactylis glomerata
Dryopteris carthusiana
Dryopteris filix-mas
Epilobium angustifolium
Epipactis helleborine
Euphorbia amygdaloides
Festuca heterophylla
Fragaria vesca
Genista tinctoria
Hedera helix
Hieracium pilosella
Hypericum perforatum
Lamiastrum galeobdolon
Narcissus pseudonarcissus
Poa nemoralis
Polygonatum multiflorum
Potentilla sterilis
Prunella vulgaris
Stellaria holostea
Vicia sepium
Vinca minor
Viola reichenbachiana



Brachypode des bois
Petite centaurée commune
Dactyle aggloméré
Polystic spinuleux
Fougère mâle
Epilobe en épi
Epipactis à feuilles larges
Euphorbe faux amandier
Fétuque à feuilles de deux sortes
Fraisier sauvage
Genêt des teinturiers
Lierre
Piloselle
Millepertuis commun
Lamier jaune
Jonquille
Pâturin des bois
Sceau de Salomon multiflore
Faux fraisier
Brunelle commune
Stellaire holostée
Vesce des haies
Petite pervenche
Violette des bois



B *Eurhynchium stokesii*
Hylocomium brevirostre

Eurhynchie de Stokes
Hylocomie à bec court

5 - ESPECES A TRES LARGE AMPLITUDE à valeur indicatrice limitée

A *Betula pendula*
Betula pubescens
Fagus sylvatica
Pinus sylvestris
Quercus petraea
Quercus robur

Bouleau verruqueux
Bouleau pubescent
Hêtre
Pin sylvestre
Chêne sessile
Chêne pédonculé

a *Crataegus monogyna*
Ilex aquifolium
Juniperus communis
Rubus fruticosus

Aubépine monogyne
Houx
Genévrier commun
Ronce des bois

h *Anemone nemorosa*
Asplenium trichomanes
Convallaria maialis
Hieracium murorum
Solidago virgaurea
Stachys officinalis

Anemone des bois
Capillaire
Muguet
Epervière des murs
Solidage verge d'or
Bétoine officinale

B *Hypnum cupressiforme*
Rhytidiadelphus trichetrus
Scleropodium purum
Thuidium tamariscinum

Hypne cyprés
Hypne trichète
Hypne pur
Thuidie à feuilles de tamaris



6 - ESPECES NEUTRONITROCLINES sur sols saturés et assez riches en azote.

A	<i>Fraxinus excelsior</i> <i>Ulmus minor</i>	Frêne commun Orme champêtre
h	<i>Arum maculatum</i> <i>Cirsium arvense</i> <i>Galium mollugo</i> <i>Geranium robertianum</i> <i>Geum urbanum</i> <i>Listera ovata</i> <i>Mycelis muralis</i> <i>Primula elatior</i> <i>Ranunculus ficaria</i> <i>Taraxacum officinale</i> <i>Veronica chamaedris</i> <i>Viola odorata</i>	Arum tacheté Cirse des champs Gaillet mollugine Geranium herbe à Robert Benoîte commune Listère ovale Laitue des murailles Primevère élevée Ficaire fausse renoncule Pissenlit officinal Véronique petit chêne Violette odorante
B	<i>Brachythecium rutabulum</i>	Brachythécie à soie raide

7 - ESPECES NEUTRONITROPHILES hydroclines et hygrosclaphiles, sur sols riches et frais

A	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun
a	<i>Sambucus nigra</i>	Sureau noir
h	<i>Allium ursinum</i> <i>Chelidonium majus</i> <i>Galium aparine</i> <i>Glechoma hederacea</i> <i>Lamium album</i> <i>Ribes uva-crispa</i> <i>Stachys sylvatica</i> <i>Urtica dioica</i>	Ail des ours Chélidoine Gaillet gratteron Lierre terrestre Lamier blanc Groseiller à maquereau Epiaire des bois Ortie dioïque

8 - ESPECES ACIDICLINES DE MULL MESOTROPHE ... sur sols légèrement dessaturés

A	<i>Populus tremula</i> <i>Tilia cordata</i>	Tremble Tilleul à petites feuilles
h	<i>Deschampsia cespitosa</i> <i>Epilobium montanum</i> <i>Galeopsis tetrahit</i> <i>Hyacinthoides non scripta</i> <i>Luzula campestris</i> <i>Milium effusum</i> <i>Scrophularia nodosa</i> <i>Sellaria graminea</i> <i>Veronica montana</i>	Canche cespiteuse Epilobe des montagnes Ortie royale Jacinthe des bois Luzule des champs Millet diffus Scrofulaire noueuse Stellaire à feuilles de graminées Véronique des montagnes
B	<i>Atrichum undulatum</i>	Atrichie ondulée

* hygroclicines

h	<i>Athyrium filix-femina</i>	Fougère femelle
	<i>Circea lutetiana</i>	Circée de Paris
	<i>Dryopteris carthusiana</i>	Polystic spinuleux
	<i>Holcus lanatus</i>	Houlque laineuse

9 - ESPECES ACIDICLINES DE MULL OLIGOTROPHE sur sols lessivés à podzolisés.

a	<i>Lonicera periclymenum</i>	Chèvrefeuille des bois
h	<i>Calamagrostis epigeios</i>	<u>Roseau des bois</u>
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	Calamagrostide faux roseau
	<i>Festuca ovina</i>	Fétuque à feuilles ténues
	<i>Luzula forsteri</i>	Luzule de Forster
	<i>Luzula multiflora</i>	Luzule à nombreuses fleurs
	<i>Moehringia trinervia</i>	Moehringie à trois nervures
	<i>Veronica officinalis</i>	Véronique officinale



10 - ESPECES ACIDIPHILES A LARGE AMPLITUDE

A	<i>Castanea sativa</i>	Châtaignier
	<i>Pyrus cordata</i>	Poirier à feuilles en coeur
a	<i>Cytisus scoparius</i>	Genêt à balais
	<i>Mespilus germanica</i>	Néflier
	<i>Sorbus torminalis</i>	Alisier torminal
h	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Flouve odorante
	<i>Hieracium umbellatum</i>	Epervière en ombelle
	<i>Holcus mollis</i>	Houlque molle
	<u><i>Pteridium aquilinum</i></u>	<u>Fougère aigle</u>
	<i>Viola riviniana</i>	Violette de Rivin
B	<i>Hylocomium splendens</i>	Hylocomie brillante
	<i>Mnium hornum</i>	Mnie annuelle
	<u><i>Polytrichum formosum</i></u>	<u>Polytric élégant</u>
	<i>Polytrichum juniperinum</i>	Polytric genévrier



11 - ESPECES ACIDIPHILES DE MODER sur sols lessivés néopodzolisés à podzoliques.

A	<i>Sorbus torminalis</i>	Alisier torminal
h	<i>Agrostis capillaris</i>	Agrostide vulgaire
	<i>Carex pilulifera</i>	Laîche à pilules
	<i>Deschampsia flexuosa</i>	Canche flexueuse
	<i>Festuca tenuifolia</i>	Fétuque à feuilles ténues
	<i>Hypericum pulchrum</i>	Millepertuis élégant
	<i>Melampyrum pratense</i>	Melampyre des prés
	<i>Teucrium scorodonia</i>	Germandrée scorodoine
	<i>Viola canina</i>	Violette des chiens
B	<i>Dicranella heteromalla</i>	Dicranelle plurilatérale
	<i>Dicranum scoparium</i>	Dicrane en balai

très large amplitude!

* hygroclines

a	<i>Frangula alnus</i>	Bourdaine
h	<u><i>Molinia caerulea</i></u>	<u>Molinie bleue</u>
	<i>Potentilla erecta</i>	Tormentille

12 - ESPECES ACIDIPHILES DE DYSMODER ET DE MOR des sols lessivés néopodzolisés et des podzols.

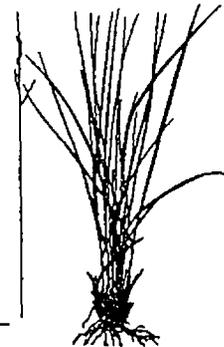
a	<u><i>Calluna vulgaris</i></u>	<u>Callune</u>
	<i>Erica cinerea</i>	Bruyère cendrée
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Myrtille
B	<u><i>Leucobryum glaucum</i></u>	<u>Leucobryum glauque</u>
	<i>Pleurozium schreberi</i>	Hypne de Schreber



13 - ESPECES MESOHYGROPHILES des sols ± hydromorphes

* neutrophiles à acidiclinales

A	<i>Populus canescens</i>	Peuplier grisard
	<i>Populus tremula</i>	Tremble
	<i>Prunus padus</i>	Cerisier à grappes
a	<i>Salix alba</i>	Saule blanc
	<i>Solanum dulcamara</i>	Douce amère
h	<i>Agrostis stolonifera</i>	Agrostide stolonifère
	<i>Carex pendula</i>	Laïche pendante
	<i>Cirsium oleraceum</i>	Cirse maraîcher
	<i>Cirsium palustre</i>	Cirse des marais
	<i>Eupatorium cannabinum</i>	Eupatoire chanvrine
	<u><i>Molinia caerulea</i></u>	<u>Molinie bleue</u>
	<i>Poa trivialis</i>	Pâturin commun
	<i>Ranunculus repens</i>	Renoncule rampante
	<i>Rumex sanguineus</i>	Oseille sanguine



* acidiphiles

	<i>Agrostis canina</i>	Agrostide des chiens
	<i>Hypericum humifusum</i>	Millepertuis couché

14 - ESPECES HYGROPHILES des sols hydromorphes.

* neutrophiles à acidiclinales

a	<i>Frangula alnus</i>	Bourdaine
	<i>Salix cinerea</i>	Saule cendré
h	<i>Epilobium hirsutum</i>	Epilobe hérissé
	<i>Juncus effusus</i>	Jonc épars
	<i>Lycopus Europaeus</i>	Lycophe d'Europe

* acidiphiles

A	<i>Betula pubescens</i>	Bouleau pubescent
a	<i>Salix aurita</i>	Saule à oreillettes

Pour la zone géographique considérée, certaines mises au point s'imposent, du moins pour les espèces très fréquentes. Dans l'ordre de la liste :

- Parmi les espèces xérophiles à mésoxérophiles à large amplitude trophique (1) :
 - le chêne pubescent peut en effet se rencontrer sur sables stampiens, en paysage de chaos de grès, plutôt en versant sud : c'est incontestablement la sécheresse du sol sableux, éventuellement renforcée par l'exposition, qui explique alors sa présence ...
... habituellement beaucoup plus fréquente sur sols minces - calcaires et calciques - des bords des plateaux, dont il est caractéristique (groupe suivant).
 - le fragon ou petit houx, indiqué comme mésoxérophile, doit vraisemblablement sa présence à la nature sableuse, donc drainante et sèche, des sols en général. Il se rencontre en effet moins souvent au NNW de la forêt qui présente des sols souvent plus limoneux et hydromorphes.

- Les espèces xérophiles et mésoxérophiles calcaricoles et calcicoles (2) s'allient souvent aux espèces indiquées dans le groupe 1 (xérophile).
 - la germandrée (écotype?) fait partie du cortège indicateur de la proximité du calcaire, bien qu'elle se trouve aussi parmi les indicatrices de moder.

- Parmi les espèces neutrocalcicoles et calciclinales (3) qui sont souvent présentes avec celles du groupe 2 :
 - l'aubépine monogyne, le troène et le prunellier sont tout à fait caractéristiques de la proximité du calcaire, ces trois arbustes étant d'ailleurs très souvent associés à Fontainebleau.
 - le mélampyre des prés peut effectivement se rencontrer en bordure de plateau sur sol sec de la chênaie pubescente ; ce n'est cependant qu'un écotype, car sa présence la plus fréquente est plutôt liée aux acidiphiles de moder, comme signalé plus loin dans la liste.

Ainsi, ces trois premiers groupes présentent :

- *un gradient quant au caractère xérique, lié non seulement à l'exposition mais aussi au sylvofacies plus ou moins clairié*
- *un gradient quant à la relation au calcaire.*

Cependant les espèces les plus fréquentes se retrouvent, à Fontainebleau, presque toujours associées, qu'elles soient du groupe 1, 2 ou 3. C'est ainsi qu'elles sont à considérer comme des indicatrices de la proximité du calcaire.

- Parmi les espèces neutroclinales (4) certaines peuvent se trouver associées à ces trois premiers groupes, en particulier le brachypode penné, le pâturin des bois, la violette des bois. Par contre, il semble que le fragon ait (outre son écotype xérophile) une amplitude s'étendant assez largement jusqu'aux acidiphiles.

- Parmi les espèces à très large amplitude (5)
 - l'aubépine monogyne peut effectivement se trouver sur les sols acides des terrasses NNW de la forêt, contrairement à son caractère d'indicatrice calcicole le plus habituel sur le reste du massif, comme précisé plus haut.
 - le houx présente plutôt à Fontainebleau un caractère acidiclinal.

- Nous avons réuni (10) les acidiclinales de mull-moder et celles de large amplitude, car les espèces telles que le genêt à balais, la flouve odorante, la houlique molle ou la violette de Rivin ont une certaine amplitude.

- Parmi les acidiphiles de moder (11)

- la molinie bleue est typiquement une indicatrice d'acidité.

- la germandrée scorodoine peut faire partie du cortège acidiphile, mais elle présente aussi un caractère de calcicole mésoxérophile.

- Parmi les acidiphiles de dysmoder et de mor (12) est-il utile de dire que la callune est "très fréquente" puisque c'est elle qui caractérise les paysages de sables stampiens. (Précisons néanmoins que son extension peut être plus large, et qu'elle l'a été, puisque des sols comme ceux des Grands Feuillards présentent une podzolisation certainement due - en partie - à son extension, lors d'une période antérieure). Aujourd'hui la callune est une bonne indicatrice d'acidité du sol ainsi que la mousse Leucobryum glaucum, très facile à reconnaître.

- Parmi les mésohygrophiles, la molinie bleue reste la grande indicatrice d'humidité des sols acides, néanmoins présente seulement dans les espaces suffisamment clairiérés. (On peut parfois rencontrer son écotype sur sol carbonaté). Selon BECKER (1971) ce serait plutôt une hygrotolérante puisqu'elle résiste autant à l'asphyxie en hiver qu'à la dessiccation en été.

Quelques disparités existent donc par rapport à la classification des groupes socioécologiques de la flore de RAMEAU . Elles peuvent s'expliquer par le caractère sec des substrats généralement très "sableux" , et par la fréquente acidité de surface malgré la proximité du calcaire. Une meilleure superposition des groupes existe au niveau des mésohygrophiles et des hygrophiles.

II - LES ASSOCIATIONS VEGETALES

Le regroupement phytosociologique des espèces se présente selon une classification en classes, ordres, alliances et sous-alliances. A Fontainebleau elle a été précisée par LEMEE pour la réserve de la Tillaie, en accompagnement des cartes du peuplement ligneux, des groupements végétaux et des sols (BOUCHON et al.). LEMEE reconnaît :

- une association de l'alliance de l'Asperulo-Fagion : hêtraie pure où la plupart des espèces sont caractéristiques de l'ordre des Fagetalia.
- une association de la sous-alliance du Luzulo-Fagion : hêtraie mélangée à quelques chênes sessiles, avec fréquence du houx et apparition d'herbacées acidiphiles.
- une association de la classe des Quercetea robori-petraeae : hêtraie avec quelques vieux chênes, constance du houx, pauvreté de la strate herbacée acidiphile.

Nous n'insistons pas sur cette classification des "associations", surtout employée par les spécialistes, car elle ne peut servir au forestier cartographe. La végétation du massif peut cependant se cadrer très schématiquement avec les sols, en considérant les groupements indiqués par BOURNERIAS (1973) :

- la bruyère sèche sur podzol (grpt 54) occupe les paysages stampiens de sables et grès. Des peuplements de résineux (grpt 68) peuvent succéder à cette lande.
- à l'opposé, la chênaie pubescente (grpt 66) apparaît sur sols minces, carbonatés et secs, montrant parfois le passage aux pelouses arides ou héliophiles des groupements 50 et 51, en bordure des plateaux.
- la hêtraie calcicole (grpt 65) permet aux sols peu épais de sables soufflés de garder la fraîcheur.
- la chênaie-charmaie (grpt 60) peut se trouver sur sables soufflés peu épais, carbonatés au moins en partie.
- la chênaie-frênaie (grpt 63) peut apparaître sur la dernière terrasse calcaire, aux sols carbonatés profonds et frais.
- mais la majeure partie de la forêt s'exprime dans les groupements : de la hêtraie-chênaie acidophile (62) et de la chênaie sessiliflore oligotrophe (67) sur sols brunifiés, lessivés ou podzolisés.
- La chênaie pédonculée oligotrophe à molinie se situe dans la partie NNW de la forêt sur les sols sablo-limoneux hydromorphes.

De nombreuses observations ont été faites dans les espaces non boisés :

- sur l'implantation naturelle du pin sylvestre à la plaine de la Solle par GUITTET et LABERCHE (1972)
- sur la végétation des pelouses xérophiles à la Plaine de la Solle, par GUITTET et PAUL (1974)
- sur les espèces végétales de la plaine de Chanfroy, leur rareté et les groupements végétaux par ARNAL et ARLUISSON (1989 et 1991), ARLUISSON et ARNAL (1991-3).
- sur le cortège des lichens particulièrement riche dans ces pelouses par BOISSIERE (1990)

Ces études permettent de témoigner de la richesse floristique de ces espaces.

LA FLORE ...

UNE CLE POUR LA DETERMINATION DES STATIONS ?

Les groupes d'espèces socioécologiques indicatrices révèlent incontestablement les milieux différant par la teneur en eau et le pH. Et le cortège floristique est toujours plus riche sur les sols mésotrophes ou eutrophes, ainsi que sur les sols carbonatés, a fortiori sur les pelouses sèches évoquées plus haut ... que sur sols acides. Il est plus riche aussi sur certaines stations hydromorphes.

Dans cette mesure, la végétation peut évidemment renseigner et permettre une reconnaissance rapide des différents secteurs du milieu : acides, carbonatés, et hydromorphes.

→ Une première approximation du milieu est donc possible par la végétation.

Cependant, les cartographes attendent peut-être de la flore qu'elle soit une indicatrice des stations. Si cela est parfois possible en certains points de la forêt de Fontainebleau, par contre **le milieu acide sur sables détermine le plus souvent la rareté de la flore**, comme GUAY(1984) a pu le constater dans les pays de Loire ; et de plus, la hêtraie et la pineraie renforcent le même phénomène, signalé par BUFFET et BRETHERS (1984) en Haute Normandie où "la composition de la végétation herbacée ne permet pas de rendre compte de la variabilité des matériaux constitutifs du sol".

La composition floristique, observée et notée à chaque sondage le long des transects, s'est effectivement caractérisée par sa **très grande pauvreté en espèces et en individus, y compris lorsque les variations d'épaisseur des sols déterminent des potentialités différentes.**

D'autre part le sylvo-facies est souvent à l'origine de changements dans la strate herbacée, comme FEDOROFF (1990) l'a noté dans son étude sur la forêt de Barbeau, voisine de celle de Fontainebleau. Cet auteur insiste sur l'influence de la sylviculture qui joue sur la typologie du milieu.

→ Alors, bien souvent à Fontainebleau, la végétation n'enregistre pas de changement – dans sa composition présente ou dans son absence – alors que le sol change et offre des potentialités différentes aux arbres.

→ La végétation ne peut donc pas être "LA" clé de détermination des stations forestières à Fontainebleau.

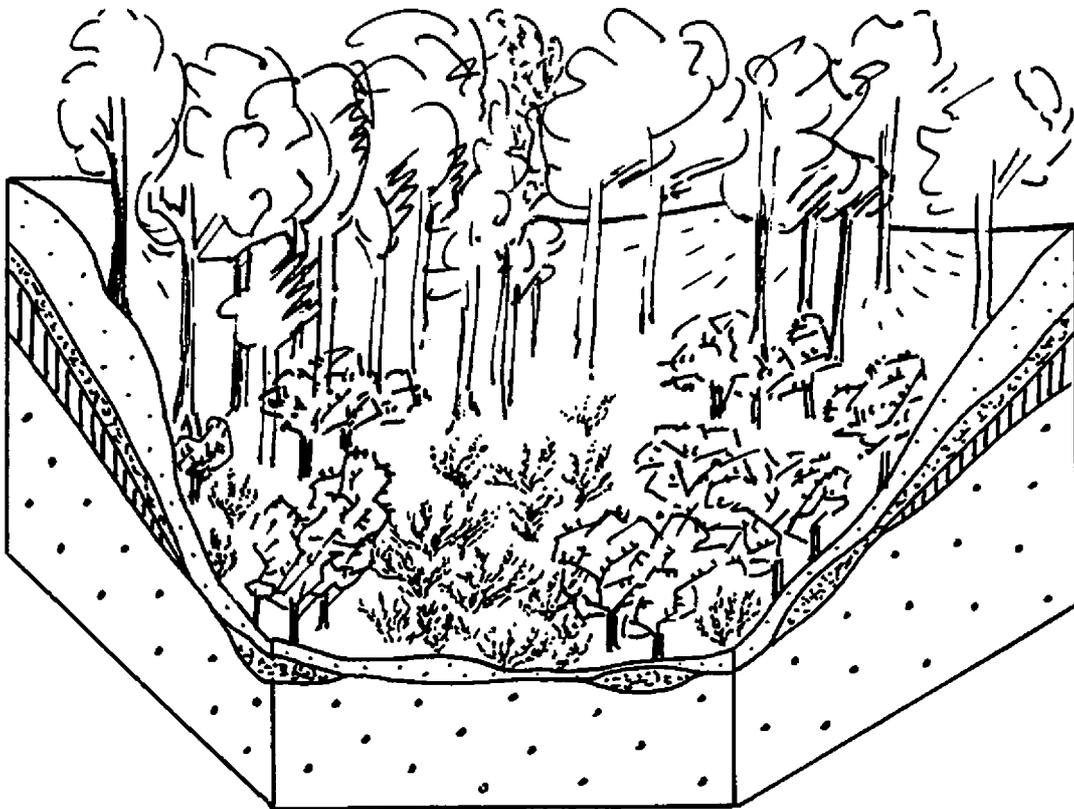
Néanmoins, la géologie et la topographie déterminent une grande fréquence de sols sableux qui sont d'épaisseur très variable ; le matériau sous-jacent est presque toujours calcaire et sa proximité peut être révélée par le cortège végétal.

→ En effet, dans la mesure où :

- les sols sableux épais sont acides,
 - les faibles épaisseurs de sables sur calcaire sont en partie carbonatées,
- le passage entre les deux types de surfaces est toujours balisé par un changement de végétation : acide et rare d'un côté, calcicole et plus abondante de l'autre.

C'est ainsi que le forestier cartographe peut faire référence à l'apparition – ou à la disparition – de l'association "aubépine, troène et prunellier" : ces espèces indicatrices ne peuvent échapper au regard et sont de véritables traceurs ; elles sont liées à la proximité du calcaire (60 cm ou moins), et leur disparition permet presque toujours de limiter les stations. Sur les bordures des plateaux, leur présence révèle l'existence de poches de "matériau d'altération du calcaire d'Etampes", déversées plus ou moins gelées (en condition périglaciaire) au-delà du banc calcaire lui-même. Le Stampien (sable ou grès en platière) qui est souvent proche est, quant à lui, recouvert de callune.

Une zone en mosaïque de sols caractérise ainsi souvent les extrémités de plateaux et parfois le haut des pentes ; si des travaux de sylviculture ne sont pas trop récents, les limites sont alors très visibles.



LE SOL

SUBSTRAT DE CROISSANCE DES ARBRES DE LA FORET

Les arbres trouvent leur ancrage et leur subsistance évidemment dans "le sol" Celui-ci est le résultat de l'altération de la roche, sous l'influence des climats successifs où interviennent la température et la pluviosité, selon une proportion variable.

PEDOGENESE ET APPARITION D'HORIZONS

Ainsi, dès leur exondation des mers ou des lacs, les calcaires, les marnes et les sables ont commencé à s'altérer. Les formations superficielles, y compris les formations éoliennes dès leur dépôt, ont été le lieu d'une "pédogenèse": cette "formation du sol" correspond à toute une organisation interne, fonction des flux et des réactions chimiques entre les constituants minéraux d'une part, avec les constituants organiques d'autre part. Cette évolution physicochimique, évidemment très liée à la nature de la roche, se traduit par des caractères visibles sur une coupe verticale de sol : "le profil" est effectivement caractérisé par des couches grossièrement horizontales appelées "horizons". Leur morphologie et leur succession permettent d'établir l'appartenance à un système de fonctionnement, correspondant alors à un type de sol.

L'horizon A_0 est purement organique : il correspond à la couche de litière (feuilles ou aiguilles) en cours de décomposition. Cet horizon peut être très réduit (existant parfois seulement une partie de l'année) ou très important (5, 10, voire 30 cm si la dégradation se fait très lentement).

L'horizon A_1 gris-noir, situé à la surface du "sol" proprement dit, est organo-minéral... puisqu'il est le lieu d'intégration de la matière organique de la litière au squelette minéral du sol. Son épaisseur moyenne de 6 à 8 cm peut être moindre ou plus forte. On distingue parfois deux sous-horizons A_{11} et A_{12} selon la charge en matière organique.

Les autres horizons sont "minéraux", excepté pour les podzols.

L'horizon B des sols bruns correspond à un horizon d'altération où les oxydes de fer liés à l'argile donnent la coloration brune.

A partir du moment où il y a transfert, l'horizon A_2 (éluvial → E dans la nouvelle classification) s'appauvrit au bénéfice des horizons B (illuviaux) qui accumulent ce que les migrations descendantes leur apportent à partir de l'horizon A_2 éclairci. Ainsi l'horizon B_t (t ← Ton = argile en allemand) témoigne, dans sa couleur, sa texture et sa structure, de l'accumulation des argiles et du fer. Celui-ci donne à l'horizon une coloration ocre plus ou moins rouille dans les sols bruns lessivés et lessivés. La partie β basale du B est due à la décarbonatation.

Les horizons B des sols podzolisés sont le B_h = humique et le B_s = sesquioxydes = Fe + Al. La précipitation des complexes organominéraux se réalise d'abord avec une forte dominante organique qui masque le fer - ensuite avec une dominante métallique, qui estompe la coloration humique.

Certains horizons des sols hydromorphes comme le Gr des Gleys peuvent avoir une coloration vert-bleutée, signe de l'état réduit du fer.

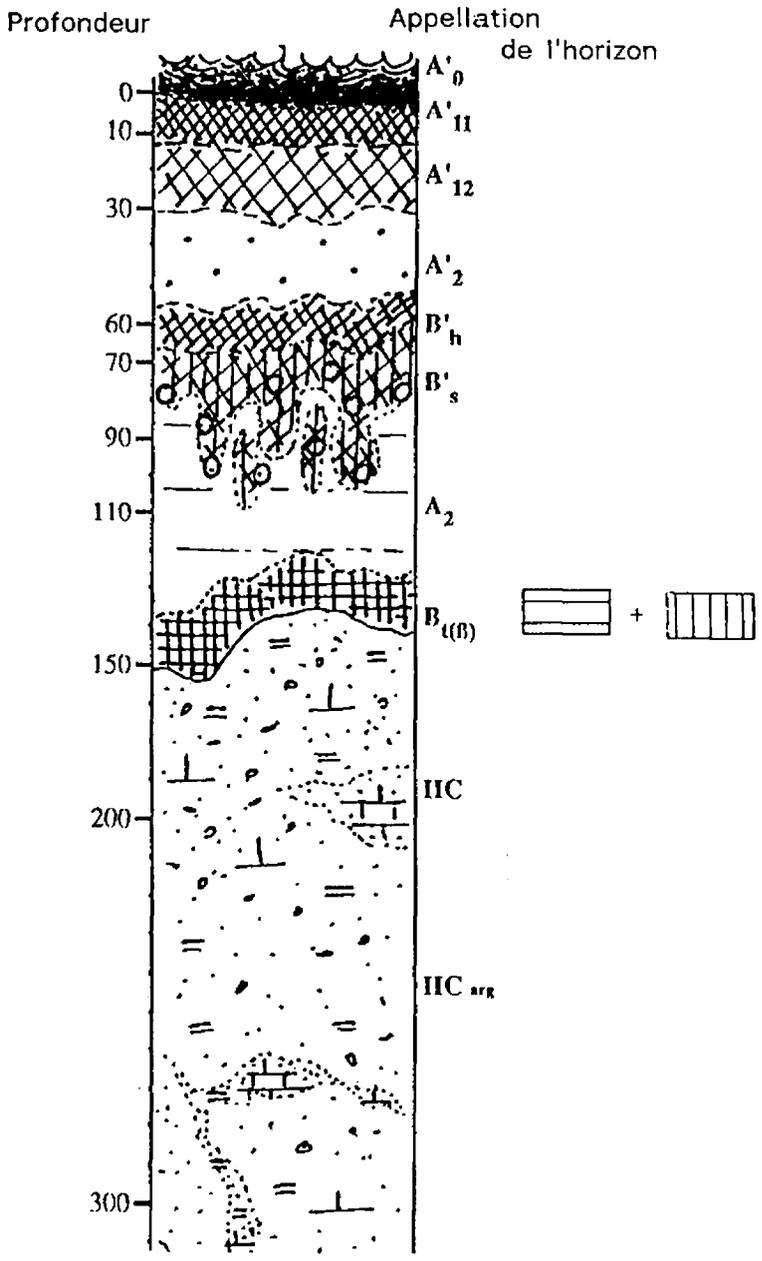
L'horizon C désigne la roche mère altérée et R la roche mère non altérée.

Le complément ' ou " ajouté à la lettre désignant un horizon correspond à un cycle de pédogenèse supplémentaire, éventuellement issu d'un autre soufflage, mais non obligatoirement. Le chiffre II indique par contre un matériau dont le mode de dépôt est différent de celui de la phase I.

**LÉGENDE GÉNÉRALE
DES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES FIGURES**

	Couche organique peu décomposée (A_0)
	Horizon humifère particulaire peu actif
	Horizon humifère grumelleux actif
	Carbonate de chaux
	Argile 2/1 (illite, vermiculite, montmorillonite - avec oxyde de fer absorbé)
	Argile 1/1 (kaolinite)
	Horizon cendreux ou blanchi
	Accumulation de fer ferrique hydraté (ocre vif ou rouille)
	Accumulation de fer ferrique deshydraté (rouge)
	Précipitation localisée de fer ferrique
	Concrétions ferro-manganiques
	Gley: fer ferreux dominant (gris verdâtre)
	Alumine libre
	Roche mère en cours d'altération
	Roche mère siliceuse non altérée
	Roche mère calcaire non altérée

N.B.- L'abondance des différents éléments est indiquée par l'espacement plus ou moins grand des lignes ou la densité des symboles utilisés



Exemple de profil schématique

LES CONSTITUANTS DU SOL ET LEUR ROLE SUR LES PROPRIETES NUTRITIVES

I – LES CONSTITUANTS SOLIDES MINERAUX (80% en poids, 50% en volume)

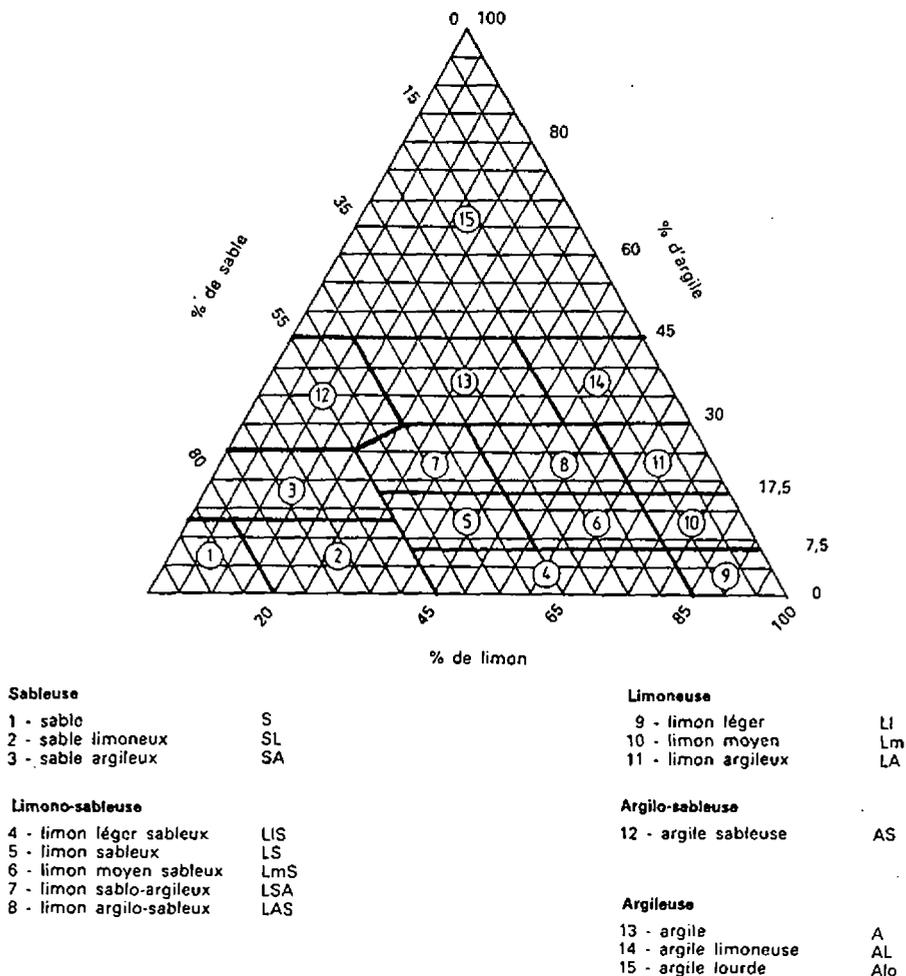
1 – LE SQUELETTE MINERAL habituellement issu de la fragmentation de la roche, est présent d'emblée lorsque la roche est un sable, comme le plus souvent à Fontainebleau, et il est caractérisé par la **texture**. Celle-ci correspond à la répartition des différentes particules en fonction de leur taille ; leur classement effectué par granulométrie, est défini selon les catégories suivantes :

- les argiles (granulométriques = argiles minéralogiques + autres minéraux) : < 2 μm
- les limons de 2 à 50 μm (fins de 2 à 20 μm et grossiers de 20 à 50 μm)
- les sables de 50 μm à 2mm (parmi lesquels : les sables fins de 0,05 à 0,2 mm et les sables grossiers de 0,2 à 2 mm)

L'ensemble, de 0 à 2 mm constitue "la terre fine" sur laquelle toutes les analyses physiques et chimiques sont effectuées.

Les graviers et cailloux > 2 mm, sont à considérer dans la mesure où leur proportion peut avoir une influence non négligeable pour la perméabilité du sol.

Les principales textures sont délimitées par le diagramme de JAMAGNE :



Pour la reconnaissance sur le terrain, les sables ne posent généralement pas de problème à cause de leur émiettement rugueux entre les doigts. Les limons sont très doux au toucher et laissent un dépôt fin. Les argiles, humides ou humectées, sont malléables.

Le seul squelette minéral orienté, par sa texture la dynamique interne du sol.

La texture sableuse ($S > 55\%$), très perméable, offre peu de réserve en eau, et détermine des sols secs : c'est le cas de la plupart des sols à Fontainebleau.

La texture limoneuse ($L > 55\%$), sans grande porosité, donc peu aérée, ne permet ni une bonne circulation de l'eau, ni une bonne respiration des racines.

La texture argileuse ($A > 30\%$), imperméable, peut gêner la pénétration des racines et les asphyxier en période humide : c'est le cas au NNW de la forêt lorsque les sols sablo-limoneux surmontent une couche argileuse.

La meilleure texture, "équilibrée" ou "franche", comporte à peu près 25 % d'argiles, 30 à 35 % de limons et 40 à 45 % de sables.

A Fontainebleau, la texture sableuse caractérise la plupart des sols.

2 - LE COMPLEXE D'ALTERATION = SOURCE DE LA RICHESSE MINERALE

Les minéraux primaires de la roche donnent, en s'altérant, des minéraux secondaires ou éléments microcristallins à structure en feuillets : ce sont les argiles minéralogiques qui forment (avec les oxyhydroxydes) le complexe d'altération. Leur nature de silicates d'aluminium plus ou moins hydratés détermine éventuellement des variations de volume (argiles gonflantes). D'autre part, le jeu de l'équilibre ionique occasionne le transfert - "l'échange" - permanent de cations entre le bord des feuillets altérés et la solution du sol, qui est la solution nutritive pour les racines des arbres.

Selon la quantité et la "nature" des argiles, la richesse minérale des solutions du sol est plus ou moins importante et "variée" :

A Fontainebleau, les "sables stampiens" essentiellement quartzeux (p.30) contiennent peu d'argiles minéralogiques, et plutôt de la kaolinite peu favorable puisque son altération ne peut libérer que des ions Al^{+++} acidifiants et toxiques.

Par contre, les "sables soufflés" contiennent un cortège plus varié d'argiles, en particulier ferromagnésiennes (chlorite-vermiculites, smectites) qui proviennent (p. 25) des impuretés libérées par le calcaire et reprises par le vent. Cette "richesse relative" en cations permet des solutions plus nutritives pour les arbres.

II – LES CONSTITUANTS SOLIDES ORGANIQUES (2 à 3% en poids ou volume de sol)

Ils proviennent de la décomposition des organismes morts, végétaux et animaux du sol ... par la microflore (bactéries, champignons) et la faune vivantes, qui font aussi partie de ces constituants.

1. LES ORGANISMES VIVANTS

Les bactéries, abondantes dans les milieux riches en azote, en particulier autour des racines, transforment les celluloses en produisant surtout du gaz carbonique CO_2 ; certaines transforment les protéines en acides aminés .. puis en NH_4^+ (ammonification); d'autres interviennent dans les processus d'oxydo-réduction du cycle de l'azote, du soufre, du fer, du manganèse – éléments fondamentaux : certaines oxydent NH_4^+ en NO_2^- et d'autres en NO_3^- (nitrification) ; d'autres encore réduisent au contraire les nitrates NO_3^- jusqu'à N_2 = azote gazeux (dénitrification).

Ce sont encore des bactéries qui réduisent les sulfates des milieux tourbeux en H_2S , ou qui oxydent les sulfures en sulfates, ou qui oxydent le fer ferreux en fer ferrique en le précipitant en milieu aéré (→concrétions ferromanganiques des sols hydromorphes), ou qui réduisent le fer ferrique en fer ferreux dans les cas d'anaérobiose des gleys.

Ainsi, les bactéries, dont l'importance des populations fluctue en fonction du potentiel d'oxydoréduction et de l'acidité, ... ont une importance considérable dans l'évolution pédogénétique. Ainsi Azotobacter fixe l'azote atmosphérique librement tandis que d'autres espèces telles que les Cyanobactériacées et les Rhizobiacées, de même que les Frankiacées parmi les Actinomycètes, ont la capacité de fixer l'azote gazeux de l'atmosphère du sol dans des tissus (nodosités) formés en symbiose avec certaines espèces végétales, au niveau des racines. Ces trois familles de microorganismes ont donc la particularité exceptionnelle de réduire l'azote gazeux et de le transformer en une forme assimilable.

La symbiose, dont l'intérêt économique est connu depuis l'antiquité, est fréquente avec les trois sous-groupes de la famille des Légumineuses : les Papilionacées, les Mimosoïdées, les Césalpinioïdées. MOIROUD (1991) précise que, parmi les arbres de cette famille, seul le robinier présente des nodosités – l'association se faisant avec Frankia.

Mais cet actinomycète peut réaliser la symbiose avec plusieurs espèces de plantes "non-Légumineuses" ligneuses, telles que les quatre espèces d'aulnes (glutineux, cordé, blanc, vert), l'olivier de Bohême, le redoul, l'argousier et le piment royal. "Les quantités d'azote fixé par les espèces actinorhiziennes sont souvent très élevées. De ce fait les gains en azote des écosystèmes dominés par ces espèces sont spectaculaires. En conditions naturelles, l'enrichissement du sol varie avec l'âge et la densité du peuplement mais dépasse souvent 100 kg N / ha / an... L'apport d'azote se fait principalement par les retombées annuelles de feuilles... également par la dégradation et la minéralisation des nodosités".

Des essais réalisés en forêt de Colmar par R. BRUNNER (1991) avec une Légumineuse : le *Trifolium subterraneum*, pourraient être regardés avec attention, car cette plante de la strate herbacée présente le sérieux avantage de ne pas faire de concurrence aux arbres pour l'alimentation en eau puisque sa période végétative se trouve en hiver ; de plus, ses graines se resèment elles mêmes en s'enterrant.

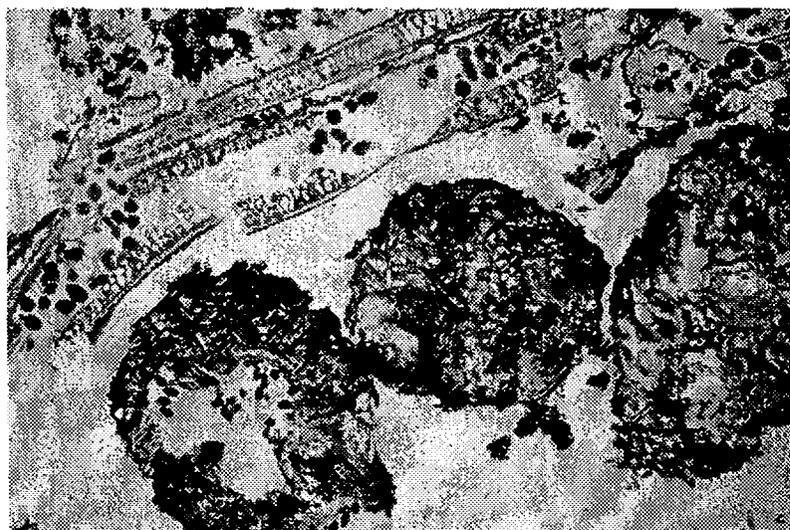
Les forestiers allemands, autrichiens, américains, ont réalisé depuis longtemps l'intérêt des plantes fixatrices d'azote. Il serait dommage de ne pas profiter de cet avantage naturel.

→ *Les arbres et les sols de la forêt de Fontainebleau devraient être aidés dans bien des cas par un accompagnement de plantes fixatrices d'azote.*

Les champignons sont plus particulièrement représentés dans les milieux acides, dont ils constituent la seule microflore. Leur rôle de "décomposeurs" s'exerce surtout sur les celluloses et sur les composés phénoliques : lignine, tannins, qu'ils scindent en petites molécules.

La faune, composée d'organismes de taille très variable, forme une chaîne de dégradations multiples : les Protozoaires et les Nématodes de la microfaune consomment la microflore bactérienne et les Actinomycètes. Les Collemboles et les Enchytreides de la mésofaune (100 μm à 1 cm) transforment les tissus cellulaires des feuilles de la litière en boulettes fécales qui constituent la couche H de l'horizon Ao. Une véritable chaîne s'installe avec reprise des boulettes de certaines espèces par d'autres espèces plus petites. La macrofaune (> 1cm) peut intervenir efficacement en complétant le cycle biogéochimique (retour au sol, par la litière, des éléments minéraux prélevés par les racines des plantes dans le sol) : les lombrics effectuent un brassage important qui remonte des argiles et favorise la formation des agrégats constitués d'argiles et d'humus ("argilo-humique") qui structurent les mull. BERTHELIN et TOUTAIN (in DUCHAUFOUR et SOUCHIER 1979) présentent schématiquement tous ces organismes et leur activité.

Reliquat de la trame des nervures de feuilles de charme après le passage des Enchytréides.



↑

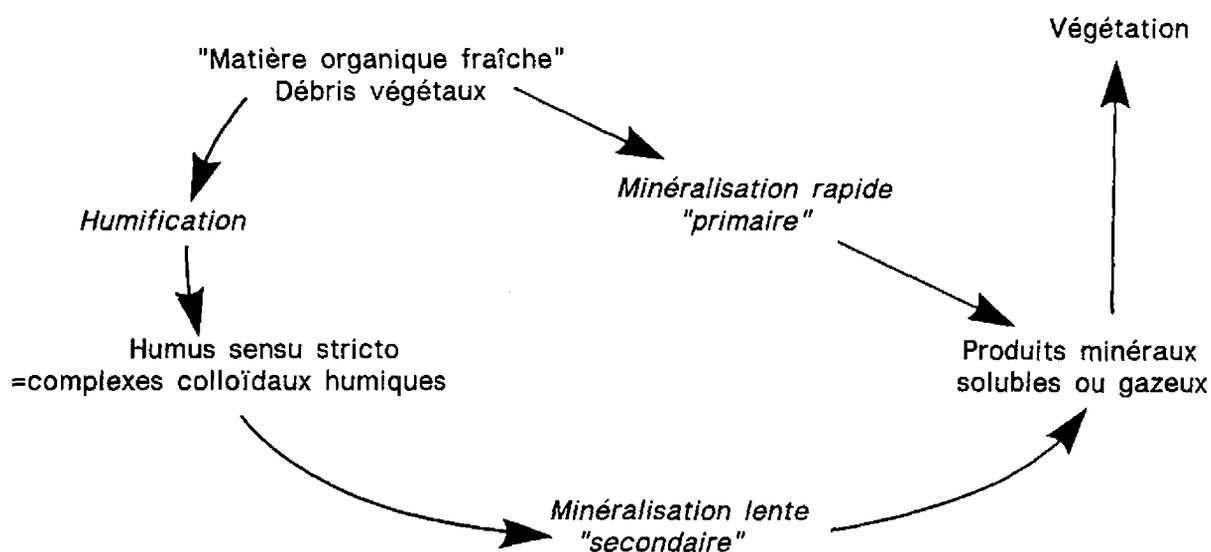
Transformation en chaîne de la litière par la faune, dont les boulettes fécales, de taille très variable, présentent une fragmentation plus ou moins grossière des débris foliaires.

2 . LA "MATIERE ORGANIQUE FRAICHE"

Elle est composée de feuilles mortes et de cadavres d'animaux – lesquels deviennent rapidement "déjections" de la faune vivante. Les boulettes fécales ainsi créées sont le résultat d'un premier tri, différent selon les espèces : par exemple *Glomeris marginata* retient préférentiellement les substances hydrosolubles des feuilles ingérées (JOCTEUR-MONROZIER et ROBIN 1988). Certaines espèces découpent grossièrement les feuilles, et leurs boulettes sont faites de grands fragments à structure cellulaire reconnaissable ; d'autres espèces prélèvent seulement les tissus tendres de la feuille en laissant sur place la trame des nervures (travail des Enchytréides, Planche XXI) ou bien consomment d'autres déjections, et les boulettes, plus petites seront alors formées d'un matériel plus fin.

Les feuilles mortes constituant la "litière" forment la matière organique fraîche. Les "boulettes fécales" sont souvent entremêlées à ces feuilles. L'épaisseur et la composition variable de cet horizon organique A₀ ainsi que le pH de l'horizon organo-minéral A₁ permettent de caractériser les différents types d'humus.

L'énergie des organismes vivants est le moteur de la transformation du matériel organique mort. Ceci s'inscrit dans un cycle – appelé "turn-over" – où le mobile est toujours la recherche du carbone C, de l'oxygène O, de l'Hydrogène H et de l'Azote N (éléments minéraux fondamentaux nécessaires à l'élaboration de la matière vivante). Ce cycle passe nécessairement par la minéralisation, parfois directe et rapide (primaire), parfois lente et indirecte (secondaire) après humification.



3. L'HUMUS

Ainsi, les très grosses molécules des matières organiques fraîches peuvent donner rapidement les très petites molécules minérales ; mais elles peuvent aussi, après une phase de simplification ... se condenser, se "polymériser" en grosses molécules (acides humiques) à gros noyau et chaînes courtes - ou petites molécules (acides fulviques) à petit noyau et longues chaînes.

L'humus est un colloïde :

- hydrophile → retenant donc beaucoup d'eau
- chargé négativement (suite à la dissociation du groupement COOH en COO⁻ et H⁺)

La réunion des deux colloïdes "argile" et "humus" se fait par l'intermédiaire des charges positives des cations bi ou trivalents tels que Ca⁺⁺ ou Fe⁺⁺⁺ : ceux-ci, plus nombreux dans les sables soufflés, permettent ainsi la formation du "complexe argilo-humique".

L'humus favorise donc la formation des agrégats, si bénéfiques pour l'aération et la macroporosité des horizons de surface, ainsi que pour la stabilité de la structure.

III - LES SOLUTIONS DU SOL (17% en poids, 26% en volume)

1 - LEUR ORIGINE Elles proviennent essentiellement de l'eau des précipitations : les 696 mm /an à Fontainebleau . Parfois peut s'ajouter l'eau des nappes :

- "perchées temporaires" qui provoquent une anaérobiose asphyxiante en hiver, sans apporter l'eau qui serait utile en été : c'est le cas des pseudogleys du NNW de la forêt, où la toxicité du Fe⁺⁺ s'ajoute à celle du Al⁺⁺⁺.
- "permanentes", dont le niveau varie avec la saison et qui sont nuisibles si elles sont proches de la surface, pour les mêmes raisons que précédemment. Cependant si elles sont assez profondes en été (2 à 5 mètres), leur utilité est alors incontestable, car l'ascension capillaire de l'eau permet l'alimentation des arbres.

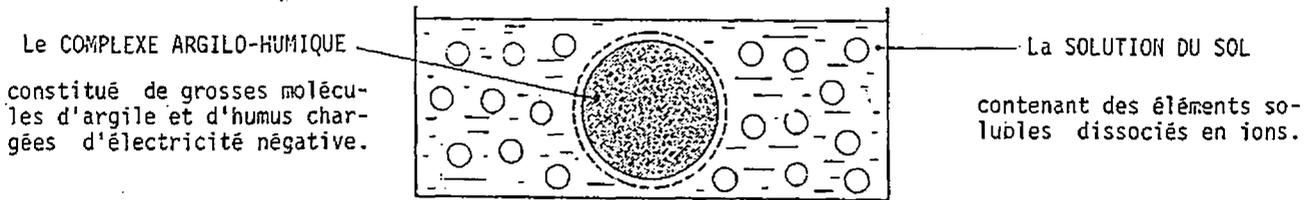
2 - LEUR ROLE CHIMIQUE Ces solutions sont le lieu d'échanges permanents de cations avec le complexe absorbant formé par les argiles, l'humus, ou même le complexe argilo-humique : ceux-ci "peuvent" retenir des cations (ions positifs) en leur surface chargée négativement (voir plus haut) = cette "capacité d'échange" (T dans les analyses) est une caractéristique de chaque horizon. L'échange, perpétuellement provoqué par l'activité des microorganismes, la respiration des racines, l'altération des roches et l'apport d'eau par les pluies, correspond à un ajustement permanent de la répartition des charges... vers un équilibre. [Si la valeur T représente la "capacité" d'échange - donc le potentiel - la valeur S correspond à la quantité réelle de "bases effectivement retenues" sur le complexe absorbant. Lorsque ce sont ces bases S (Ca, Mg, K, Na) qui combinent les charges offertes par la Capacité T , on dit que le complexe est saturé : S=T et S/T = 100 %. C'est la valeur du rapport S/T qui renseigne sur l'état du complexe : celui-ci peut être dessaturé lorsque $T = S + H^+ + Al^{+++}$].

L'eau du sol, véhicule ainsi des ions variés, principalement Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, SO₄⁻, Na⁺, HCO₃⁻, NO₃⁻ qui sont en proportion variable suivant les sols .

Deux autres ions K⁺ et H₂PO₄⁻ existent en très faible quantité mais sont indispensables pour les plantes, le phosphore intervenant en particulier au niveau de la photosynthèse. → Sa teneur, souvent trop limitée à Fontainebleau, détermine M. BONNEAU à conseiller un apport de phosphates naturels.

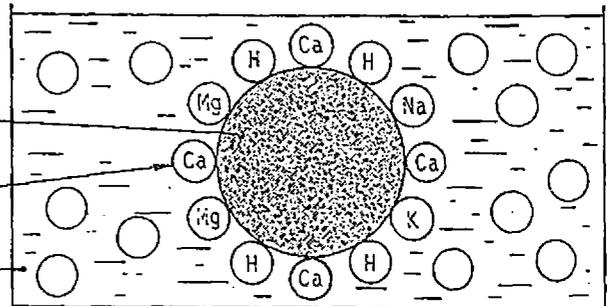
Les oligoéléments bore, molybdène, fer, zinc, manganèse, cuivre sont à l'état de traces.

Par ailleurs, l'aluminium, fréquent dans les sols acides de Fontainebleau, peut être défavorable, même toxique.



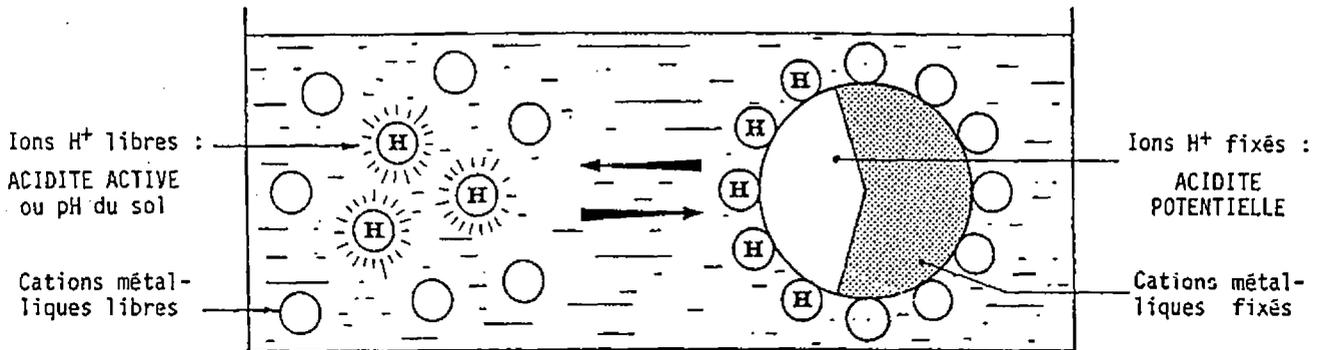
A PARTIR DE CETTE REPRESENTATION IMAGEE, ON PEUT DEFINIR LE POUVOIR ABSORBANT :

Le POUVOIR ABSORBANT est...
la propriété que possède...
LE COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE...
de retenir à sa surface...
DES CATIONS...
provenant de la...
SOLUTION DU SOL.



C'est pourquoi le COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE est encore appelé le "COMPLEXE ABSORBANT"

En même temps que des cations métalliques, des ions H^+ sont fixés sur le complexe argilo-humique
Ces ions H^+ fixés sont en équilibre avec les ions H^+ libres dans la solution du sol.



LE pH D'UN SOL EST LA MESURE DE LA QUANTITE D'IONS H^+ LIBRES DANS SA SOLUTION
Il représente la REACTION de la SOLUTION DU SOL, ou ACIDITE ACTIVE DU SOL, (ou acidité "actuelle", ou "réelle")

Ces ions H^+ sont EN EQUILIBRE avec les ions H^+ fixés sur le complexe

LES IONS H^+ FIXES REPRESENTENT L'ACIDITE POTENTIELLE DU SOL (ou acidité "totale", ou "de réserve", ou "de titration")

--- d'après Soltner ---

L'absorption des solutions du sol se fait le plus souvent au niveau des poils absorbants situés un peu en arrière de l'apex des racines. Lorsque les espèces en sont dépourvues, comme la plupart des arbres (Conifères, Hêtre, Chêne) l'absorption est facilitée par les micorhizes.

Le transit se fait par les méats, par les cytoplasmes et par les vacuoles, jusqu'aux vaisseaux où s'exprime la poussée radriculaire, de nature vraisemblablement osmotique et suscitée par la transpiration. (L'eau est sous tension, si la transpiration l'emporte ; et sous pression si la poussée radriculaire est plus forte. HELLER 1989). Cette sève brute contient les sels minéraux et les composés organiques de la solution du sol ainsi que les aminoacides formés, dans la racine, à partir des nitrates.

IV – LES CONSTITUANTS GAZEUX = ATMOSPHERE DU SOL (0 % en poids, 22 % en vol.)

Une partie provient de l'air atmosphérique avec 78 % d'azote, 10 à 20 % d'oxygène et 0,2 à 3,5 % de gaz carbonique. Mais cette dernière teneur, plus forte que les 0,03 % de CO₂ de l'air extérieur, et celle de O₂ un peu plus faible, mettent en évidence les effets de la décomposition organique, de la respiration racinaire et du métabolisme des organismes vivants qui consomment de l'oxygène (nécessaire aussi à l'oxydation des minéraux) et rejettent du CO₂. L'atmosphère du sol est ainsi complétée par du CO₂, H₂... ou même CH₄, comme a pu le révéler l'ouverture des profondeurs de la station 853-1.

Mais, la proportion d'azote de l'air du sol est forte et stable et peut-être largement utilisée par les Légumineuses au niveau de leurs nodosités qui permettent son assimilation.

L'azote est l'élément permettant la constitution des protides (amino-acides et peptides, protéines à l'origine de tout protoplasme, réserves des graines, acides nucléiques constituant les noyaux cellulaires).

→ Ainsi l'utilisation de cette ressource de l'azote de l'atmosphère du sol devrait s'imposer, car elle complète et régularise l'alimentation habituelle par NH₄⁺ ou NO₃⁻ dans les solutions du sol.

Par ailleurs, l'oxygène est indispensable. Il est utilisé si l'eau est courante, renouvelée. Par contre, tout engorgement du sol par l'eau ou toute réduction de la porosité par tassement du sol peut avoir des suites graves en déterminant : l'asphyxie des racines, la mort des bactéries aérobies des nodosités, l'anaérobiose toxique des profils de gleys.

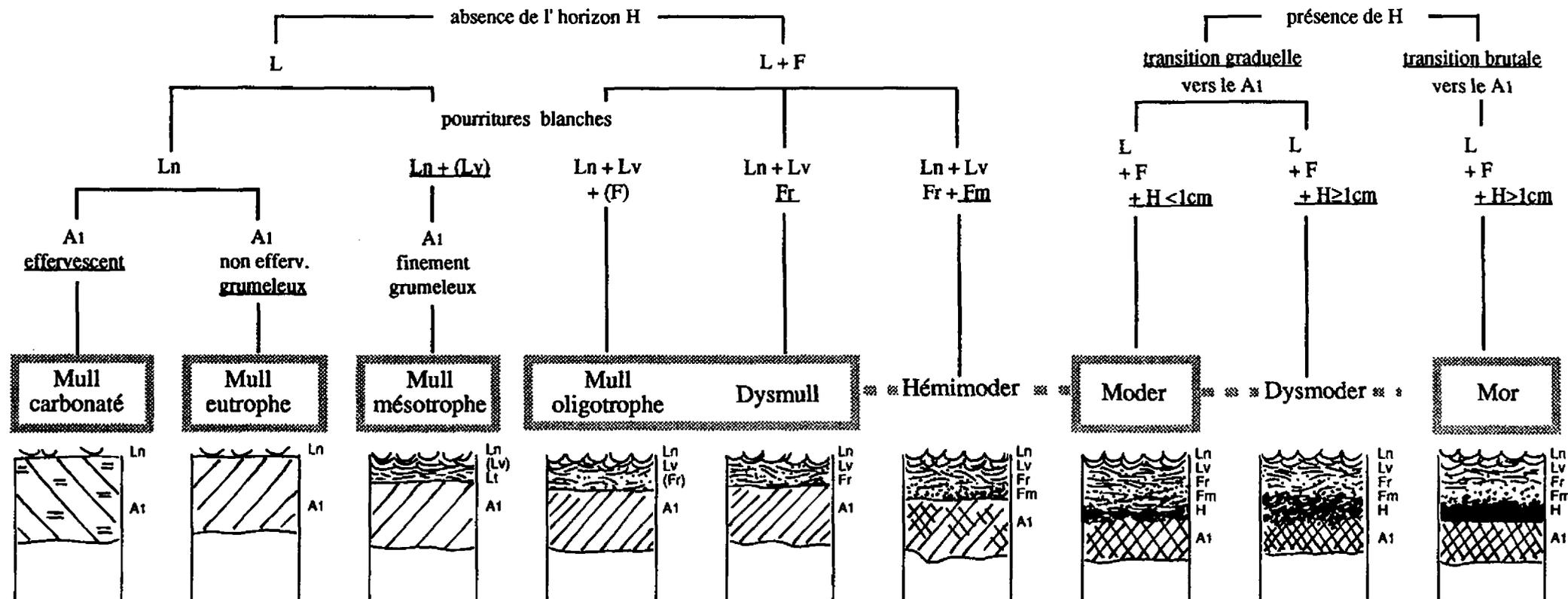
Le renouvellement de l'air du sol, par diffusion, se fait d'autant mieux que la structure est aérée. Voilà pourquoi les sols sablo-limoneux, souvent hydromorphes, du NNW de la forêt, gagneraient à être "griffés" avec "un appareil ultra léger"... et semés avec une "Légumineuse de la strate herbacée" prélevant l'eau en période humide (*Trifolium subterraneum*).

L'atmosphère du sol n'est pas un constituant négligeable puisque le sylviculteur peut en tirer parti pour améliorer la croissance des arbres.

Tous les constituants du sol – grains du squelette, atouts chimiques, organismes vivants, matière organique en décomposition, solutions et gaz du sol – interviennent dans l'orientation de l'évolution du sol.

C'est ainsi que les moindres différences existant au niveau minéral de la roche mère déterminent parfois des types de sols différents, sur lesquels la nature de "l'espèce arborescente" a, par ailleurs, une répercussion supplémentaire.

Clé de détermination des humus



pH	8-7	7-6	≈ 5,5	≈ 4,5	_____	≈ 4,5	_____	<4
C/N	10-12	10-12	≤15	≤15	_____	≈ 18	_____	>25
Al/Ca	0	0	<1	≈1	_____	>1	_____	>1



LES CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET LES PROPRIETES PHYSICOCHEMICHES DU SOL

Les caractères morphologiques sont une expression de la pédogénèse, sur laquelle ils peuvent influencer à leur tour.

Ainsi les humus caractérisent la surface des sols et déterminent leur évolution, par le biais du cycle biogéochimique.

Par ailleurs, la structure exprime les caractères morphologiques des horizons et conditionne, avec sa base texturale, les propriétés physiques primordiales pour la croissance des arbres : l'aération du sol et la teneur en eau. La relation entre les caractères pédologiques et la typologie des stations forestières est clairement présentée par DUCHAUFOR (1986-89-90) ce qui permet d'avancer les précisions suivantes :

I - LES HUMUS

Le mode de décomposition de la matière organique, la vitesse du turn-over, déterminent la morphologie des différents types. Ceux-ci, liés au pH, influencent la disponibilité des cations et la nutrition azotée et phosphorée... donc le développement des régénérations et même la croissance des arbres.

1. MORPHOLOGIE DES DIFFERENTS TYPES D'HUMUS;

La transformation de la matière organique fraîche peut se faire très rapidement dans le cas des espèces améliorantes riches en azote : l'humus est alors presque réduit à l'horizon A₁ car la couche de litière L de feuilles mortes disparaît en quelques mois. Mais lorsque la litière est moins riche en azote, ou même pauvre...très pauvre, sa quantité est insuffisante pour la microfaune, qui diminue en nombre et en variété : non seulement la couche L de litière de l'année demeure, un peu remaniée, se transformant en couche F, mais la litière des années précédentes demeure encore, altérée peu à peu par la microfaune et la microflore ; et l'accumulation de matière organique fine forme une couche H.

Cette subdivision de l'horizon organique A₀ (ou O) en trois couches principales (L, F, H) au-dessus de l'horizon organominéral A₁, est établie depuis longtemps mais étudiée de plus en plus près par : BABEL (1971), DUCHAUFOR (1977), TOUTAIN (1981), DUCHAUFOR et TOUTAIN (1986), BRETHES, JABIOL et al (1992). Ces derniers auteurs distinguent :

- OL [Litière non ou peu évoluée]
- | | |
|--------------------------------------|---|
| OL _n (neu = neuve) | restes sans transformation nette - feuilles entières. |
| OL _v (verändert = changé) | débris modifiés |
| verwittert = altéré | peu fragmentés |
| verbleicht = décoloré) | éventuellement décolorés. |
| OL _t (transition) | débris nettement fragmentés (← action des lombrics) |
- OF [Fragmentation (± nette) des résidus + matière organique fine]
- | | | |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------|
| OF _r | m.o. fine < 30 % | (passage progressif de Fr à Fm) |
| OF _m | 30 à 70 % de m.o.fine | |
- OH [Humus m.o. fine > 70 %]
- | | | |
|-----------------|-----------|---|
| OH _r | 70 à 90 % | " |
| OH _f | > 90 % | " |

Les trois grands types d'humus **mull**, **moder**, **mor** sont liés au type de végétation ainsi qu'au matériau minéral. Ils ont des fonctionnements très différents puisque le mull est biologiquement actif alors que le mor est peu actif.

Entre les deux extrêmes, BRETHES, JABIOL et al (1992) reconnaissent des différences au niveau de l'existence ou de la proportion des couches du A₀, distinguant ainsi les types suivants (illustrés p.84) :

le mull carbonaté	seulement Ln – et A1 effervescent, grumeleux.		
le mull eutrophe	"	"	– A1 grumeleux , non effervescent.
le mull mésotrophe	Ln + (Lv)	–	A1 finement et faiblement grumeleux.
le mull oligotrophe	Ln + Lv + (F)	–	A1 à éventuels grumeaux fragiles à Fontainebleau
le dysmull	Ln + Lv + Fr	"	" "
l'hémimoder	Ln + Lv + Fr + Fm	A1 à mat. org. fine non liée à la mat. minérale	
le moder	L... + F... + H < 1 cm		} transition graduelle avec A ₁
le dysmoder	L ... + F ... + H ≥ 1 cm		
le mor	L ... + F ... + H > 1 cm		→ transition brutale avec A ₁

Pour essayer la méthode, les humus des stations (toujours observés sur plusieurs placettes) ont été décrits suivant cette nouvelle clé de détermination; mais celle-ci comporte en fait une **précision très souvent sans rapport avec le caractère fluctuant de la réalité de terrain.**

Le mull oligotrophe et le dysmull peuvent vraiment être regroupés. L'hémimoder est une forme de transition à couche OH peu ou pas développée. Le dysmoder est en fait un moder épais au niveau du H. Le mor, qui est à transition brutale vers le A₁, présente une couche H souvent de l'ordre de 3 cm... mais parfois de 15 cm. En milieu hydromorphe, on peut rencontrer l'hydromull qui est une variante du mull eutrophe ou du mull mésotrophe, avec taches d'oxydation en A₁. En milieu acide l'hydromoder est caractérisé par un horizon A₁ épais noir, et l'hydromor peut constituer un intermédiaire avec la tourbe.

2. INFLUENCE DES TYPES D'HUMUS DANS LA NUTRITION DES PLANTES;

* Disponibilité des cations.

Les solutions du sol contiennent les cations issus de l'altération de la roche mère. Ces cations, en perpétuel ajustement d'équilibre avec le complexe absorbant (argile et humus) alimentent la plante, mais parfois l'intoxiquent.

En effet, si certains cations tels que Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ sont indispensables pour la plante, d'autres peuvent avoir un effet nocif :
 H⁺ abaisse le pH → ce qui diminue l'activité biologique
 mais surtout Al⁺⁺⁺ peut être toxique en empêchant le développement des racines (ROST-SIEBERT 1985, RUNGE 1986, RABEN 1987) et en gênant l'absorption des cations indispensables (KABATA-PENDIAS et PENDIAS 1984).

PENEL (1979) et RUNGE (1986) font la relation entre certaines plantes indicatrices du pH et le rapport Al échangeable / Ca échangeable de la station.

Ainsi :

Al/Ca < 0,1	pour les neutrophiles comme la mercuriale perenne et le brachypode des bois.
Al/Ca < 1	pour les mésoacidiphiles : la mélisse uniflore et la fétuque des bois.
Al/Ca > 1	pour les acidiphiles telles que la canche flexueuse.

Les espèces forestières réagissent différemment à la toxicité alumineuse: les résineux la supportent assez bien, se comportant en acidiphiles (LE TACON 1976, RYAN 1986). Cependant, lorsque le pH diminue et que le rapport Al/Ca atteint 4 ou 5, l'excès d'ions Al⁺⁺⁺ intoxique presque toutes les espèces forestières (ULRICH 1983).

L'optimum de la nutrition minérale des feuillus sociaux, hêtre et chêne, qui constituent le peuplement forestier de base à Fontainebleau, se situe dans les milieux d'acidité moyenne (pH 5 à 5,5 et rapport Al/Ca proche de 1).

Sans perdre de vue le fait que l'optimum de ces chênes a son origine dans l'épaisseur et la ressource en fines du "fonds", l'humus garde cependant une influence par l'alimentation en eau "de surface".... en particulier auprès des régénérations qui souffrent lorsque Al⁺⁺⁺ devient trop abondant (moder acide) ; elles survivent cependant (DUCHAUFOR 1989).

Par contre, lorsque le pH s'élève vers la neutralité et au-delà,

- l'ion Al⁺⁺⁺ perd sa toxicité, car l'aluminium passe dans des formes insolubles,
- le complexe absorbant est davantage saturé en Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺, et les oligoéléments Fe⁺⁺⁺, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ sont moins solubles, ce qui peut déterminer les carences (chloroses) souvent observées en milieu calcaire.

* Nutrition azotée.

La proportion relative de carbone C et d'azote N est variable (p. 55) chez les différentes espèces forestières : leurs exigences en azote ne sont pas les mêmes : elles sont très réduites chez les espèces des moder et des mor. Par ailleurs, les espèces acidiphiles utilisent l'azote sous sa forme ammoniacale NH₄⁺ du complexe d'échange, préférentiellement à l'azote nitrique NO₃⁻ qu'elles ne peuvent guère réduire. Pour les espèces neutrophiles, tout est inversé : elles utilisent l'azote nitrique.

Et ce sont encore les espèces du "null mésotrophe" (chêne et hêtre) qui semblent avoir une alimentation azotée équilibrée, en utilisant les deux formes cationique NH₄⁺ et anionique NO₃⁻. "RUNGE (1986) a montré qu'une nutrition azotée exclusivement ammoniacale, combinée à une forte acidité alumineuse, nuit à la croissance du semis de hêtre "(DUCHAUFOR, 1989).

En résumé, le mor ($\text{pH} \leq 4$, $\text{C/N} > 25$) produit très peu d'azote minéral (turnover lent = mauvaise minéralisation) et la nitrification ($\rightarrow \text{NO}_3^-$) est très réduite.

Le moder ($\text{pH} < 5$, C/N 20 à 25) a une faible minéralisation qui est surtout une ammonification ($\rightarrow \text{NH}_4^+$). La nitrification reste faible.

Le mull mésotrophe (pH 5 à 5,5, $\text{C/N} < 15$) optimal en forêt, a un turnover relativement rapide où la minéralisation se fait sous les deux formes, avec prédominance de l'azote nitrique.

Le mull carbonaté ($\text{pH} > 5,5$, $\text{C/N} < 12$) a une minéralisation relativement lente à cause du blocage exercé par l'excès d'ions Ca^{++} (la part de nitrification rapide et totale est perdue par drainage).

* Nutrition phosphorée.

C'est encore au niveau du mull mésotrophe que celle-ci est la meilleure, alors que les humus acides, moder et mor, présentent une minéralisation lente du phosphore organique et une insolubilisation secondaire des formes lessivées.

Avec l'augmentation du pH vers les mull carbonatés, la teneur progressivement plus forte en ions Ca^{++} détermine l'insolubilisation des formes du phosphore (SCHACHTSCHABEL, 1973).

En conclusion, il est important de remarquer :

- le rappel de DUCHAUFOUR (1989) sur "le rôle fondamental des humus actifs de type mull, qui sont susceptibles de corriger dans une large mesure les propriétés défavorables du matériau d'origine ; s'il est acide et pauvre en nutriments, l'humus les concentre en surface par le jeu du cycle biogéochimique".
- le fait que nous avons à notre disposition des plantes fixatrices d'azote pour nous permettre de faire évoluer les très nombreux mull oligotrophes, dysmull, hémimoder et moder, de manière naturelle, "vers" le mull mésotrophe : humus le plus bénéfique pour la nutrition donc pour la croissance des arbres... comme pour le sol.

II - LA STRUCTURE - LIEE A LA TEXTURE - IMPACT SUR LA RESPIRATION DES RACINES ET SUR L'ALIMENTATION EN EAU DES PLANTES.

La "structure", est issue en grande partie du type de "texture" (page 76). Elle détermine les propriétés physiques d'aération et de drainage (percolation naturelle) d'une part, de capacité de réserve en eau d'autre part. Or, ces propriétés constituent partiellement l'offre du sol face aux exigences physiologiques des arbres, lesquelles entrent en jeu dans la perpétuelle évolution du sol.

1. DEFINITION ET TYPES DE STRUCTURES.

La structure définit l'organisation des particules solides (sables, limons et argiles) dans l'espace, leur assemblage entre elles, et leur répartition avec les vides; elle désigne leur mode d'assemblage :

- Dans les horizons de surface, la structure peut être "construite" et d'origine biologique. Microflore et microfaune élaborent les ciments organo-minéraux qui forment les agrégats, les boulettes fécales et les grumeaux, particulièrement stables lorsqu'ils sont formés par les lombrics. Ces structures nécessitent un minimum d'argiles pour leur formation, car elles sont liées à l'existence du "complexe argilo-humique". A Fontainebleau, ces structures sont celles des mull carbonatés et eutrophes, plus rarement celles des mull oligotrophes. La pauvreté générale des sols en argiles ne favorise pas leur formation.

- Dans les horizons minéraux, l'assemblage peut être nul si la texture est essentiellement sableuse : la structure est alors "particulaire ou meuble" (horizons A₂ des sols lessivés ou des podzols).

- Si l'assemblage se fait par de très fines pellicules minérales, les horizons de texture fine (limons ou sables fins) ont une structure "massive = cohérente" ce qui est le cas de certains horizons A₂ de sols lessivés ou bruns lessivés.

- Lorsque des migrations conséquentes d'argiles ont permis une accumulation formant en profondeur un horizon Bt, la texture de ce nouvel horizon, originellement sableuse, est largement modifiée : elle peut être un sable argileux ou une argile sableuse. La structure est alors "fragmentaire" et plus précisément polyédrique à cause de la forme des unités qui se détachent à l'état sec. Elle est due à l'effet des alternances sèches et humides sur les argiles gonflantes typiques de ces Bt de sols lessivés et bruns lessivés.

- Mais les migrations, et donc les ciments peuvent être d'origine chimique : calcaires... ou organiques avec fer et aluminium. Ces dernières sont fréquentes à Fontainebleau, puisqu'elles déterminent les structures "précipitées" des horizons Bh de sols podzolisés. Cette structure peut aller de l'état cohérent à l'état aliotique (induré ou cimenté).

La structure est donc largement déterminée par la texture, et elle intervient

- dans le turn-over caractérisant l'horizon humifère A₁,
- et dans le système de migrations qui concerne tout le volume du sol.

A Fontainebleau, la texture sableuse étant très représentée, les structures construites en grumeaux (qui nécessitent un minimum d'argile pour constituer le complexe argilo-humique)...sont assez rares.

Les structures particulières meubles sont fréquentes, surmontant cependant souvent les structures fragmentaires polyédriques d'horizons inférieurs sabloargileux plus ou moins profonds (des sols lessivés).

D'autre part la structure précipitée, fréquente dans les horizons d'accumulation organique des sols podzolisés, est plus ou moins accentuée.

2.. CONSEQUENCES DES TYPES DE STRUCTURE ET DE TEXTURE

La porosité, déterminée par l'une et l'autre, a un rôle qui varie avec la taille et le volume des vides :

- les pores grossiers $\geq 50 \mu\text{m}$ contiennent de l'air dès que la percolation des pluies est terminée = après ressuyage.
- les pores moyens, de 50 à $10 \mu\text{m}$, contiennent de l'air ou de l'eau, car leur ressuyage est progressif.
- les pores fins, de 10 à $0,2 \mu\text{m}$, retiennent l'eau capillaire "absorbable par les racines" qui exercent leur force de succion.
- les pores très fins $< 0,2 \mu\text{m}$ gardent l'eau liée inutilisable par les plantes.

La porosité permet donc la présence

- de l'air → aération du sol
- de l'eau qui percole → drainage (naturel)
- et de "l'eau utile" → alimentation des racines.

* **L'aération** des horizons de surface est due à une présence suffisante d'argiles qui permettent l'existence du complexe argilo-humique et la formation des agrégats... Cette aération favorise la présence de microfaune, dont l'action renforce les caractères déjà positifs du sol, en permettant la décomposition rapide des matières organiques mortes. Une certaine proportion d'argile peut être ainsi responsable d'un turn-over rapide.

L'aération est primordiale pour le bon fonctionnement de la plante dont les racines ne doivent, ni être gênées par une résistance mécanique quelconque (structure trop compacte de sols limoneux, argileux, ou d'altos indurés de certains podzols)... ni être privées d'oxygène, au risque de s'atrophier et de réduire l'absorption des éléments nécessaires... de l'azote et même de l'eau.

Voici pourquoi les sols à structure massive du NNW de la forêt, installés sur des fonds argileux retenant une nappe "stagnante" superficielle, provoquent une certaine asphyxie des racines et ne peuvent permettre la croissance de très beaux arbres... d'autant que le milieu est acide : le fer, sous sa forme réduite, a une toxicité qui s'ajoute à celle de l'aluminium (GEISLER 1973, SANDERSON et ARMSTRONG 1980 in DUCHAUFOR 1989).

→ Un milieu asphyxiant se comporte en milieu pauvre.

Certaines espèces forestières telles que l'aulne glutineux, le bouleau pubescent, certains saules, peuvent capter l'oxygène de l'air par voie aérienne et le faire parvenir aux racines. Parmi les espèces nobles, le chêne pédonculé supporte mieux ces conditions difficiles que le chêne sessile grâce à une adaptation racinaire (BELGRAND et LEVY, 1985). Malheureusement nous avons vu qu'il supporte moins bien la sécheresse. Le hêtre supporte très mal l'asphyxie.

Qu'il s'agisse des horizons de surface ou des horizons profonds, une structure aérée - non tassée - est essentielle pour la croissance racinaire des arbres. Ceci fait prévoir l'importance de la fine maîtrise nécessaire pour mener les travaux du sol.

* **Le drainage** (percolation naturelle) du sol correspond à l'entraînement de l'eau, par les pores grossiers et moyens, vers la profondeur. Cette eau se charge en éléments variés :

- cations, anions...pour devenir l'eau utile des pores fins alimentant les racines .
- argiles, oxydes de fer qui s'accumulent en profondeur pour former les horizons Bt des sols lessivés.
- matière organique migrant avec l'aluminium et le fer, et précipitant dans les niveaux Bh et Bs caractéristiques des sols podzolisés.

A Fontainebleau, les sols de la forêt ont, pour la plus grande majorité, une texture sableuse et une structure particulière → le drainage naturel y est donc très aisé.

→ Les sols sont particulièrement aptes à se lessiver et à se podzoliser.

* **L'eau utile** (eau capillaire + une fraction de l'eau de gravité à écoulement lent) permet la nutrition en eau. Or, cette alimentation pose un problème pendant la saison sèche, lorsque l'évapotranspiration potentielle ETP devient supérieure aux précipitations P. C'est là que les arbres utilisent les réserves précédemment reconstituées en saison arrosée, et accumulées en profondeur (Planche V).

Des essais de quantification de cette réserve ont été proposés par BELGRAND (1978) en forêt de Marly et soumis par DUCHAUFOR (1989) à l'Académie d'Agriculture :

- les sols sableux, meubles, à porosité grossière, ont une capacité en air élevée. Le drainage y est facile. La réserve en eau utile est très faible : 50 mm pour 1 m de sables et une teneur en fines < 10%.
- les sols sur limons loessiques peuvent être assez équilibrés entre la capacité en air et la retenue d'eau, dont les réserves peuvent atteindre 250 mm par mètre de sol ; ou 200 mm si les limons sont sableux ou argileux.
- les sols argileux compacts, à structure massive et cohérente, ont une faible capacité en air et une réserve en eau moyenne de 150 mm.

Les horizons organiques de surface ont toujours une teneur un peu supérieure.

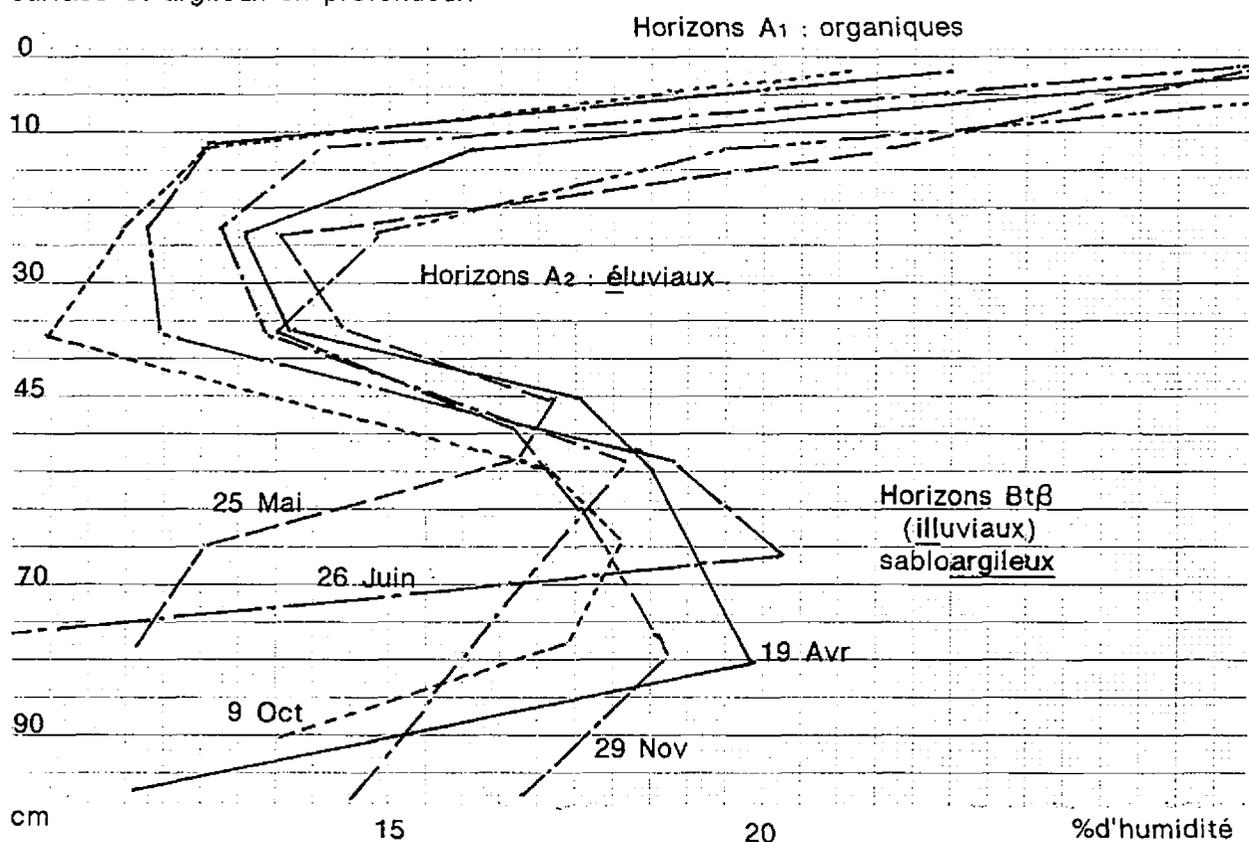
→ La texture du sol a donc une importance primordiale dans la constitution des réserves d'eau - l'épaisseur du sol jouant aussi un grand rôle.

Les sols essentiellement sableux de la forêt de Fontainebleau étant caractérisés par la sécheresse, le problème de la réserve en eau nous a paru particulièrement intéressant à considérer : nous avons donc essayé d'établir pour chaque sol une évaluation basée sur les données citées plus haut ; mais il faut bien préciser, selon l'avis de ces auteurs, qu'il ne peut s'agir que d'une approximation. Nous pensons d'ailleurs que si certaines estimations permettent des comparaisons valables, d'autres au contraire peuvent être trompeuses : par exemple dans le cas de sols assez minces sur calcaire, où les racines peuvent s'insérer jusqu'à trouver leur subsistance dans un niveau ou dans des anfractuosités argileuses. Cependant :

→ De manière générale, la comparaison de l'évaluation de la réserve avec celle du déficit climatique estival (ETP - P = 182 mm) de Fontainebleau, permet d'estimer si la réserve compense, ou non, ce déficit.

La considération de l'épaisseur de sol amène inévitablement à reconnaître l'existence d'un "double réservoir" (CHOISNEL, 1992) où le réservoir superficiel, alimenté par les pluies ... peut éventuellement se déverser dans le réservoir profond ... qui n'est "rempli" que durant la saison pluvieuse. Ce réservoir profond peut avoir une importance variable, fonction là encore de sa teneur en argile, ainsi que de l'épaisseur ou du redoublement de certains horizons qui le constituent (horizons Bt ± β).

Les profils hydriques présentés ci-dessous, effectués en 1972 sur un sol lessivé (type de sol très représenté à Fontainebleau), indiquent clairement cette situation du double réservoir qui se situe d'ailleurs là où se trouvent les colloïdes : organiques en surface et argileux en profondeur.



Etant donné le caractère "peu pluvieux" de la saison estivale, il est difficile d'admettre que les racines profondes n'assureraient que la "survie" de l'arbre et non sa croissance (RITCHIE, 1986). Il semble bien que le rôle des racines profondes, puisant dans les horizons à taux de saturation élevé, donc riches en cations, soit loin d'être négligeable. Dans certains cas d'ailleurs, plusieurs réservoirs étagés en profondeur peuvent se constituer. Tous sont certainement utilisés une grande partie du temps. Sinon comment pourrait-on expliquer la taille régulièrement plus importante des arbres situés sur sols épais et très épais ?

Quelle que soit la régulation sélective d'emploi des réservoirs par les racines des arbres, le maintien de la porosité du sol reste – et restera – toujours essentiel.

→ Ceci oblige à prendre sérieusement en considération les effets des travaux du sol.

LES TRAVAUX DU SOL...

UNE AIDE OU UN DANGER ?

Le forestier pourrait être navré – dans quelques temps – de constater que les parcelles qui ont subi plusieurs fois des passages d'engins ont une réponse moins favorable à la végétation, dans plusieurs circonstances. Aussi une grande attention semble t-elle nécessaire pour éviter des inconvénients d'autant plus rapides à survenir que la structure est, dans l'ensemble, particulièrement mauvaise ou fragile.

I – LES TRAVAUX DE PREPARATION

* le crochetage dont le nom évoque le caractère superficiel du travail de la surface, est excellent pour préparer une régénération naturelle. Or si le "cultivateur canadien à dents" est tout à fait adapté, ... le "pulvérisateur à disques", souvent employé dans le même but, a malheureusement presque l'effet d'un labour, soulevant et sillonnant nettement l'horizon minéral A₂ (pauvre) qui ne peut fournir aux semences la fraîcheur et l'alimentation nécessaires.

* le labour vrai ne doit être effectué que si le sol est très tassé ou si la végétation forme un tapis dense à éliminer. Le labour "en bandes" a l'avantage de laisser subsister une partie de la végétation naturelle sur une certaine surface ; mais il faut veiller à ce qu'il ne s'accompagne pas de l'enlèvement de l'horizon humifère A₁ ... a fortiori s'il s'agit d'un labour "en plein". L'emploi de phytocides devrait être limité au maximum, par mesure de prudence pour la microfaune.

→ En dehors de ces cas (tassement...) dont il faut éviter l'apparition, c'est l'ameublissement superficiel sans retournement qui doit être effectué.

II – LES TRAVAUX FAISANT SUITE A L'EXPLOITATION

* les conséquences du passage des engins peuvent être graves, car la détérioration de la structure du sol et l'amoindrissement de l'alimentation racinaire se répercutent sur la qualité des arbres. Les principaux inconvénients à remarquer sont :

- le **scalpage** = arrachage et destruction de la couche organique de surface par suite du glissement de l'engin. Ceci arrive plus facilement sur les litières de hêtre pur des sols humides.
- l'**orniérage** qui peut intervenir sur les sols humides du NNW et à l'affleurement des marnes au NNE de la forêt.
- le **compactage** qui entraîne un "tassement textural" et gêne le fonctionnement et l'épanouissement racinaire normal. Ce phénomène, souligné par le Centre Technique du Bois (1984) comme le plus dangereux des trois est d'autant plus grave que, sur terrain sec (= la plus grande partie de la forêt) le compactage ne laisse pas de traces visibles → or il est à l'origine du ralentissement de la croissance des arbres.

Le NNW de la forêt présente les difficultés particulières aux sols hydromorphes sur lesquels les débardages doivent justement être faits en période sèche. Par ailleurs les coupes ne doivent jamais être importantes, sous peine de remontée de la nappe. L'entretien des fossés de drainage est aussi très important.

*** la constitution d'andains** est à déconseiller, car la concentration des éléments en certains points est inutile ; le maintien de la fertilité exige plutôt de garder sur place les rémanents, ... en les broyant éventuellement. Le brûlage qui gaspille l'azote est à éviter.

Les principales conclusions se résument ainsi :

- *le crochetage du sol doit absolument être "superficiel".*
- *les engins doivent être les plus légers possibles – et leur passage le moins fréquent possible, pour éviter le tassement des sols, préjudiciable à l'épanouissement des racines et donc à la croissance des arbres.*
- *les rémanents doivent être laissés sur place ou éparpillés après broyage.*
- *le secteur hydromorphe nécessite des attentions particulières, et un travail en saison sèche.*

EVOLUTION DU SOL... PROCESSUS PEDOGENETIQUES ET PRINCIPAUX TYPES DE SOLS A FONTAINEBLEAU

La pédogenèse s'est réalisée à Fontainebleau sur matériau sédimentaire : essentiellement sables, calcaires, parfois argiles ou marnes. Si le climat permet aujourd'hui un drainage sur plusieurs mois (page 15), il a évidemment occasionné, en des périodes anciennes plus arrosées, un drainage plus important, responsable de l'altération des calcaires ainsi que des migrations dans les sables. Divers processus pédogénétiques, se réalisant tous grâce à l'action de l'eau, se sont ainsi exercés :

* **La décarbonatation** qui est une dissolution des carbonates, marque donc une altération des calcaires (carbonates de calcium = CO_3Ca) ... avec libération de leurs impuretés telles que des argiles, des oxydes de fer. La surface des calcaires d'Etampes, de Brie, et de Champigny s'est donc peu à peu recouverte de produits résiduels. Ceux-ci ont pu par la suite être mélangés à des soufflages de sables ou se trouver à l'état de boues, elles mêmes sujettes à érosion et transfert : d'où l'irrégularité éventuelle de ce matériau d'altération. Cette décarbonatation se poursuit encore aujourd'hui, toujours avec l'aide du gaz carbonique provenant des eaux de pluies et résultant de l'activité organique. Ce processus fait passer les sols minces totalement carbonatés (rendzines) au stade de sols bruns calcaires (où l'horizon A_1 ne fait plus effervescence puisqu'il n'y a plus de calcaire actif = poussière calcaire)... puis au stade de sols bruns calciques (où l' A_1 et une partie du (B) ne font plus effervescence). L'approfondissement du sol s'effectue peu à peu.

Les rendzines, rares, sont situées aux extrémités des plateaux calcaires ; et les sols bruns calcaires et bruns calciques, typiques des bordures de ces plateaux ou des faibles épaisseurs (30 à 50 cm) soufflées, sont presque les seuls sols, à Fontainebleau, à présenter une structure grumeleuse dans leurs horizons de surface.

* **La décalcification** – en milieu non calcaire – correspond à une perte d'ions Ca^{++} du complexe absorbant qui se désature (= qui se sature en H^+). Ceci conduit vers l'acidification.

* **La brunification** prend le relai de la décarbonatation et ne peut se réaliser que s'il existe assez d'argiles dans le profil. Les sols bruns sont caractérisés par un horizon (B) dont la couleur provient des hydroxydes de fer liés aux argiles. L'altération, plus forte en surface, équilibre les pertes par entraînement.

Le type des sols bruns eutrophes et bruns mésotrophes est peu représenté dans la forêt, car la faible teneur en argile empêche la compensation de l'entraînement par l'altération. La structure grumeleuse est souvent peu stable.

Ainsi, le stade sol brun typique est particulièrement fugace à Fontainebleau, où le passage de la décarbonatation au lessivage est rapide.

Les sols bruns constituent éventuellement une frange entre les sols bruns calcaires et calciques souvent situés en ourlet des monts, et, les sols bruns lessivés et lessivés plus épais.

* **Le lessivage** correspond à l'entraînement des particules fines argileuses (et quelques limoneuses fines) par les eaux de pluie, depuis les horizons supérieurs vers la profondeur de la formation superficielle. Ce drainage chargé en "fines" ne peut se faire ni à pH neutre ni à pH très acide car l'abondance de cations Ca^{++} dans un cas, ou H^+ , Fe^{++} , Al^{+++} dans l'autre cas, "flocule" (relie) les colloïdes argileux, empêchant alors leur transfert (les "floculats" étant volumineux).

En milieu décarbonaté et plus ou moins décalcifié, l'état "dispersé" (libre) de ces colloïdes rend possible leur migration. Le fer est entraîné également en profondeur : soit séparément, à l'état ferreux ($^{++}$) en zone ou en période peu aérée... soit floculé sous forme de Fe^{+++} "avec les argiles de taille très fine comme la montmorillonite".

Ce processus déclenche donc la formation d'un horizon d'accumulation d'argiles et de fer, en profondeur : c'est le Bt coloré en ocre ou rouille ; et l'horizon qui a perdu ces éléments, situé au-dessus, est le Az. Un entraînement > 2 caractérise les sols lessivés. (Indice d'entraînement = argiles Bt / argiles Az).

Les sols lessivés sont très représentés à Fontainebleau, où le matériau sableux facilite le processus.

Après les sols bruns lessivés qui sont une forme intermédiaire sur épaisseur peu importante de sables soufflés (≈ 50 cm), les sols lessivés existent pratiquement partout où les sables sont plus épais, sur les monts ou dans les plaines. Au cours de la période quaternaire, de nombreuses reprises par le vent ont eu lieu, qui ont pu tronquer certains profils déjà établis et en créer ou en renflouer d'autres, les climats des phases successives Riss, Würm, postglaciaire ... apportant des conditions éventuellement différentes qui sont à l'origine de multiples combinaisons, également dues parfois à la topographie des lieux.

A la base de l'horizon Bt existe bien souvent une bande ou des poches plus argileuses et de couleur plus dense : ce " β " correspond à un niveau de décarbonatation qui s'est vraisemblablement formé à découvert avant le dépôt des sables soufflés, ce qui n'empêche pas que ce processus continue aujourd'hui en profondeur sous les sables (ROBIN et DE CONINCK 1975). Mais ce β a pu être abrasé par les flots boueux de certaines époques, et réalimenter des soufflages ultérieurs ; ce qui explique la coloration très dorée de certains sols assez peu épais.

Jusqu'au stade lessivé, les produits organiques solubles (issus de la décomposition de la litière) sont aussitôt insolubilisés en surface grâce à la présence d'une quantité suffisante de cations.

Dès que l'acidification existe ($\text{pH} \approx 4,5$) le devenir des produits organiques de décomposition change : le manque de cations entrave l'insolubilisation.

→ l'évolution bascule alors vers la podzolisation.

* **La podzolisation** "apparaît sous l'influence d'un moder ou d'un mor produisant des quantités massives de composés organiques solubles" (Abrégé Pédologie DUCHAUFOR). Ceux-ci altèrent la structure des minéraux argileux en libérant Al^{+++} et Fe^{+++} qu'ils entraînent en les complexant : la migration est cette fois d'origine chimique. Et la précipitation en profondeur des complexes organominéraux ne se fait que lorsque le rapport cation / anion organique complexant s'élève suffisamment : l'horizon Bh (humique) se forme alors ainsi que l'horizon Bs (sesquioxydes) où le fer et l'aluminium ne sont plus masqués par la matière organique (un léger décalage se produit au moment de l'insolubilisation, à cause de la nature différente des complexes).

Ce processus est d'autant plus intense que la végétation est d'un type acidifiant, pauvre en azote, comme les conifères et la callune, car la quantité d'hydro-solubles libérés est très forte et les horizons Bh formés sont alors indurés ou cimentés : l'aliol peut être seulement humique si le matériau est particulièrement pauvre en fer (podzols sur Stampien pur); il peut être humoferrugineux si les sables (stampiens-soufflés) sont un peu plus riches en fer.

La formation de podzols sous feuillus (chêne et hêtre) donne des horizons peu accentués : le Bh est seulement rosé ou brun rosé (couleur tasse de chocolat au lait) et reste meuble. Lorsque cette teinte est très pâle ou superposée au gris des horizons A₁, elle est le signe d'une podzolisation naissante (sols néopodzoliques et ocrepodzoliques).

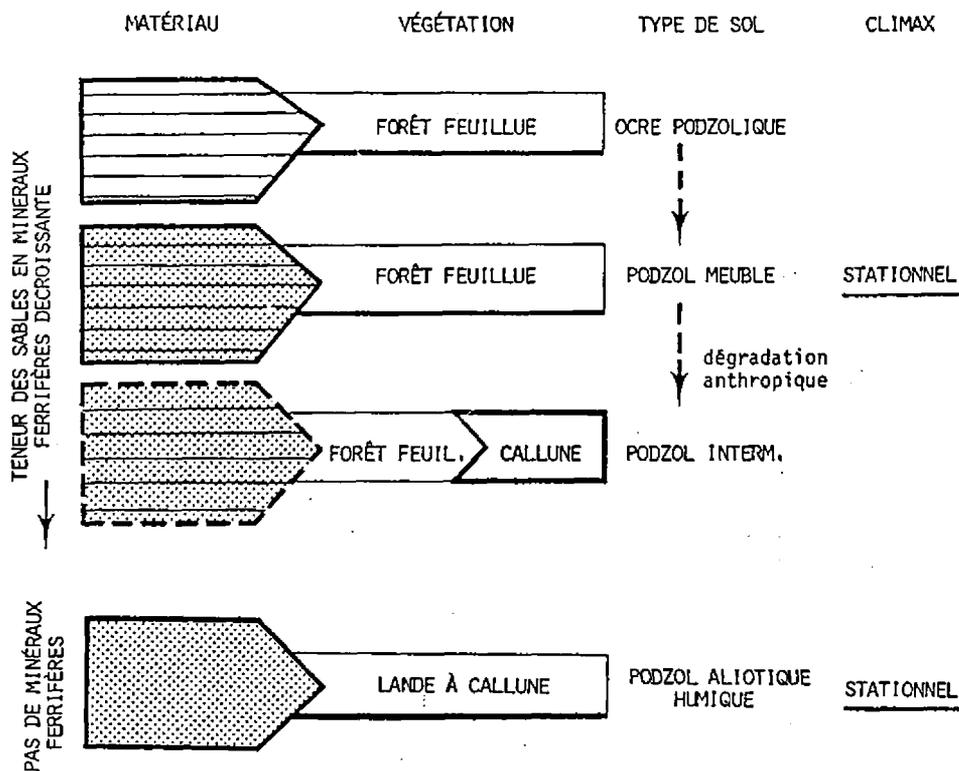
En raison des nombreux remaniements éoliens passés, la podzolisation peut s'observer à ses différents stades d'évolution : néopodzolique, ocrepodzolique, podzolique, podzol.

La différenciation en podzols humiques ou humoferrugineux dépend uniquement de la présence et de la teneur en argiles ferromagnésiennes. De manière générale, les podzols à aliol humique sont situés sur sables stampiens et se sont formés sous callune et pins.... tandis que les podzols humoferrugineux à Bh meuble et pâle se trouvent sur sables soufflés et se sont formés sous feuillus.

Cependant, les sables stampiens peuvent porter des podzols humoferrugineux si, exceptionnellement, le matériau comporte du fer - et les sables soufflés peuvent présenter des podzols humoferrugineux à Bh induré, si la végétation des époques de leur formation était acidifiante.

D'autre part, toujours sur sables soufflés, la podzolisation s'est souvent formée à partir de la surface de sols préalablement appauvris par lessivage. C'est ainsi que de très nombreux sols sont "polyphasés" : le sol podzolisé surmontant le A₂ et le B_t du sol lessivé.

Le schéma suivant (ROBIN 1979) illustre la relation du degré d'évolution, ou de la différenciation des sols podzolisés avec le matériau et avec la végétation. Le forestier ne doit pas oublier que l'action des résineux présente presque les mêmes inconvénients que ceux de la callune, avec une légère restriction pour le douglas.



* **L'hydromorphie** intervient lorsque le drainage (naturel) du sol est entravé par suite de la porosité défectueuse des horizons (texture limoneuse ou argileuse et structure massive ou colmatée), et/ou par suite de l'existence d'un niveau d'argiles ou de marnes en profondeur. L'installation d'une nappe perchée temporaire déclenche une saturation des pores par de l'eau réductrice : le fer et le manganèse, alors réduits et mobilisés, peuvent précipiter sous forme de concrétions rouilles ou noires, lorsque la nappe disparaît à la saison sèche. C'est le cas des **pseudogleys**.

Lorsque l'hydromorphie est due à une nappe profonde permanente, le fer est essentiellement ferreux et s'accumule sous forme de sels complexes verdâtres : ce sont les **gleys**.

Les sols limonosableux des terrasses du NNW de la forêt, installés sur une couche argileuse retenant une nappe temporaire, sont souvent des sols lessivés hydromorphes marmorisés, ou à pseudogley, ou glossiques, voire planosoliques. Cette nappe perchée peut être nuisible si elle est superficielle, alors qu'elle peut être utile en constituant une réserve d'eau en période sèche, si elle est profonde.

La zone basse à l'entour des Evées présente des sols semblables, dont les types intermédiaires ou intergrades sont variés ; mais ils reposent tous sur des gleys dûs à l'accumulation d'argiles sur les marnes retenant une nappe profonde permanente à laquelle peut s'ajouter une nappe perchée temporaire.

- ORGANISATION SCHEMATIQUE DES SOLS ET DES PEUPELEMENTS DANS LE RELIEF.

L'exposition a un rôle relativement restreint.

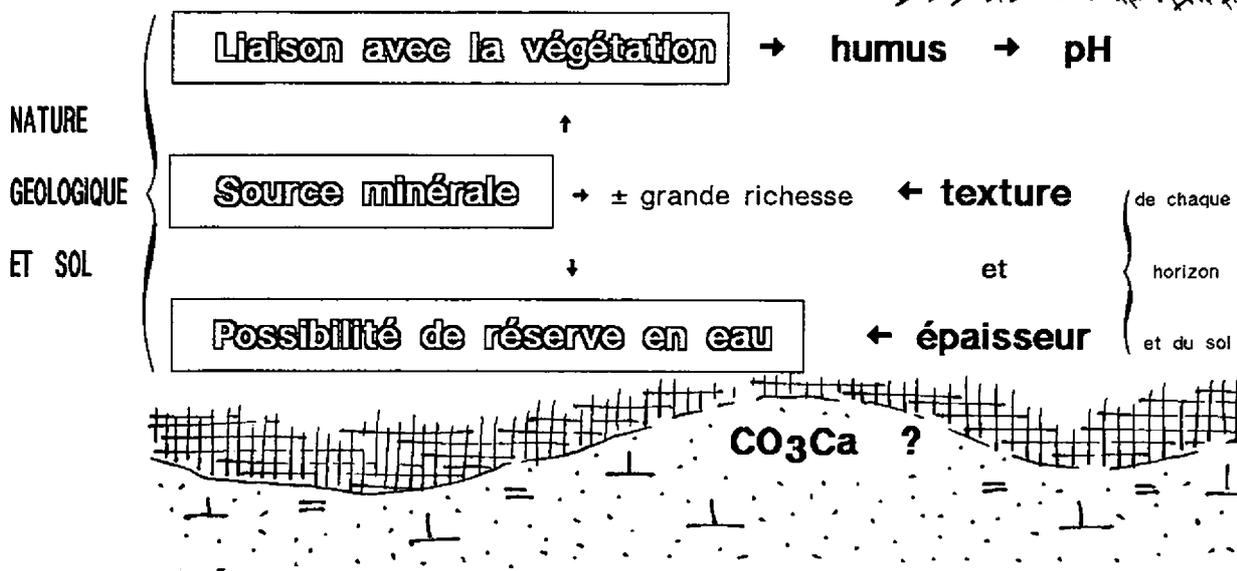
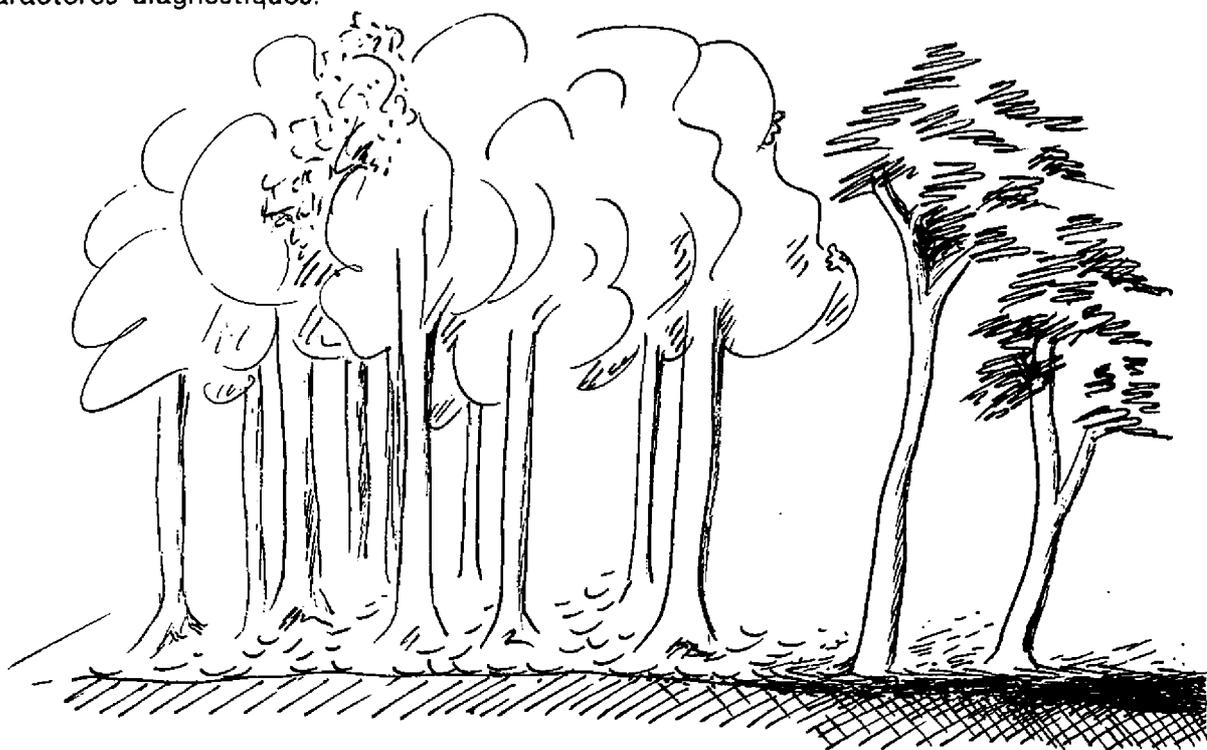
Sol	Peuplement	Humus	Situation
Rendzine	Pelouse. Fruticée	Mull carbonaté	Bord
Brun calcaire	Chênaie pubescente	Mull carb/eutrophe	plateaux
Brun calcique	Chênaie érable chp^	Mull eutrophe	ou faible
Brun mésotrophe	Chênaie charmaie	Mull mésotrophe	épais sflée
Brun lessivé	Chênaie hêtraie	Mull mésotrophe	
Lessivé	Chên sess/hêtr acid.	Mull ac./moder	Centre des
Néo/ocre podzl	Chên sess ± dégr	Dysmoder	plateaux
Pdzol mble /Less	évt. avec hêtre	à mor	(ou plaines)
Podzol ind /Less	idem avec pins	mor	
Podzol à alios	Pins Blx vr Chât	mor	Sites stampiens
Sol pdzlis hydrom	Chên ac.Tremble bouleau pub	moder à mor	Platières
Sol less/psgley	Chên péd hêtre		Terrasses
Sol brun/psgley	Chên péd frêne		Proximité argiles ou marnes
Gley	Aulnaie-frênaie	hydromull	

Ceci reste une généralisation rapide, car d'autres facteurs responsables des potentialités, et non inclus ici, entrent en jeu.

CARACTERES DIAGNOSTIQUES

POUR UNE CLE DE DETERMINATION DES STATIONS

Les caractéristiques de la dynamique pédologique étant mises en évidence dans le contexte des sols de Fontainebleau, on comprend combien les potentialités que le sol offre aux arbres pour leur croissance relèvent d'une grande complexité ... pourtant basée sur quelques facteurs simples. Ceux-ci, responsables de la "réponse de la forêt" émergent du schéma suivant (Figure 1) déterminant ainsi des critères de détermination ou caractères diagnostiques.



1

Etant donné le rôle du calcium dans la pédogénèse, dans la typologie des sols et dans l'utilisation par les arbres, l'un des premiers critères à considérer est bien la présence – ou l'absence – de carbonates de calcium dans le profil. Certaines relations semblent pouvoir s'établir :

	Carbonaté = effervescent dès la surface	Carbonaté seulement vers 30 cm		Carbonaté seulement en profondeur			Jamais carbonaté	
HUMUS	Mull carbonaté	Mull eutrophe		Mull mésotrophe à dysmoder			Moder à Mor	
TYPE DE SOL	Rendzine	Brun calcaire	Brun calcaïque	Brun méso et BL	Less.	Pzlisé / Less.	Sols initiaux acides	Sols less. et Pzl.
EPAISSEUR								
faible	*	*	*	*			*	
moy. < 1m				*	*	*		*
forte 1 à 2m					*	*		*
très forte 2 à 4m						*		*
TAILLE ARBRES	< 20 mètres			variable / épais sol			variable / sédiments et épais	

TABLEAU 1

Il existe une relation permanente entre la présence de CO_3Ca dans certains profils et leur faible épaisseur ; la proximité du calcaire ou de son matériau d'altération les caractérise d'ailleurs.

L'effervescence et son niveau d'apparition dans les profils est un "caractère diagnostique", permettant :

- de déterminer la plus ou moins grande abondance de CO_3Ca des stations sur sols minces
- de déceler la possibilité de recharge en ions Ca^{++} par le cycle biogéochimique pour les stations sur sols épais, sableux et acides, mais à horizon II C profond.

2

La richesse minérale apportée par les particules fines provient en particulier des argiles minéralogiques qui représentent la majorité des argiles granulométriques. La texture est donc bien à considérer, ce qui deviendra un souci instinctif pour le cartographe, qui connaît aussi le rôle qu'elle peut avoir pour la retenue de l'eau utile dans ces sols le plus souvent sableux et très secs.

TYPE DE TEXTURE								
Ensemble du profil	(S)A	S ou SL	LS ou SL	S	S	S	SCx	S à SL
Horizon Bt arg. ferr.	"	"	SA ou Sa		"	"	Cx + SA	SA±Cx
Fond sous-jacent	A	A	S ± A ± L + Cca		"	Cca	Cx + S	SA±Cx
ETAT HYDRIQUE	hydromorphie perm. tempor.		± frais ± sec selon l'épaisseur		très sec	très sec	très sec	sec et hydrom.
Lieu	nappe/arg. marnes	zone Evées et NNW	s.sfflés/IIC/calc des plateaux et des plaines		Stamp.	Plaines grèzes	Terrasses	

TABLEAU 2 A ou a : argile L : limon S : sable
Cx : cailloux siliceux Cca : cailloux calcaires

Cette présentation oriente sur les secteurs géographiques de la forêt, très différents en particulier par leur qualité hydrique.

La considération de l'ensemble majoritaire du massif (plateaux et plaines) quant à la "réponse de la forêt" précise combien la texture du sol influe sur la taille des arbres puisque ceux-ci restent inférieurs à 25 mètres sur un sol sableux de 90 cm, tandis qu'ils atteignent 25 à 30 mètres si la même épaisseur est un sable limoneux :

Hauteur des arbres en m

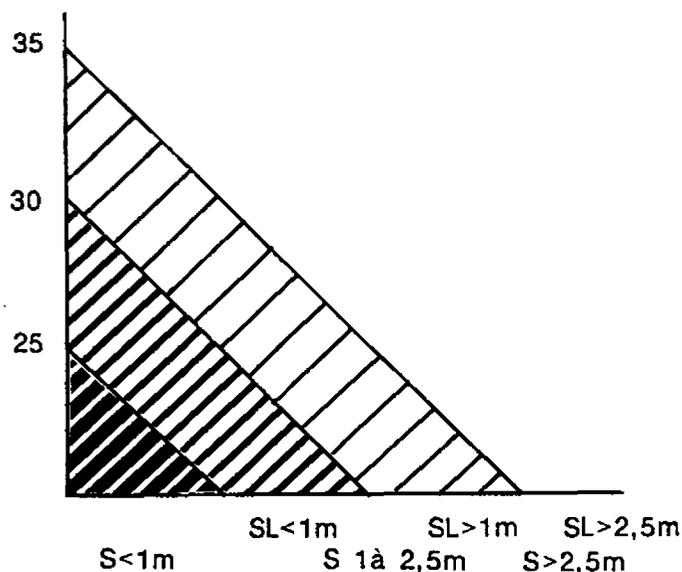


Figure 2

Texture et Epaisseur de sol

→ La texture des horizons du sol, ... de l'ensemble du profil, et du fond éventuellement différent, constitue un "caractère diagnostique".

Les figures 1 et 3 de la planche XI, page 24, prévenaient de l'impact de la charge en fines sur la croissance des arbres. Les différences granulométriques déterminent en effet des stations différentes.

La richesse des limons ou sables limoneux du NNW est malheureusement inhibée par les inconvénients de la couche argileuse sous-jacente, asphyxiante.

A l'opposé, les sables stampiens purs, pratiquement dépourvus de "fines", sont d'une pauvreté difficile à gérer.

Voilà pourquoi la richesse en particules argileuses "ferromagnésiennes" des sables soufflés – si faible soit-elle – est d'une très grande importance :

- ce qu'elle peut apporter est à exploiter (pages 25-77-81-82)*
- sa fragilité, dont il est nécessaire d'être conscient, est à prendre en compte si l'on ne veut pas perdre la valeur de cette ressource (pages 55-56-96-97).*

Par ailleurs, les sols à cailloux de silex de certaines terrasses présentent une capacité de drainage très forte.

3

Le tableau 1 précise que la taille des arbres est inférieure à 20 mètres sur sols minces carbonatés, et qu'elle varie avec l'épaisseur de sol sur les sables lessivés et podzolisés plus profonds. La figure 2 évoque cette relation que confirme la figure suivante (3) établie aussi d'après les mesures effectuées au Blumleiss, lors de l'étude par transects sur les plateaux (monts).

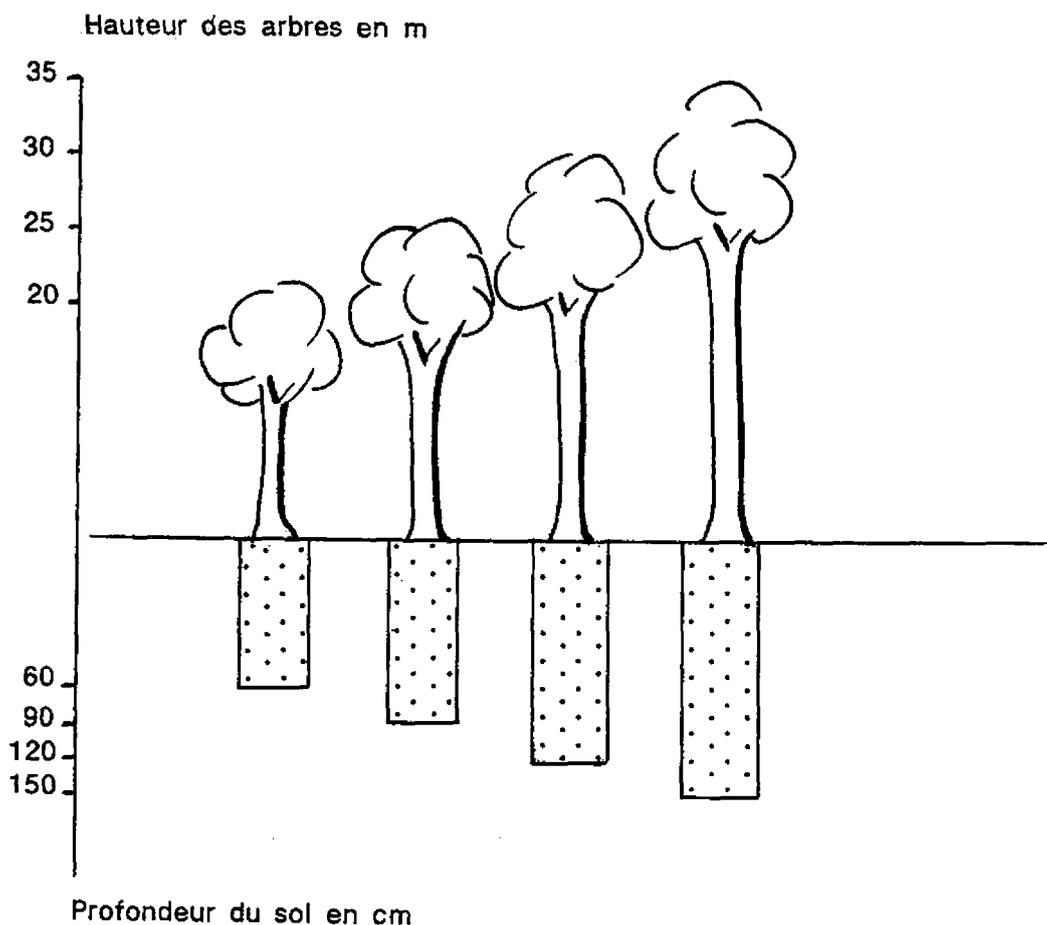
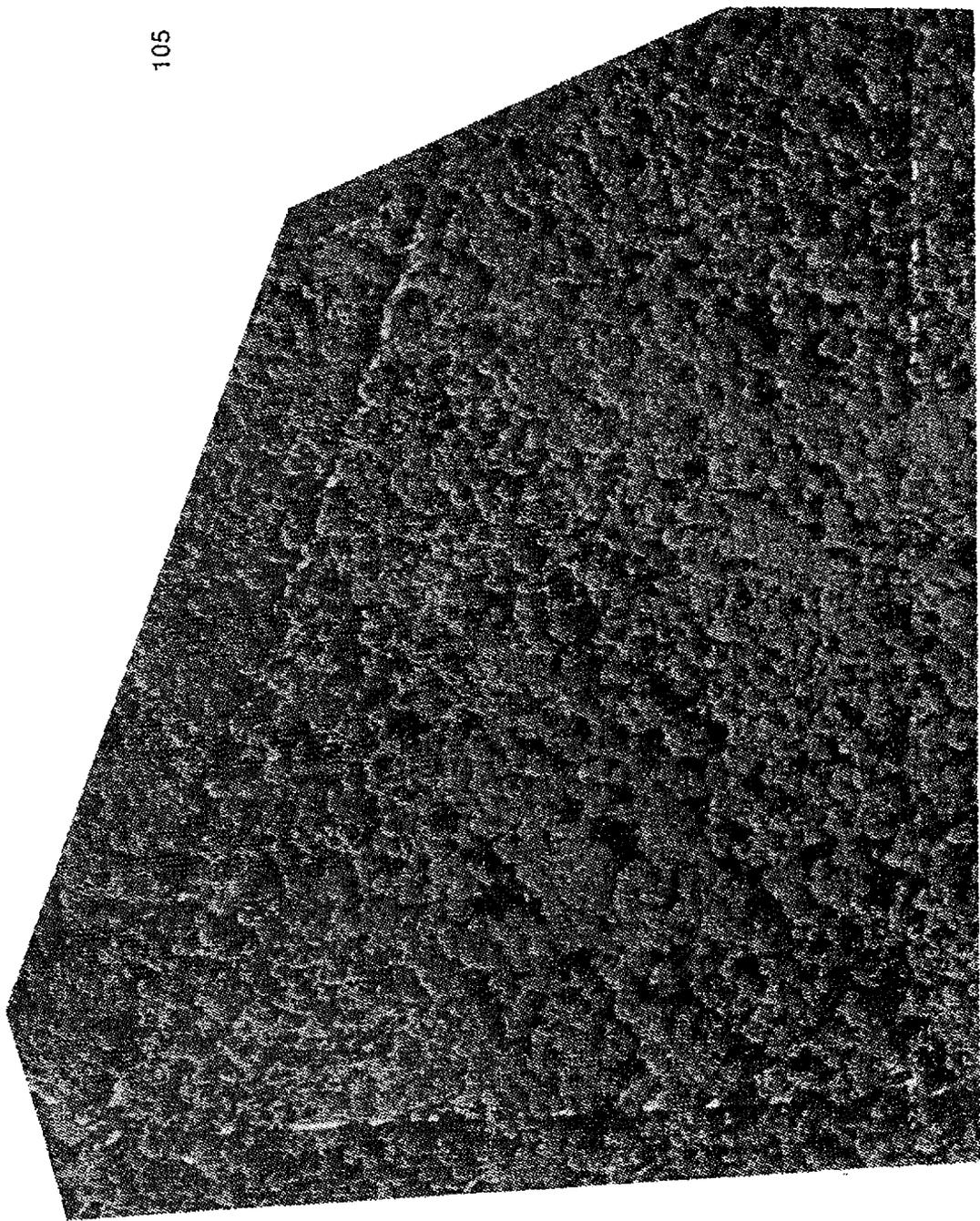


Figure 3. Relation entre la taille des feuillus et l'épaisseur de sol sur matériau de texture "sableuse" des sables soufflés des plateaux.

L'épaisseur de sédiment meuble pédogénisé prospectable et exploitable par les racines des arbres est un "caractère diagnostique".

Cette conclusion, issue de nombreuses mesures, confirme les observations faites à la Tillaie, réserve intégrale, où les coupes les plus majestueuses des houppiers observés en photographie aérienne se distribuent, en parallèle à la taille la plus élevée des arbres, justement en superposition à la "butte de podzols" sur sols épais vers le Nord de la parcelle (Planche p. 105 - et Carte pédologique au 1/1000e ROBIN et al. in BOUCHON et al, 1973) et aux sols très épais podzolisés du Sud Est (transects ROBIN).



Présence / Absence du calcaire de Beauce en profondeur

Sol brun calcaire

Sol brun lessivé

Sol lessivé (dégradé)

Sol intermédiaire entre le sol lessivé et le sol néopodzolique 1

Sol néopodzolique 1

Sol néopodzolique 2

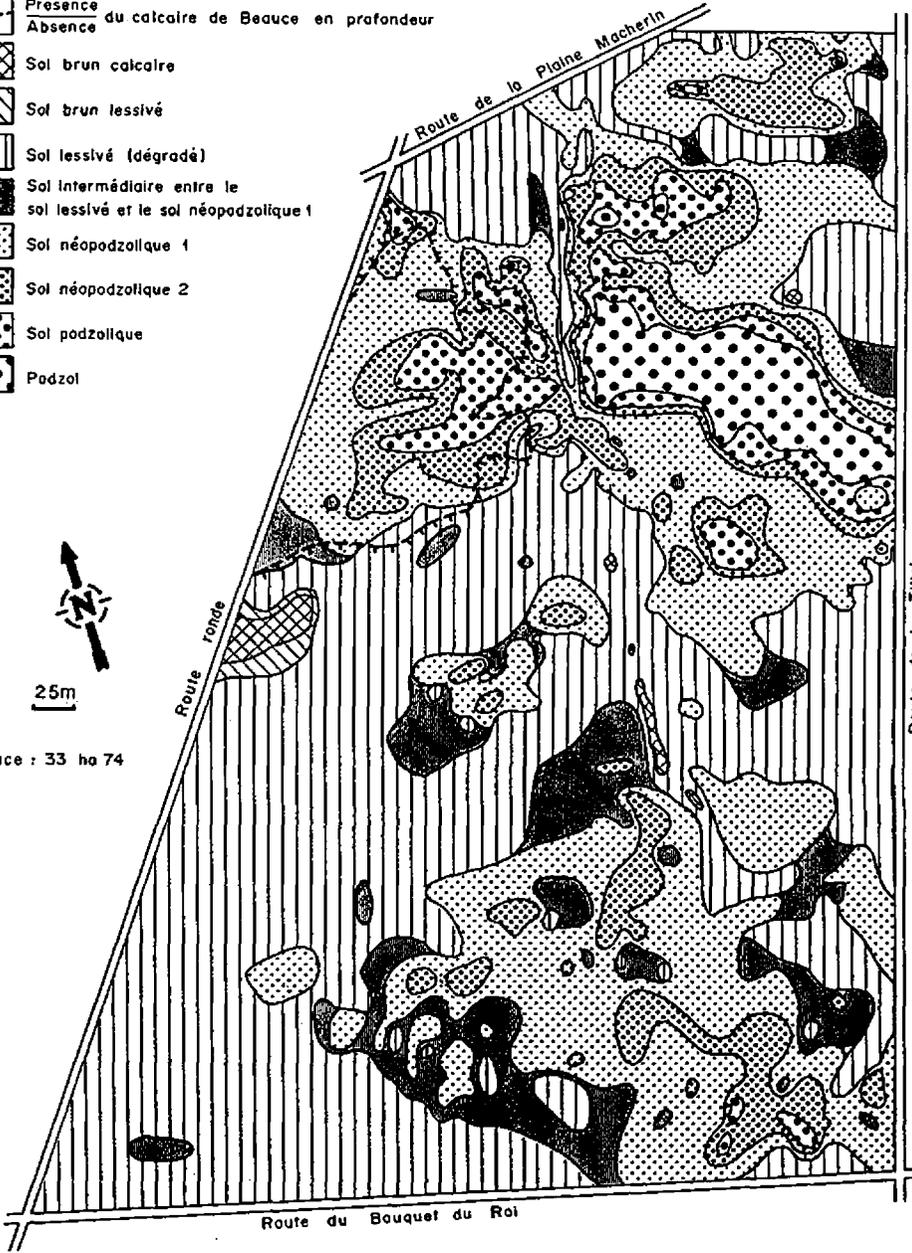
Sol podzolique

Podzol



25m

Surface : 33 ha 74



Route de la Tillaie

Route du Baquet du Roi

Cette réserve intégrale, en situation de plateau très classique pour la forêt, offre un excellent exemple de variations stationnelles en fonction de l'épaisseur de sables soufflés : rares sols bruns calciques, minces, et passage immédiat au type brun lessivé qui marque l'amorce – si rapide à Fontainebleau – du lessivage caractéristique des sols sableux d'épaisseur moyenne et forte.

Plus l'épaisseur est importante, plus la podzolisation de surface s'exprime sur une grande profondeur et avec une évolution marquée, comme le montre la figure 4 (dressée à partir de 1500 sondages, après la cartographie de la Tillaie et d'autres sondages sur les plateaux) : si la plus grande fréquence des sols ocre podzoliques correspond à 75 cm de sables soufflés au-dessus de la surface du Bt de sol lessivé profond, celle des sols podzoliques est à 85 cm et celle des podzols (à Bh meuble) à 105 cm.

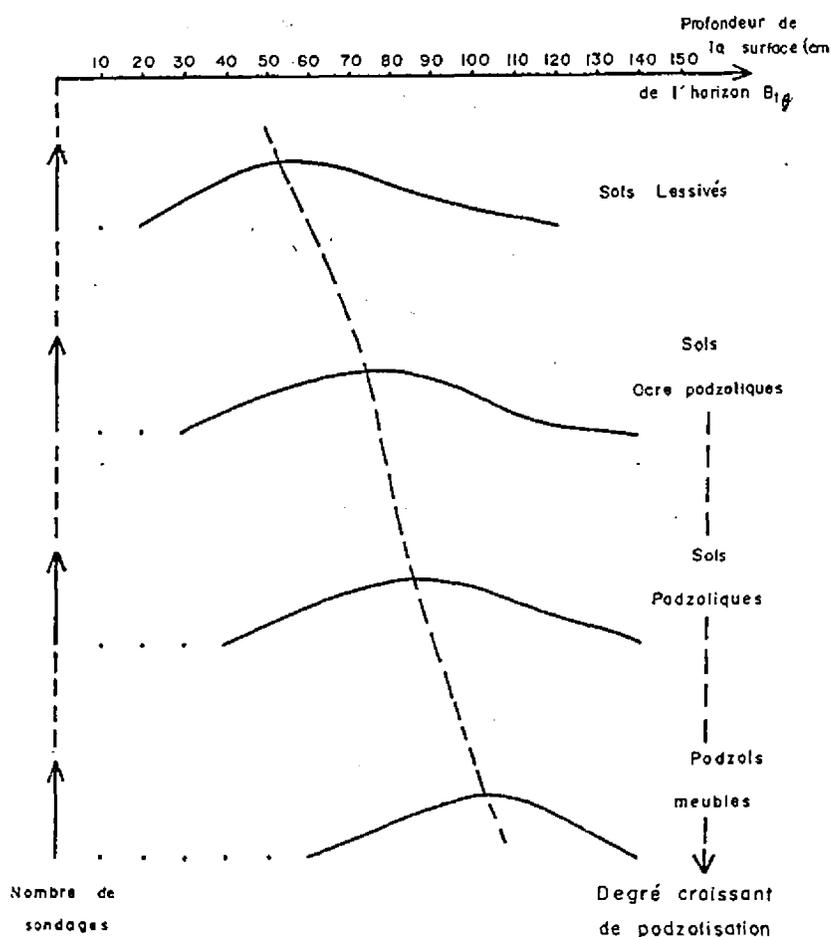


Figure 4 – Relation entre le degré d'évolution de la podzolisation superficielle et la profondeur d'apparition de l'horizon Bt β du sol sous-jacent.

L'acidification de la surface – et donc du type d'humus – est d'autant plus nette, pour une même texture, que les sables soufflés sont épais.

Si le Sud Est de la Tillaie présente des sols seulement "podzoliques" alors que l'épaisseur atteint plusieurs mètres, c'est-à-dire plus que sous la butte des podzols du Nord, c'est en raison d'une charge argileuse profonde plus importante par suite de redoublements d'horizons Bt.

4

Le **type d'humus** conditionne la nutrition minérale, azotée, phosphorée ... ainsi que la toxicité alumineuse et manganique, comme le rappelle le tableau 3 qui présente les deux termes extrêmes ainsi que l'humus le plus bénéfique.

Type d'humus	Mull carbonaté	Mull mésotrophe	Mor
pH	≥ 7	5 à 6	<4
Prod. N minéral	moyenne	maximale	faible
Nutrit. azotée	NO ₃	NH ₄ + NO ₃	NH ₄
Nutrit. phosphorée	mauvaise	bonne	mauvaise
Disponibil./cations	faible	bonne	faible
Toxicité alumineuse	inexistante	faible Al/Ca < 1	forte Al/Ca > 1

TABLEAU 3

Dans la mesure où il a un rôle important au niveau des régénérations, → le type d'humus est à considérer comme un "caractère diagnostique".

Nous rappelons cependant sa dépendance avec le sylvofaciès : la formation irrémédiable d'un mor, parfois épais, sous Conifères en est un signe.

→ → → → → → → →

L'aménagiste devra donc éventuellement désolidariser le type d'humus observé ... des potentialités réelles de la station – sans pour cela négliger le rôle de l'humus et de son impact (acidité comprise) sur l'installation des futures régénérations.

5

Dans les sols hydromorphes, la coloration gris-bleuté-verdâtre indique la réduction du fer en condition d'anaérobiose, et les concrétions noires témoignent de l'accumulation du fer et du manganèse au niveau du battement de la nappe.

→ La profondeur, la taille et le nombre des concrétions ferromanganiques constituent donc un "caractère diagnostique" du degré d'hydromorphie.



En résumé :

- les facteurs de potentialité ayant évidemment leur origine dans le substrat sol,
- et "le milieu étant le plus souvent acide",

→ la clé réelle de détermination des stations est pédologique.

La végétation intervient dans la formation des humus, en particulier par le biais du sylvofaciès et du traitement forestier, ce qui peut fausser l'interprétation de la réalité des potentialités du sol.

Par ailleurs la végétation arbustive et herbacée renseigne seulement en milieu calcaire, et surtout, à la limite de ce dernier avec le milieu acide, où sa pauvreté atteint souvent un degré d'uniformité ne pouvant servir à la détermination des stations.

Facteurs potentialité	RICHESSSE MINERALE		ACIDITE	HYDROMORPHIE
		RESERVE EN EAU		
Caractère diagnostique = CLE	CO ₃ Ca effervesCence	TEXTURE EPAISSEUR <0.5 0.5 à 1 1 à 2 > 2 A L S Cx	HUMUS	CONCRETions
Aide déterm. / végét.	↔	↔	↔	↔