

LA TYPOLOGIE DES STATIONS FORESTIÈRES DU MASSIF DE FONTAINEBLEAU*

Anne-Marie ROBIN⁽¹⁾ et Philippe DUCHAUF⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratoire de Géodynamique des Milieux Continentaux. Boîte 114,
Université P.M. Curie, 4 Place Jussieu, 75230 Paris cedex

⁽²⁾ 8 Allée de la Doucerie, 78620 L'Etang la Ville

SUMMARY

(original scientific paper)

THE TYPOLOGY OF FOREST SITES OF FONTAINEBLEAU FOREST

Despite the sandy characteristic of sediments which form most of the soils of the Fontainebleau forest, differences in the texture can be observed. The presence of a Bt β horizon, its thickness, as well as the thickness of the whole soil have a direct impact on the reserve of water of these dry soils. These diagnostic characters of texture and thickness, as well as the presence or the proximity of chalk layers have to be taken in consideration by the forester for his choice of tree species, especially for broadleaf tree... and conifers, for which the distribution must be limited because of the negative effect of humus on pedogenesis.

KEY WORDS : Forest - Forest site - Fontainebleau - Poor sediment. Pedology.

RÉSUMÉ

(travail original)

La caractéristique sableuse des sédiments qui forment presque tous les sols de Fontainebleau n'empêche pas l'existence de nuances dans leur texture. La présence d'un horizon Bt β , son épaisseur ainsi que celle du sol entier ont une influence directe sur la réserve en eau de ces sols facilement secs. Ces caractères de texture et d'épaisseur, ainsi que la présence ou la plus ou moins grande proximité du calcaire, permettent de guider le sylviculteur pour le choix des essences arborescentes, notamment pour la répartition des feuillus... et des conifères qu'il convient de limiter en raison de l'action néfaste de leur humus sur la pédogenèse.

MOTS CLÉS : Forêt - Station forestière - Fontainebleau - Substrat pauvre - Pédologie.

INTRODUCTION

Le rôle de la forêt dans l'équilibre des écosystèmes à la surface de la terre est essentiel. L'exploitation - normale et nécessaire - de ses ressources revêt un caractère d'importance, car le choix des essences arborescentes peut déterminer le maintien d'une certaine richesse du sol ou aggraver au contraire sa fragilité. L'avenir de la forêt tient donc, pour beaucoup, dans sa gestion. De là vient le souci, depuis les années 1980, de mener des recherches, en particulier sur les stations forestières.

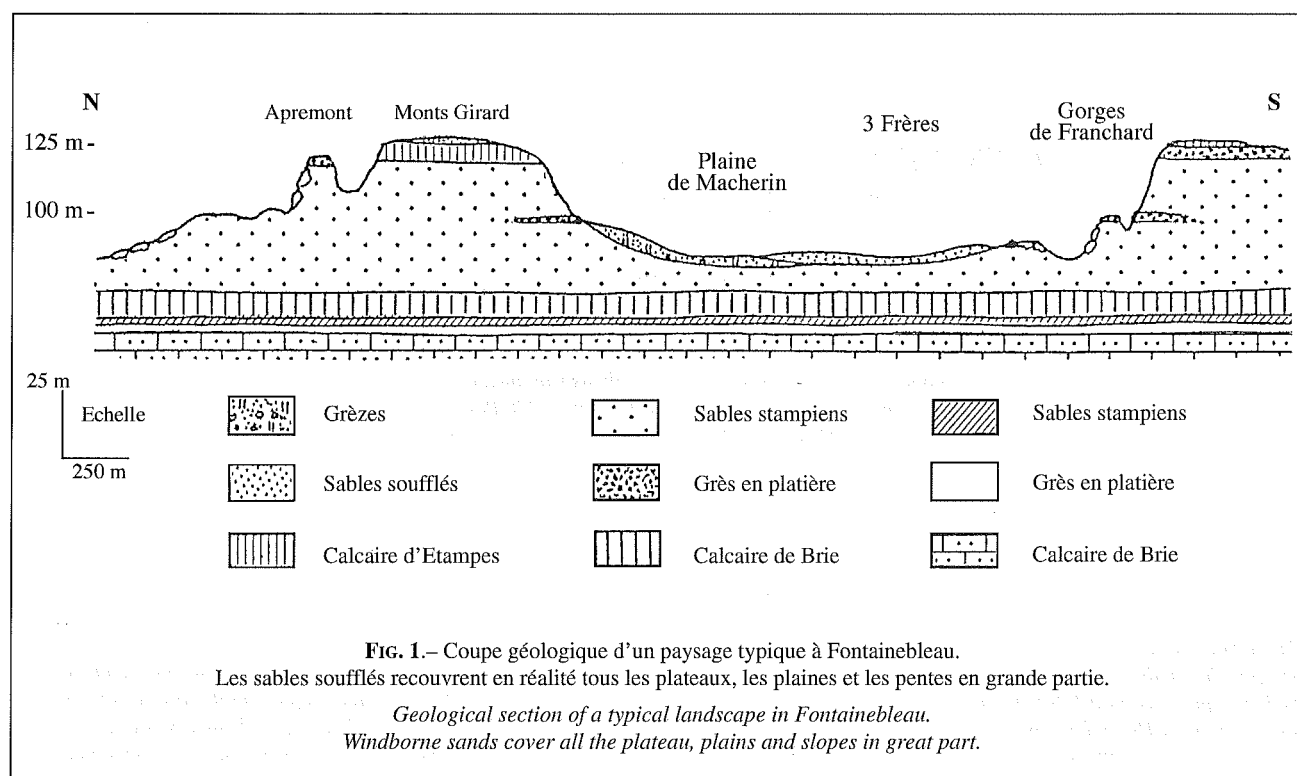
La "station forestière" est une "étendue de terrain homogène dans ses conditions écologiques, et d'égale

potentialité quant à la production" (RAMEAU 1984).

A Fontainebleau, la diversité topogéologique crée des conditions écologiques très diverses. Il est donc important de bien définir les stations afin de choisir les espèces les mieux adaptées.

C'est ainsi qu'un "Catalogue des stations forestières de Fontainebleau" a été réalisé (ROBIN 1993) avec le concours de l'Office National des Forêts ; cet ouvrage présente la très grande multiplicité des stations selon une clef de détermination essentiellement "pédologique". Le présent article en constitue une synthèse et précise le choix des critères de détermination.

* Manuscrit reçu le 17 mai 1995 ; version révisée acceptée pour publication le 27 novembre 1995.
Cette étude a été réalisée pour le compte de l'Office National des Forêts.



LE MILIEU NATUREL

La géologie et le paysage

Les roches, à l'origine des sols, orientent les potentialités de la forêt : les sables par exemple favorisent l'entraînement des solutions, ... le calcaire permet une recharge en ions calcium. La succession sédimentaire des différentes roches a déterminé, avec l'érosion, le paysage d'aujourd'hui, caractérisé essentiellement par (FIG. 1) :

- les "Monts" des plateaux de calcaires d'Etampes, et les "Buttes" de platières de grès, qui dominent souvent vers 130 mètres d'altitude.
- les plaines basées sur les sables stampiens et/ou les calcaires de Brie se trouvent souvent vers 80 ou 90 mètres.

Ces monts, buttes et plaines sont recouverts de "sables soufflés" plus ou moins épais, issus de la reprise éolienne des sables stampiens des pentes, avec ajout de limons et d'argiles provenant de l'altération des calcaires.

- les pentes découpées dans le sable stampien (bien connu pour sa pureté en silice, donc pour sa pauvreté chimique) peuvent être recouvertes d'un soufflage : sableux très local et assez pur, ou enrichi en particules fines comme sur les plateaux et plaines.

- quelques falaises à l'est de la forêt ont été entaillées par la Seine dans le calcaire de Champigny, tandis que des terrasses successives subsistent au Nord.

Le climat et ses effets

Le climat local est plus continental que le climat séquanien moyen (DOIGNON 1948) et présente des extrêmes thermiques plus marqués, avec un hiver relativement rude et tenace, des gelées précoces ou tardives, un été dont les températures peuvent avoir des effets néfastes si la pluviosité (722 mm par an en moyenne) est insuffisante à la bonne saison : le déficit estival couvre généralement deux mois.

Le déficit climatique ($ETP - P = 182 \text{ mm}$) permet la comparaison avec la réserve en eau utile (RU) qui varie avec la texture et l'épaisseur du sol.

À la mauvaise saison, l'eau sans utilité pour la végétation permet l'entraînement de solutions et d'éléments, pendant trois à quatre mois.

Les vents (SW et NE) peuvent avoir des effets néfastes (bris, chablis), parfois catastrophiques pour le peuplement et de ce fait pour la gestion forestière.

LA VÉGÉTATION

Les peuplements ligneux, leur répartition et leur opportunité.

La répartition actuelle est liée à la fois aux exigences écologiques des essences arborescentes et aux interventions humaines. Ainsi, les feuillus se trouvent généralement sur sables soufflés, tandis que les conifères (résineux introduits) se localisent le plus souvent sur sables stampiens siliceux et pauvres en cations. Mais le grand pouvoir de dissémination des graines de conifères

apporte le risque d'une extension indésirable des résineux sur les sables soufflés relativement riches.

Parmi les FEUILLUS, le **chêne sessile** convient à presque tous les terrains y compris les pseudogleys car il tolère plutôt mieux une hydromorphie modérée que la sécheresse de l'été. Cette espèce mérite d'être favorisée à Fontainebleau. Sa croissance dépend de la station.

Le **chêne pédonculé** ne devrait subsister que sur station mal drainée à gley.

Le **chêne rouge**, introduit, est adapté au climat ; il donne un bois assez intéressant et un feuillage très esthétique ; sur le continent américain il peut montrer une sensibilité à un parasite provoquant le flétrissement et en dehors de cela, il reste intolérant au calcaire et à l'hydromorphie.

Le **chêne pubescent**, de moindre importance pour l'exploitation, est naturellement implanté sur sols secs assez peu épais des bords de plateaux calcaires où il constitue une formation typique à conserver sur le plan du paysage. On peut parfois le trouver sur sable stampien exposé au Sud et particulièrement sec.

Le **hêtre**, espèce sciaphile, apporte ombrage et fraîcheur au sol. Il constitue une espèce d'accompagnement qui semble nécessaire pour le chêne (DOMET 1873, COCHET 1958, JACQUIOT 1983), de même que la présence du chêne évite les difficultés de régénération apparaissant en peuplement pur de hêtre (SILVY LELIGOS 1949). Cette dernière espèce exige un minimum d'eau, tout en se montrant plus résistante à la sécheresse sur les sols calcaires.

Le **charme** se trouve habituellement sur matériau argileux et sa présence toujours bénéfique (litière à humus mull) devrait pousser à le conserver lorsqu'il existe et même à l'implanter lorsque c'est possible.

Le **châtaignier**, acidiphile, devrait trouver place à Fontainebleau, malgré les risques d'encre et de roulure - mais de préférence en situation abritée du vent et du froid. Par sa litière améliorante, il freine la podzolisation.

Le **bouleau** se trouve sur place pratiquement depuis le Préboréal et contribue au caractère si apprécié des paysages de Fontainebleau. Le bouleau verruqueux se trouve sur sols secs et acides à moder-mor, et le bouleau pubescent sur sols hydromorphes à hydromoder.

Le **frêne** qui aime les sols riches en bases et souvent frais, pourrait valoriser certains sols argileux proches de la Seine.

Parmi les CONIFERES, le **pin sylvestre**, frugal, a facilement pris une grande extension. Mais sa croissance est gênée par le pH élevé des plaines de grèzes ; par ailleurs, son influence podzolisante (donc appauvrissante pour le sol et pour l'avenir de la forêt) le rend peu souhaitable sur sables soufflés. Sa silhouette particulièrement esthétique justifie cependant sa présence sur sables stampiens pauvres.

Le **pin laricio** est sensible aux grands froids au stade juvénile. Et bien qu'il soit moins nocif que le pin sylvestre

pour le sol, son introduction proposée sur quelques sols de texture sableuse devrait être accompagnée de plantes fixatrices d'azote (aulne blanc pour le laricio de Corse sur sol acide, aulne de Corse pour le laricio de Calabre sur sol calcaire). Par ailleurs, le pin laricio tolère peu l'hydromorphie, surtout en milieu acide.

Le **pin maritime**, très sensible aux grands froids, peut être un témoin acidiphile à protéger des vents froids.

Le **douglas** pourrait être intéressant sur les sols filtrants de la partie peu productive de la terrasse Fw et de la terrasse Fx, si sa sensibilité aux gelées tardives et au vent ainsi que son minimum nécessaire de 700 mm d'eau de pluie sont pris en considération pour son lieu d'implantation.

A ce sujet, il convient de rappeler l'importance de la provenance des espèces introduites (RAMEAU 1985), particulièrement à Fontainebleau (JACQUIOT 1983).

Par ailleurs, dans ce massif aux sols chimiquement très pauvres, **la croissance des arbres pourrait être nettement améliorée par un accompagnement d'essences fixatrices d'azote** (MOIROUD 1991). Les espèces arbustives comme les aulnes semblent plus efficaces que les espèces herbacées ; l'aulne blanc supporte l'acidité, l'aulne de Corse tolère le calcaire, et l'aulne glutineux convient en milieu hydromorphe.

La végétation arbustive et herbacée et les limites de son rôle indicateur. - Expression du substrat, la végétation en traduit souvent les conditions écologiques, toujours régies par deux facteurs principaux (DUCHAUFOR 1986-89) :

- **sécheresse - humidité** (xéro-mésophytophile)
- **acidité et niveau trophique pH** (acidiphile à calcicole en passant par neutro (nitrophile)).

Les espèces assemblées forment des groupements végétaux répertoriés précisément (BOURNÉRIAS 1979). Ceux-ci sont évoqués dans le Catalogue, qui reprend par ailleurs le classement des espèces en fonction de leur caractère indicateur signalé dans la flore forestière française de RAMEAU *et al.* (1989).

Fontainebleau est réputé pour sa richesse botanique. Il est vrai que le massif présente une grande variété d'espèces liée à un assez grand nombre d'associations. Toutefois le cortège de celles-ci est parfois assez réduit. Dans ces conditions, il peut être difficile de déterminer l'association végétale ou le groupe écologique.

On peut retenir le rôle particulièrement indicateur du très fréquent trio arbustif de l'aubépine monogyne, du troène et du prunellier, qui révèle toujours parfaitement la proximité du calcaire. C'est ainsi qu'en bordure de plateau et dans le haut des pentes cette fruticée calcicole, accompagnée parfois de viorne lantane et de cornouiller sanguin, peut fortement contraster avec une végétation acidiphile de callune, l'ensemble formant une véritable

mosaïque. La végétation permet alors de déceler ces variations très locales des sols dues à la présence ou à l'absence de poches de matériau d'altération du calcaire d'Etampes (dévalé à l'état plus ou moins gelé en condition périglaciaire).

Deux espèces particulièrement fréquentes peuvent être caractéristiques de milieux extrêmes : la germandrée, calcicole mésoxérophile, peut être également acidiphile sur moder, et le mélampyre plutôt acidiphile sur moder est parfois calcicole : c'est le caractère de sécheresse du sol qui en est responsable.

D'une manière générale, la végétation de la strate herbacée est liée aux conditions trophiques des premiers décimètres de sol, tandis que la strate arborescente, dont l'épanouissement racinaire peut être très important, répond aux conditions profondes.

En conclusion, la très grande majorité de la surface de la forêt de Fontainebleau étant composée de sols très acides sur sables soufflés, sur lesquels la flore herbacée est très rare et homogène, la typologie est basée sur l'étude des sols. Il n'en reste pas moins que sur une surface restreinte de la forêt, où les matériaux sont riches en calcium, la végétation herbacée et arbustive donne des renseignements très utilisables.

En raison de la liaison qui existe entre la litière des essences arborescentes et le type d'humus, il est important de ne pas risquer de méconnaître les potentialités réelles de stations dont l'humus acide (mor) pourrait être seulement dû à une litière de conifères.

LES SOLS

La pédogénèse dans le temps et l'espace.— Issus d'une pédogénèse sur matériau sédimentaire, les sols dépendent essentiellement de la roche superficielle : sables (presque omniprésents), calcaires (au bord des plateaux ou en fond de profil), argiles ou marnes (rares) - et éventuellement de la roche sous-jacente.

Si le drainage se fait aujourd'hui sur un peu plus de trois mois, il a évidemment été beaucoup plus important dans les périodes anciennes plus arrosées. C'est ainsi que l'altération des calcaires et les migrations dans les sables ont pu s'effectuer activement, déterminant des types de sols relativement variés malgré la nature presque toujours sableuse du substrat. La plus ou moins grande importance de la charge en fines et celle de l'épaisseur entrent en jeu, ainsi que le remaniement lors des conditions climatiques sévères et variables du passé (ROBIN 1974).

Les sédiments minces, carbonatés, d'origine hydroéolienne et les faibles épaisseurs de sables soufflés sur calcaire portent des sols calcimagnésiques : rendzines, sols bruns calcaires et calciques - ou de rares sols bruns. Dans les trois premiers cas, souvent répartis au bord des plateaux, l'abondance d'ions calcium permet une structure

grumeleuse bénéfique. Le pH des sols bruns, plus bas ($\approx 5,5$) marque les conditions optimales.

Lorsque l'épaisseur de sables soufflés (qui sont non carbonatés) augmente à la surface des plateaux ou des plaines, l'entraînement des argiles et du fer a donné des sols lessivés dont l'horizon Bt d'accumulation surmonte un horizon dit "B" d'argiles de décarbonatation contre le niveau calcaire.

Dès que cette épaisseur de sol lessivé est forte, l'appauvrissement de la surface, qui s'effectue sur une marge plus épaisse, s'accroît ; et l'acidification, freinant le processus de lessivage, déclenche la podzolisation. Si la végétation est restée feuillue, l'horizon Bh d'accumulation organique reste meuble et de coloration peu accentuée. Si par contre une phase de conifères et de callune a existé, le Bh est noir et induré et constitue une gêne pour les racines ; les inconvénients de ce type de podzol à alios humoferrugineux rejoignent ceux des podzols à alios humique des sables stampiens, particulièrement peu intéressants pour la sylviculture (ROBIN 1981-83-84-90).

La méthode d'étude.— La grande variabilité des dépôts éoliens et hydroéoliens du Quaternaire a donné, sur les formes sédimentaires précédemment érodées et elles-mêmes très variées, une diversité particulièrement grande de substrat. Nous avons cependant pu limiter à 80 le nombre de types de stations différentes, eux-mêmes issus de 7 unités géomorphologiques qui servent de base à la présentation du catalogue comme de cet article. Ces unités géomorphologiques offraient dès le départ le cadre le plus logique pour la prospection de terrain. Celle-ci fut réalisée selon la méthode des transects, par 450 sondages pédologiques, accompagnés chacun d'un relevé botanique et d'observations sur le peuplement arborescent (hauteur et diamètre des arbres les plus beaux). Les stations, choisies comme typiques après examen raisonné des données, ont été étudiées sur fosse pédologique, puis analyses physiques et chimiques du sol.

Pour assurer une reconnaissance plus aisée des stations, le catalogue présente des photographies en couleur à côté des profils schématisés et descriptions habituelles. Les relevés botaniques et les analyses pédologiques sont suivies d'un commentaire précisant les caractéristiques de la station et sa vocation.

Les caractères diagnostiques qui déterminent la "réponse de la forêt" sont les suivants :

- **l'effervescence** et son niveau d'apparition qui permettent de reconnaître la richesse en ions calcium et la recharge possible par le cycle biogéochimique.

- **la texture** qui renseigne sur la charge des sables soufflés en argiles et limons, sources de richesse en cations variés (ferromagnésiens) et de retenue d'eau.

L'horizon Btß sabloargileux situé à la base des sables soufflés a ainsi un rôle très important (ROBIN 1975) comme réserve d'eau et de cations basiques.

• **l'épaisseur de sol** (colonisé par les racines) qui influe sur les performances des arbres par l'importance de la masse de sédiment prospectable et exploitable par les racines ; *a fortiori* au niveau d'horizons un peu riches comme le Btß dont l'épaisseur, voire le redoublement, jouent un grand rôle.

Ces deux derniers critères jouent un rôle essentiel sur la croissance des arbres, notamment en contrôlant la réserve en eau utile (RU) :

TABLEAU I.— Liaison de l'épaisseur de sol et de la texture pour la détermination de la RU.

Relation between the thickness of soil and texture for the RU determination.

Épaisseur de sol Teneur en Arg + Lim	< 1 m	1 à 2 m	> 2 m
< 5 %	Très faible	Faible	Moyenne
5 à 15 %	Faible	Moyenne	Forte
15 à 30 %	Moyenne	Forte	Très forte

Nous basant sur les essais de quantification proposés par BELGRAND & DUCHAUFOR (1980), nous avons donné -pour chaque station- une évaluation de la RU, qui reste, certes, une approximation, mais qui permet une comparaison avec le déficit climatique estival (ETP - P = 182 mm) pour en mieux cerner la compensation.

Les performances des arbres sont incontestablement liées à la réserve en eau, comme l'indique la figure 2.

Un classement approximatif de la réserve utile RU peut s'exprimer ainsi :

tf (très faible)	= 70 à 100 mm
f (faible)	= 100 à 150 mm
m (moyenne)	= 150 à 200 mm
F (forte)	= 200 à 250 mm
tF (très forte)	= 250 à 300 mm

• le **type d'humus** qui est lié en grande partie à la nature de la litière dont la vitesse de décomposition diminue dans le sens mull - moder - mor : ainsi, le mull issu de litières améliorantes (riches en azote) a un cycle (turn over) rapide, la matière organique est bien incorporée à la matière minérale ; à l'opposé le mor issu d'essences acidifiantes forme un épais feutrage dû au manque d'activité de la faune... peu suscitée en raison de la pauvreté en azote de la litière. Les moder acides sont fréquents sur tous les sols sableux, même lorsque la réserve en calcium est accessible aux racines avec recharge par le cycle biogéochimique.

Par son pH et sa relative richesse en nutriments, l'humus peut avoir un rôle important au niveau des régénérations. Il est donc à considérer comme caractère diagnostique, avec prudence cependant, dans la mesure où un mor dû à un peuplement de conifères peut cacher les potentialités d'une station relativement bonne.

• La présence de taches et/ou de concrétions rouilles ou noires, ainsi que la coloration gris-bleuté-verdâtre de certains horizons permettent de reconnaître les stations hydromorphes. Au nord de la forêt, les sols, plus chargés en limons et argiles, sont souvent des pseudogleys (nappe perchée temporaire) où la toxicité du fer ferreux s'ajoute à celle de l'ion aluminium. Les gleys (nappe permanente) sont plus rares.

Ces différents caractères sont à la base de la clef de détermination des stations, qui est donc pédologique, en raison du rôle indicateur limité de la végétation.

LES STATIONS

Les stations les plus représentées concernent "les sables soufflés" qui sont issus des sables stampiens et sont "enrichis en argiles ferromagnésiennes" (impuretés des calcaires altérés). Plus ou moins épais, ces dépôts soufflés déterminent des types de sols et de stations parfaitement semblables sur les plateaux, sur certaines pentes et dans les plaines - avec quelques exceptions cependant dues à la situation topographique et géologique.

DÉPÔTS MINCES OU PEU ÉPAIS DE SABLES SOUFFLÉS

- sur le calcaire d'Etampes des plateaux
- sur son matériau d'altération dévalé en poches sur les pentes stampiennes
- sur le calcaire de Brie des plaines

= SOLS CALCIMAGÉSIQUES ET SOLS BRUNS

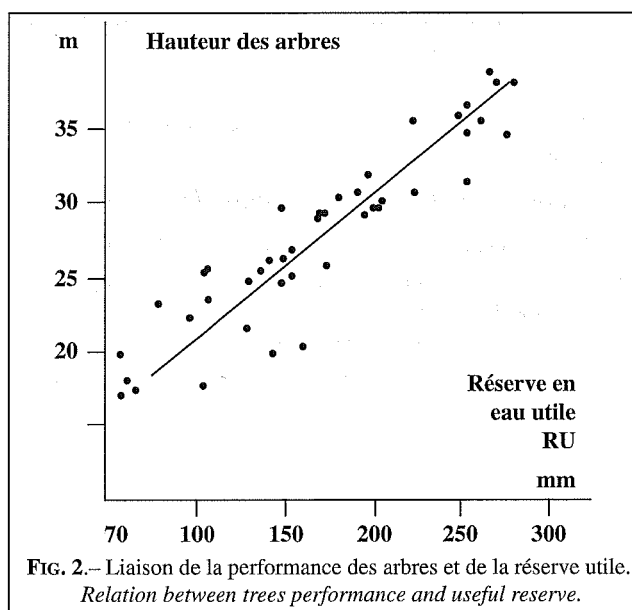


FIG. 2.— Liaison de la performance des arbres et de la réserve utile.
Relation between trees performance and useful reserve.

Les sols totalement effervescents, très secs et très minces (rendzines sableuses) correspondent à des pelouses riches en espèces herbacées, d'un faible intérêt sylvicole mais d'une "biodiversité" remarquable, à maintenir en réserve jusque dans la zone à chêne pubescent.

Les sols à effervescence apparaissant entre 0 et 30 cm sont des rendzines, des sols bruns calcaires et bruns calcaïques, selon la texture et l'épaisseur de sol (< 45 cm ou comprise entre 45 et 65 cm). La RU (réserve en eau utile) est généralement inférieure à 100 mm.

Les sols sans effervescence au dessus du matériau d'altération du calcaire sont des sols bruns mésotrophes, oligotrophes ou bruns lessivés (pouvant avoir jusqu'à 75 cm d'épaisseur). Lorsque le sable est argileux, la RU peut atteindre 170 mm.

Les essences adaptées à ces dépôts minces ou peu épais de sables soufflés sont principalement le hêtre et le chêne sessile. La priorité doit être donnée au chêne sessile lorsque le sol, sec avec une réserve en eau < 100 mm, n'est pas carbonaté sur 50 cm. Le charme devrait être conservé en accompagnement lorsqu'il est déjà présent sur sol plus frais ; et il ne peut être ajouté qu'avec bénéfice.

Dans les rares cas où le sol est "argileux", suffisamment épais sans trop de calcaire, et où la réserve en eau est suffisante ($\approx$ 180 mm), l'essai de fruitiers comme des merisiers pourrait être tenté.

Sur les stations "sableuses en mosaïque" qui se trouvent souvent en limite des plateaux, un mélange de chêne sessile, chêne pubescent, cèdre ou pin laricio devrait se distribuer en fonction de la proximité du calcaire, ou de son absence éventuellement liée à une platière de grès. Mais le cèdre comme le pin laricio ne peuvent être envisagés qu'avec accompagnement d'aulne de Corse permettant une recharge en azote. Le risque des effets des coups de vent est aussi à considérer.

DÉPÔTS PLUS OU MOINS ÉPAIS DE SABLES SOUFFLÉS PLUS OU MOINS LIMONEUX

– Sur les mêmes formations que précédemment
 = SOLS LESSIVÉS ACIDES : et PODZOLISATION surimposée
 sur sables limoneux : aux sols lessivés sur sables

Ces stations recouvrent la plus grande partie de la forêt.

L'humus, allant du mull oligotrophe au moder et au dysmoder, témoigne de l'acidification de surface (souvent préjudiciable aux semis) sans rapport avec la recharge en cations variés souvent importante à la base du profil, en particulier lorsque l'horizon Bt β profond présente des redoublements.

• Le chêne sessile est l'essence de choix, à tout point de vue : il peut dominer largement.

• La présence du hêtre en mélange ou en sous-étage reste le plus souvent souhaitable, ainsi que celle d'espèces

améliorantes, telles que le charme parfois présent ; il faut toutefois que la RU soit suffisante.

• L'introduction de chêne rouge peut être tentée sur certains sols podzolisés peu riches en fines, mais elle ne devrait être que très limitée à cause de son étiquette d'exotique et de sa sensibilité possible au parasite du flétrissement.

• Toutes les stations "sableuses" doivent être améliorées par un accompagnement d'aulne blanc, au moins pendant les régénérations.

Les pentes.— Géologiquement formées de sables stampiens (siliceux, pauvres en cations), les pentes peuvent être recouvertes d'épaisseurs notables de sables soufflés, comme les plateaux et les plaines. De la même manière leur texture et leur épaisseur sont déterminantes, et le cas est effectivement semblable si des lentilles ou des poches de "matériau d'altération du calcaire des plateaux" ont glissé sur le Stampien avant le soufflage. Si par contre aucun dévalement de cette sorte n'existe, laissant alors sables soufflés directement sur sables stampiens... c'est le châtaignier qui serait le mieux adapté, en situation abritée du moins.

Les plaines.— Elles présentent deux cas extrêmes qui sont différents des plateaux :

- 1.) les stations à sols minces des zones de grèzes sont particulièrement ingrates par leur sécheresse et elles sont difficiles à reboiser ; elles peuvent être en grande partie mises en réserve biologique ; sinon il existe une possibilité d'accéder à une "ambiance forestière" par l'implantation du cèdre de l'Atlas ou du pin de laricio de Calabre, ceci toujours avec l'ajout d'aulne de Corse lorsque le calcaire est à moins de un mètre.
- 2.) Quelques stations très rares dont l'alimentation en eau est géologiquement privilégiée (nappe de Brie à portée de racines profondes) pourraient éventuellement porter du douglas.

LES SABLES STAMPIENS des pentes et des paysages de chaos de grès

= PODZOLS à ALIOS HUMIQUE, parfois humoferrugineux

Si aucune couverture soufflée enrichie n'existe en surface, la pauvreté en argiles et fer du matériau stampien détermine une forte acidité qui favorise la podzolisation : le sol sableux est très sec, avec un humus mor et un Bh induré, donc un alios humique (humoferrugineux si un enrichissement superficiel existe). Toutes ces caractéristiques : pH 3,5, faible RU, alios durci, pauvreté en bases, empêchent l'installation des feuillus.

L'originalité et la rareté des paysages stampiens s'allient à la pauvreté de leur sol pour déterminer la conservation du "paysage" comme objectif essentiel. La callune est presque omniprésente.

En l'absence de platière ou de chaos, la masse de sable profond peut porter des pins sylvestres pour le paysage, des laricios pour l'exploitation, qui seront tous améliorés par la présence de l'aulne blanc.

TERRASSE SUPÉRIEURE Fv DU Nord-Nord-Est

Sables plus ou moins épais sur argiles de la formation de Brie ou sur marnes vertes ou blanches.

Nappe perchée superposée à une nappe permanente plus ou moins profonde.

= *PSEUDOGLEY - GLEY*

Les sables limoneux ont souvent une podzolisation surimposée au sol lessivé, ce dernier étant parfois à pseudogley, et éventuellement sur gley profond.

Les sols sur sables argileux peuvent être de type gley ou sol brun, selon une séquence liée à la profondeur croissante de la nappe. Le peuplement se modifie de façon concomitante : le chêne sessile est l'essence objectif sur les sables limoneux de la terrasse Fv... tant que les argiles de la formation de Brie, et les marnes, ne sont pas trop proches de la surface... et dès qu'elles sont proches, le chêne pédonculé devrait le remplacer (avec un accompagnement d'aulne glutineux).

TERRASSE SUPÉRIEURE "Fv" DU Nord-Nord-Ouest

Sables limoneux plus ou moins chargés en cailloux :

– **reposant toujours sur paléosol rubéfié sabloargileux et argileux**

– **retenant une nappe perchée temporaire**

= *SOLS LESSIVÉS ACIDES À PSEUDOGLEY.*

L'ensemble de la terrasse Fv du NNW correspond à des sols bruns lessivés, lessivés acides... et podzoliques à améliorer avec des aulnes blancs ou de Corse selon la pauvreté ou la richesse du sol. Le chêne sessile est l'essence à favoriser avec accompagnement de charme et de châtaignier. Les stations de cette terrasse sont trop hydromorphes pour pouvoir porter du hêtre, et d'autre part, l'assèchement du sol en été ne convient pas au chêne pédonculé. Sur la pente forte descendant vers la Seine, les sols acides à galets sur sables stampiens pourraient porter des châtaigniers en situation abritée, et les stations sur marnes pourraient donner de beaux frênes et quelques fruitiers, avec du chêne pédonculé. Un cas extrême assez bien réparti, quoiqu'irrégulièrement, présente un poudingue rocheux avec abondantes concrétions ferromanganeuses sur 40 cm, et ceci vers 50 cm de profondeur à la base d'un sol brun acide marmorisé.

Une RU très limitée par cette croûte, l'obstacle physique lui-même, ainsi que l'acidité de surface limitent la taille des arbres à 15 ou 20 mètres. Le chêne sessile accompagné de charme, de quelques châtaigniers et de l'aulne blanc semblent les meilleures espèces pour cette

zone où des fossés de drainage peu profonds seraient très opportuns tous les 30 mètres.

TERRASSES MOYENNES Fw, Fx

Sables caillouteux, épais, très filtrants donc secs

= *SOLS LESSIVÉS ACIDES - souvent PODZOLISÉS en surface - à très faible RU.*

Sur ce type de station, c'est le chêne sessile qui devrait être favorisé avec accompagnement de hêtre et de charme dans certains cas, charme et châtaignier dans d'autres cas. Le chêne pédonculé n'a pas lieu de se trouver sur ces sols secs. Le charme doit être maintenu là où il existe ; c'est sans doute son traitement en taillis qui explique sa présence surprenante sur des sols secs et acides. L'ajout d'aulne, blanc ou de Corse selon les cas, améliorerait tous ces sols.

BASSE TERRASSE Fy. Alluvions récentes le long de la Seine

= *SOLS BRUNS CALCAIRES OU RENDZINES COLLUVIALES*

Remontée capillaire de la nappe de la Seine sols frais.

La végétation - hygroneutrophile - est un parfait indicateur de cette station, révélant ici des sols riches et bien pourvus en eau. Ici, c'est le chêne pédonculé qui convient, avec le frêne, l'érable sycomore, et parfois le merisier.

MARNES STAMPIENNES à couverture sableuse

– **Argiles et sables argileux gleyifiés de la base de la formation de Brie.**

– **Nappe temporaire sur nappe permanente, alentours de la Mare aux Evées.**

= *SOLS LESSIVÉS glossiques (à pseudogley et) à GLEY.*

La végétation est ici aussi très révélatrice avec la molinie sur les sables relativement épais, et les joncs sur les bords de fossés des sables peu épais : la présence de molinie indique l'alternance de phases d'asphyxie et de dessiccation du sol.

Le choix entre le chêne sessile et le chêne pédonculé dépend de la profondeur d'apparition de la nappe (temporaire surmontant la permanente). Ainsi le chêne sessile est à préférer lorsque la saison d'été permet un assèchement du sol sur une certaine profondeur (horizon oxydé Go du gley > 1,10 m) - l'accompagnement du hêtre se faisant alors sur les stations topographiquement les plus élevées ; tandis que le chêne pédonculé est à choisir dès que les conditions asphyxiantes sont plus proches de la surface (Go du gley vers 80 cm) et qu'une certaine permanence d'alimentation en eau existe.

La descente de cime de plusieurs espèces arborescentes de cette zone tient aux effets cumulés du drainage récemment renforcé et de la succession d'années sèches ; le changement a été trop brusquement important.

La zone en couronne étoilée de fossés autour de la Mare aux Evées pourrait gagner avec une implantation

(modérée) de certaines espèces de mélèze introduites qui se montrent, là, plus robustes que les autres espèces ; c'est cependant, comme tout conifère, une espèce à prévoir en mélange : ici, principalement avec le chêne pédonculé, le grisard, le tremble, le bouleau pubescent et les saules, sans oublier des aulnes glutineux.

CONCLUSION

La forêt de Fontainebleau, deuxième forêt domaniale de France, présente une très grande variété stationnelle (comme la carte pédologique au 1/1000^{ème} de la Tillaie l'exprimait déjà : BOUCHON *et al.* 1973). Les peuplements se répartissent (DUCHAUFOUR 1989) à Fontainebleau comme l'indique le tableau II.

Si l'aspect et la composition du peuplement peuvent donner certaines indications sur les propriétés du sol, en revanche la strate herbacée ne permet qu'une approche approximative qui reste très générale, sauf dans quelques cas précis, comme les milieux hydromorphes, les milieux xéromorphes, et surtout la limite sols acides/sols calcaires très utile à tracer pour la cartographie.

Mises à part ces situations qui sont extrêmes ou contrastées, l'absence fréquente de toute strate herbacée

empêche donc l'enregistrement nécessaire des variations de potentialités. La détermination des stations est donc bien ancrée sur le substrat de croissance des arbres, et la clef est pédologique : parmi les cinq caractères diagnostiques retenus, la présence et le niveau d'apparition du calcaire actif, la texture, et l'épaisseur des sédiments sont presque toujours employés car ils permettent d'identifier les différentes stations des plateaux, de certaines pentes, et des plaines.

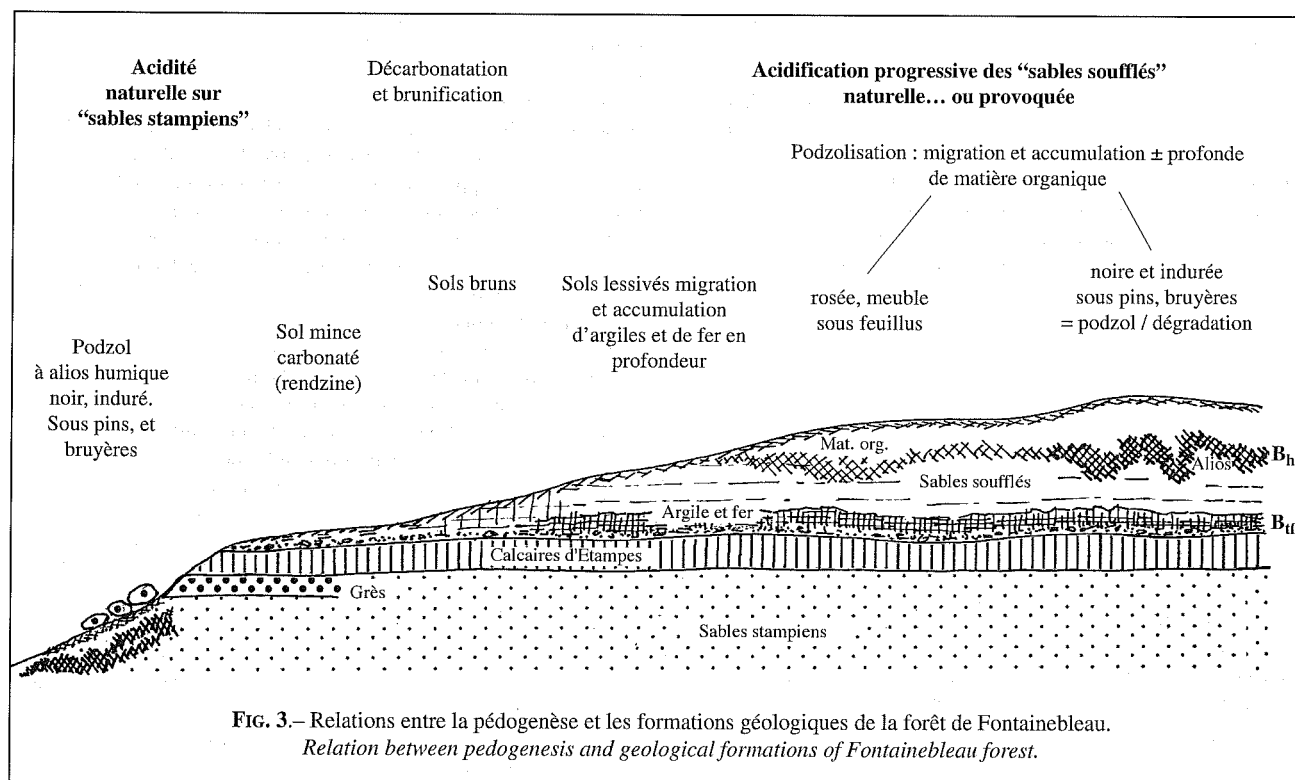
On doit souligner l'existence d'une transition brutale des sols calcimagnésiques (fréquents en bordure de plateaux ou sur grèzes des plaines) aux sols lessivés et podzologiques (sur sables plus épais). Le stade de brunification est donc très peu représenté dans l'espace, et son caractère fugace (passage rapide de la décarbonatation au lessivage) souligne la fragilité du substrat de Fontainebleau. Le cycle biogéochimique des bases, malgré son efficacité, n'empêche pas l'acidification rapide, consécutive à la décalcification du sol. Le fait, déjà signalé ailleurs à propos de l'influence des conifères, avait fait dire à BONNEAU *et al.* (1979) : "la baisse du capital total de réserve minérale passera inaperçue". La figure 3 situe la dynamique de cette évolution sur les plateaux.

La simple action du vent a permis le transport des impuretés du calcaire altéré qui, mélangées aux sables stam-

TABLEAU II.— Répartition des peuplements dans la forêt de Fontainebleau.

Repartition of forest types in the forest of Fontainebleau.

	↓ EAU pH →	BASIQUE (pH 7 à 8)	→ ACIDE →		TRÈS ACIDE
	Humus	Mull carb. ou eutrophe	Mull méso	Mulloligo/Moder	Dysmoder/Mor
SOLS NAT ^r	Sécheresse RU < 90 mm	Pelouse Fruticée Chênaie pubescente	Bouleau verruqueux + Lande		Lande Ericacées
	Caract. méso. RU 90 à 180	Hêtraie calcicole + érable champêtre	Chênaie sessiliflore et charme		Chênaie dégradée + bouleau verruqueux
	Fraîcheur RU > 180 mm	Chênaie péd. sess. charmaie + érable sycomore	Chênaie sess. + hêtre		Chênaie péd. + sess. hêtraie Bouleau pub. + verr.
DRAINÉS	Humidité RU > 300 mm	Chênaie péd. - frênaie et charme		Chênaie pédonculée à tremble Bouleau pub.	
SOLS ± ENGORGÉS		HYDROMULL		HYDROMODER - HYDROMOR	
	Alternance engorgt/séch.	Chênaie pédonculée à charme		Bétulaie pubescente molinie - bourdaine	
	Nappe proche	Aulnaie - frênaie		Saules - aulnes	
	Asphyxie nappe très proche	Phragmitaie grand carex et jonc		Tourbe acide à sphaigne et jonc	



piens quartzeux, leur a conféré une certaine richesse minérale : ce mélange représente la plus grande partie de la couverture pédologique soufflée de Fontainebleau. Aussi est-il du plus grand intérêt de maintenir cette richesse déjà limitée du substrat, laquelle oppose ces sables soufflés aux sables stampiens extrêmement pauvres.

La forêt de Fontainebleau présente ainsi l'avantage de pouvoir fournir de beaux peuplements sur les sables soufflés, et de très jolis paysages sur sables stampiens.

Une chance à reconnaître et à sauvegarder. Aussi convient-il de formuler un certain nombre de recommandations valables pour l'ensemble du massif :

- le mélange d'essences feuillues variées,
- l'accompagnement par des espèces fixatrices d'azote, dans bien des cas et en particulier pour tout peuplement de conifères,
- l'accompagnement par des feuillus, en plus des espèces fixatrices d'azote, pour tout peuplement de conifères,
- la maîtrise des conifères, pour éviter leur trop grande extension.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien et pour le compte de l'Office National des Forêts.

BIBLIOGRAPHIE

- BELGRAND, M. & DUCHAUFOR Ph., 1980.— *CR. Acad. Agric. de France*, 12 : 1069-1078. et 1981 : 1146-1156.
- BONNEAU M., BRETHES A., LELONG F., LEVY G., NYS C., & SOUCHIER B., 1979.— Effets de boisements résineux purs sur l'évolution de la fertilité du sol. *Rev. For. Fr.*, 30 : 1-3.
- BOUCHON J., FAILLE A., LEMEE G., ROBIN A. M., & SCHMITT, A., 1973.— *Cartes et notice des sols, du peuplement forestier et des groupements végétaux de la réserve biologique de la Tillaie*. 3 cartes : 12 pages.
- BOURNERIAS, M., 1979.— *Guide des groupements végétaux de la région parisienne*. Soc. d'édition Ens. Sup. CDU : 509 p.
- COCHET, J., 1958.— Contribution à l'étude d'une sylviculture du chêne de qualité. *Rev. For. Fr.*, 5 : 313-326.
- DOIGNON P., 1948.— Le mésoclimat forestier de Fontainebleau. *Centre régional de recherches naturalistes* : 19-142
- DOMET P., 1873 réédité en 1979.— *Histoire de la Forêt de Fontainebleau*. Laffite Reprints Marseille.
- DUCHAUFOR, Ph., 1986.— La typologie des stations forestières : utilisation des données de la pédologie. *CR. Acad. Agric. Fr.*, 72 : 883-891.
- DUCHAUFOR, Ph., 1989a.— Pédologie et groupes écologiques. I. Rôle du type d'humus et du pH. *Bull. Ecol.*, 20, 1, p. 1-6.
- DUCHAUFOR, Ph., 1989b.— Pédologie et groupes écologiques. II. Rôle des facteurs physiques : aération et nutrition en eau. *Bull. Ecol.*, 20 : 99-107.
- DUCHAUFOR, Ph., 1989.— Rôle des facteurs biochimiques et chimiques du sol dans la nutrition des espèces forestières. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 75 : 3-10.
- JACQUIOT, C., 1983.— *Ecologie appliquée à la sylviculture*. Gauthier-Vilars, Bordas : 184 p.

- MOIROUD, A., 1991.— La symbiose fixatrice d'azote. *Bull. Vulgaris. forest. idf.*, 75 : 3.
- RAMEAU, J.-C., MANSION D., DUME G., 1989.— *Flore forestière française, I. plaines et collines*. Inst. Dév. For. Paris, 1783p.
- RAMEAU, J.-C., 1984.— *Typologie des stations forestières*. Concepts et méthodes. ENGREF, 64p..
- ROBIN, A.M. & DE CONINCK F., 1975.— Interprétation génétique d'un horizon pédologique profond ferroargillique en forêt de Fontainebleau. *Science du Sol*, 3 : 213-228.
- ROBIN, A.M., 1981.— Genèse et évolution des sols podzolisés sur affleurements sableux du Bassin Parisien. I Rôle du matériau II. Analyse des complexes organo-minéraux. *Science du Sol*, 4 : 315-329 et 331-345.
- ROBIN, A.M., GUILLET, B. & DUCHAUFOR Ph., 1983.— Ecologie des podzols du Bassin Parisien : exemples en forêts de Fontainebleau et Villers-Cotterets. *Revue Forestière Française*, 35 : 35-46.
- ROBIN, A.M., 1984.— Rôle de la pureté des sables ou de leur recharge en éléments fins altérables dans la pédogenèse podzolisante. Niveau d'intervention de la végétation. Ouverture sur les applications forestières. *Bull. Inf. Géol. B Paris*, 21.
- ROBIN, A.M., 1990.— Les sols sur sables soufflés de la forêt de Fontainebleau... et leur fragilité. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 137, Lettres bot. (2/3) : 211-220.
- ROBIN, A.M., 1993.— *Catalogue des principales stations forestières de la forêt de Fontainebleau*. ONF/Université P. & M. Curie.
- SILVY-LELIGOIS, P., 1949.— Les problèmes de la régénération dans les hêtraies normandes. *Rev. For. Fr.*, 9-10 : 426-434.

ENGLISH ABRIDGED VERSION

The ecologic diversity as well as the soil fragility of the Fontainebleau forest pointed out it as a good subject of actual forest research : therefore a catalogue of the forest of Fontainebleau has been realized (ROBIN 1993). This work, carefully presented (52 colour plates for easier recognition of soils, book with thumb index for a rapid access to soils in the different forest zones) takes in consideration the ecologic conditions, and the potentiality of production, to well answer to both aims of this type of study, basic and applied.

The first part about the natural environment presents rapidly the sedimentary geology, with calcareous plateaus, sandstone flat hills, stampien sandy slopes, plains based on others limestones - the whole recovered by a sandy formation, blown out at Quaternary, more or less thick and more or less enriched in fine particles (clays and loams proceeding from the chalk weathering). The climate has thermic extremes more marked as those of Seine basin, and a climate deficit (ETP-P) of 182 mm ; the wind action is sometimes baneful for trees and for the forest production.

About the vegetation, the principal tree species are mentioned as their opportunity for Fontainebleau. Then the limits of the indicator role of the herbaceous layers are explicated : the potentiality of sites cannot be systematically disclosed by the herbaceous layers ; the latter (besides it is often absent in these acid soils) expresses only conditions of the first fifty centimeters. The possible depth soil with more rich layers does not appear in surface... except in the height of trees. Consequently, the key of determination must be naturally pedologic.

Relating to the soils, a survey of pedogenesis about sedimentary rock recalls the influence of more watered climate during Quaternary periods for decarbonation, eluviation, and even podzolization - it also recalls the importance of the progressive acidification of soils, which is still going on. After the method of transect investigation, the diagnostic characters are shown. The three main characters are : the effervescence and his level of appearance, the texture and the soil thickness. Both of the last characters directly influence the useful water reserve (RU), on which depends the height of trees. The humus type can be considered like a diagnostic character, still with carefulness (conifer litter, generating a mor soil, can mask a rich and/or thick soil). The presence of stains and/or rusty or black concretions permits the recognition of hydromorphic sites.

The second part presents the regrouping of sites (80) in 8 geomorphologic zones. The blown out sands, borne of the stampien sands and enriched in ferromagnesian clay (impurities of weathered chalk) are more or less thick and constitute most of the sites on plateaus, plains and slopes with :

- thin or little thick deposits of blown out sands ;
- more or less thick deposits of blown out, more or less loam, sands.

Other slope sites are distinguished :

- stampien sands of slopes and sandstone chaos landscapes ;
- and zones of different terraces :
- Fv of North-North-East ;
- Fv of North-North-Western ;
- Fw and Fx ;
- Fy recent alluvion of Seine ;
- and lastly zones of stampien marls.

The conclusion presents the distribution table of tree species in relation with pH and water reserve.

After a reminding of vegetation indicator role with limits, the soil importance is recalled :

- the basic key of the catalogue sites is pedologic ;
- the small richness of blown out sands (constituting most of the sites) must be protected, especially calling attention to :
- mixing of varying species of broadleaf trees ;
- accompanying with broadleaf trees for all conifer plantations, in addition nitrogen fixing species ;
- control of conifers, to avoid their too large extension.