

biologie et forêt

SUR LA FORÊT DE FONTAINEBLEAU...

L'aménagement de la forêt de Fontainebleau présente les difficultés que l'on rencontre dans tous les grands massifs, durée des études de terrain, volume des données, ... Ces difficultés sont ici accrues par la complexité du milieu et ... "sublimées" par la haute valeur patrimoniale du site.

Il importe donc que l'aménagiste "multiplie les éclairages" lors de l'analyse, pour pouvoir valablement estimer les enjeux et réaliser ensuite les meilleurs choix.

Parmi les éclairages nécessaires, le catalogue des stations figure en bonne place. Sa réalisation a été confiée à Anne-Marie Robin, maître de conférences à l'Université Pierre et Marie-Curie à Paris, pédologue connaissant fort bien le massif, terrain de sa thèse et de nombreuses publications. À l'issue de son travail, Mlle Robin conclut au rôle primordial du substrat dans la différenciation des stations. Le forestier de terrain, utilisateur du catalogue, se formera donc aux particularités des sols de Fontainebleau. En bon pragmatique, il ne se privera pas non plus de noter les plantes qui pourront lui indiquer rapidement, par exemple, l'affleurement du calcaire ou la présence de l'hydromorphie.

Ce que le gestionnaire attend de l'analyse des stations, c'est avant tout une connaissance précise des contraintes et des potentialités de chaque type de station. Les informations détaillées fournies par Mlle Robin à Fontainebleau permettront de répondre à cette exigence. Le forestier pourra donc faire dériver, de la carte des stations, diverses cartes de mise en valeur, comme celle des essences objectif.

Restera à l'aménagiste, en dernier ressort, à intégrer ces connaissances avec toutes celles qu'il aura recueillies, si nombreuses et si diverses à Fontainebleau, dans un plan d'aménagement synthétique.

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS

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 aujourd'hui

Plus continental que le climat séquanien moyen (celui de la grande région), il ne se compare guère aux nombreux climats forestiers souvent modérateurs et régulateurs. L'étude réalisée par Doignon (1948), et continuée depuis lors, apporte de nombreuses précisions :

— Les températures se singularisent par des extrêmes (juillet, février) plus marqués qu'en climat séquanien, surtout en hiver. Des gelées précoces ou tardives peuvent sévir ; et les froids extrêmes survenant une à deux fois par siècle provoquent des désastres dans les peuplements. Les effets des extrêmes thermiques maxima dépendent de leur durée, et de la réserve en eau. L'équilibre saisonnier se manifeste par l'apparition assez subite de l'été qui se prolonge en septembre, par un printemps et un automne assez courts, un hiver précoce, rude et tenace.

— La pluviosité de 722 mm montre un excès de 17 % (sur la pluviosité séquanienne), surtout remarquable entre octobre et mars. Les orages sont rares, mais alors importants.

— L'hygrométrie de 76,7 % en moyenne convient très bien au Hêtre.

— Les vents essentiellement du sud-ouest et du nord-est peuvent atteindre une violence catastrophique pour le peuplement. Le désastre de février 1990 a mis en évidence la sensibilité plus forte des Hêtres et des Pins par rapport aux Chênes. Rappelons que Doll (1988) envisage un certain nombre de mesures préventives en prévision des cataclysmes météorologiques en forêt, en particulier des étagements progressifs en hauteur pour éviter les effets des limites brutales des peuplements de futaie régulière, forme très exposée aux méfaits des tempêtes.

— La réserve utile, estimée en moyenne à 100 mm, se reconstitue entre octobre et décembre. Elle est, en réalité, très variable puisqu'elle dépend de la texture et de l'épaisseur du sol. Un essai d'évaluation a été fait pour chaque station.

— Le drainage climatique, constitué par l'excédent ultérieur à la réserve, se répartit sur cinq mois d'hiver, permettant les migrations descendantes responsables du processus de lessivage ou accompagnant celui de la podzolisation.

— Le déficit estival détermine un handicap pour la végétation pendant deux grands mois. Le déficit climatique ($ETP - P = 182$ mm) est intéressant à comparer à la réserve utile.

En conclusion, les extrêmes thermiques, la pluviosité, l'hygrométrie, le déficit climatique, l'existence de sécheresse étalée sur plusieurs années consécutives, la force possible des tempêtes sont des facteurs importants à considérer pour le choix des espèces.

La géologie dans le temps

Les roches formées hier sont à l'origine des sols d'aujourd'hui... donc à l'origine des potentialités offertes à la forêt. Texture et richesse minérale interfèrent : par exemple, si les épaisseurs de sable sont vouées à "l'entraînement" de certains éléments, la présence ou la proximité du calcaire peut inhiber, freiner ou bloquer ce processus.

● **Les formes du relief**, nettes, avec les remarquables alignements ouest-nord-ouest — est-sud-est révèlent :

— les "Monts" des plateaux de calcaire d'Étampes et les "Buttes" de platières de grès vers les 130 m d'altitude ;

— les "Plaines" surmontant souvent le niveau du calcaire de Brie vers les 90 m, voire 80 m. Certaines de ces plaines présentent des accumulations de grèzes (cailloutis calcaires et sables d'origine périglaciaire) ;

— les pentes intermédiaires sur la formation des sables stampiens ;

— quelque falaises à l'est de la forêt, là où la Seine a entaillé le calcaire de Champigny ;

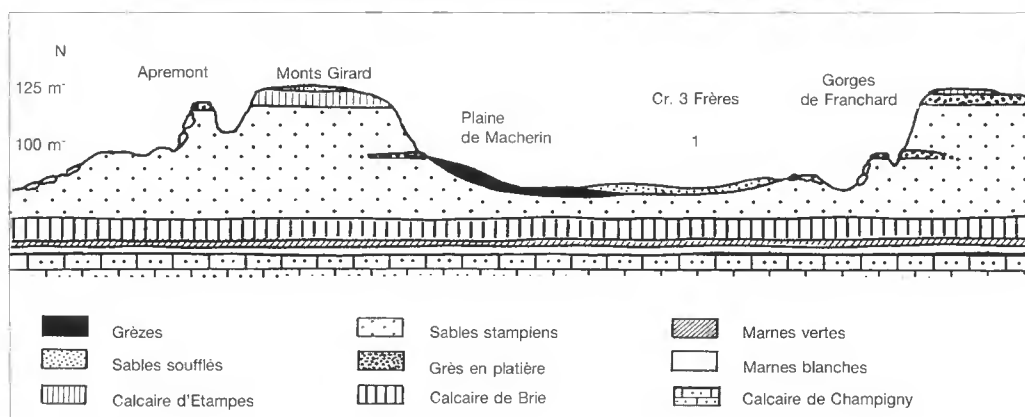
— quelques terrasses successives laissées au nord par la Seine.

L'observation du relief peut aider à ébaucher la cartographie des stations.

Par ailleurs, les formes du relief sont à prendre en considération dans la mesure où elles influent sur l'impact du climat, en particulier sur l'écoulement des vents : la répétition des méfaits des tempêtes, en certains points précis, est un signe à ne pas négliger.

● **L'histoire géologique**, précisée dans le catalogue depuis le début du Tertiaire, rappelle le caractère sédimentaire de la région et la succession des calcaires, des marnes, et des sables (figure 1, ci-dessous) jusqu'au Quaternaire, dont les périodes froides ont été ici marquées par des conditions périglaciaires.

Figure 1 **COUPE GÉOLOGIQUE D'UN PAYSAGE TYPIQUE À FONTAINEBLEAU.**
Les sables soufflés recouvrent en réalité tous les plateaux, les plaines, et les pentes souvent.



● **Les sédiments 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 sur la différenciation des stations forestières. En partant de la surface :

• *Les "sables soufflés" constituent la roche-mère la plus fréquente*

Ce sont des sables stampiens remaniés par le vent, et plus ou moins "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.

La "proportion" de particules fines est variable : souvent 5 à 10 % vers le centre de la forêt, 20 à 40 % vers la pointe nord-nord-ouest et sur la frange méridionale. Les différences de teneur déterminent des niveaux différents de potentialité.

Par ailleurs, la "nature" des particules fines a un grand rôle dans l'enrichissement des sables soufflés, dû en particulier à la composition ferromagnésienne des argiles issues de l'altération des calcaires (impuretés libérées... soufflées) (Robin et de Coninck, 1975).

Même si la quantité de particules fines est faible, la présence de fer et de magnésium offre aux arbres un avantage qu'il est très important de sauvegarder.

L'épaisseur de la formation soufflée est très variable (quelques centimètres à 4 mètres). Elle constitue la roche-mère de presque tous les sols de la forêt (du sol brun calcaire aux différents types de

podzols). La formation soufflée peut être très épaisse au centre des plateaux, ou dans des zones déprimées par l'érosion avant le dépôt : il existe alors souvent des niveaux profonds enrichis en argiles et limons, suite à dépôts hydroéoliens. Par ailleurs, des formations dunaires sont repérables par leur relief dans le paysage.

L'épaisseur des 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.

Le cartographe pourra trouver des superpositions de profils pédologiques avec A₁ enterrés témoignant de soufflages successifs, datant du Würm ou du Tardiglaciaire (Robin, 1974).

• *Le matériau sablo-graveleux issu de l'altération du calcaire d'Étampes est très souvent présent ; il apporte une réserve de cations Ca⁺⁺*

Situé essentiellement sur les plateaux à la base des sables soufflés et au sommet du banc calcaire, il peut aussi se trouver sur les pentes ou dans les plaines de grèzes.

Les graviers calcaires de 0,5 à 1 cm sont accompagnés de sables dont la charge relative en limons et argiles ou en poudre calcaire détermine la teinte jaune à brun-dorée... ou blanche. De la proportion de fines par rapport aux sables dépend aussi la possibilité d'une bonne rétention en eau ou, au contraire, le caractère très sec de la formation comme c'est le plus souvent le cas dans les plaines où les grèzes ont pu être exploitées parfois sur quelques mètres. Des figures de cryoturbation sont parfois visibles dans ces carrières. Sur les plateaux, l'épaisseur, éventuellement supérieure à 1 ou 2 m, est plus fréquemment de 20 à 30 cm avec une charge en fines qui est une source de cations variés pour les solutions nutritives.

Les pentes stampiennes peuvent présenter un panachage de sédiments, dû au transport, en condition périglaciaire, de coulées boueuses de ce matériau sablo-graveleux calcaire : celui-ci peut former des lentilles intermédiaires parfois responsables de certains bossellements de la couverture soufflée surimposée.

Pouvant avoir parfois le rôle de roche-mère dans le cas où l'apport soufflé est mince ou peu épais (rendzines et sols bruns calcaires et calciques des bords de plateaux ou des plaines de grèzes), ce matériau d'altération se trouve plus souvent en situation sous-jacente, par rapport aux sables soufflés plus épais (à rôle de roche-mère), et il n'a alors qu'un rôle de 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.

• *Le calcaire d'Étampes*

Il est presque toujours surmonté par son matériau d'altération. Parfois cependant, le sol est directement installé sur les blocs ou les plaquettes du banc ; les racines s'insèrent alors pour exploiter les lits marneux intermédiaires à disposition variable : seule la mémoire du forestier, consignée dans des archives, peut permettre de ne pas perdre l'information des performances possibles pour les arbres — *a fortiori* ici.

Rappelons que ce calcaire est à l'origine de la recharge en argiles ferromagnésiennes du soufflage sableux éolien, et bien sûr des ions calcium, suite à son altération.

• *Les sables stampiens (dits "de Fontainebleau")*

L'épaisseur de ces sables (≈ 50 m) détermine les versants les plus fréquents de la forêt : souvent recouverts de chaos gréseux issus de la fracturation de la platière... ils ne présentent alors aucun intérêt pour la sylviculture mais offrent par contre un paysage très apprécié en tant que tel. Lorsque

ces versants sont sableux et que leur surface n'a subi qu'une reprise ultra locale par le vent, le stampien essentiellement siliceux (quartz et kaolinite) porte des podzols humiques, éventuellement tronqués et redoublés. Mais, les pentes peuvent être recouvertes de sables soufflés typiques enrichis en fines, lessivés ou polyphasés.

- *Le calcaire et la meulière de Brie*

Cette formation (≈ 10 m) aux faciès variables (calcaires... silicifiés, marneux ou argileux) est à la base des plaines (sous une couverture de sables soufflés) et constitue le réservoir de la nappe la plus élevée à Fontainebleau.

- *Les marnes vertes et les marnes blanches*

Sur 4 à 10 m, avec des intercalations de marno-calcaire, de calcaire et d'argile verte, elles retiennent la "nappe du calcaire de Brie" en apportant une certaine richesse magnésienne.

- *Le calcaire de Champigny*

Très rare en forêt, il se trouve à proximité de la Seine, en lisière de la forêt.

- *L'exception des formations récentes : les terrasses, formations alluviales de la Seine*

Elles représentent une surface assez restreinte au nord-nord-est et au nord-nord-ouest de la forêt :

- la très haute terrasse Fv, souvent caillouteuse, sur une argile sableuse présente une nappe perchée pendant la moitié de l'année... et une certaine hydromorphie des sols sous-jacents. Cette hydromorphie est à l'origine de la formation de la croûte pédologique enchâssant d'énormes concrétions coalescentes noires de fer et de manganèse ;

- la haute terrasse Fw, très caillouteuse, a des sols souvent filtrants, secs et acidifiés de même que la moyenne terrasse Fx ;

- la basse terrasse Fy, la plus récente, a un matériau "silico-calcaire" assez riche.

Le sol : substrat de croissance et lieu de la pédogenèse

- ***Le sol, lieu d'ancrage des arbres où ils trouvent leur subsistance***

La caractéristique de Fontainebleau tient à la fréquence de la **texture sableuse** qui facilite les migrations (qu'elles appartiennent à un lessivage ancien ou à une récente podzolisation) et accuse des contrastes très nets entre les horizons éluviaux (A_2) et les horizons illuviaux (Bt, Bh, Bs).

La nature minéralogique des formations sableuses détermine par ailleurs la sylviculture :

- les "sables stampiens" essentiellement quartzeux sont très pauvres en argiles ; la kaolinite est bien peu favorable, son altération ne libérant que des ions Al^{+++} acidifiants et toxiques ;

- les "sables soufflés" contiennent un cortège plus varié d'argiles, en particulier ferromagnésiennes (chlorite-vermiculites, smectites) issues des impuretés du calcaire. Cette "richesse relative" en cations permet des solutions plus nutritives pour les arbres.

Les structures sont souvent particulières en A_2 et même en A_1 . La porosité et l'aération sont habituellement assez fortes, ce qui facilite le drainage, orientant la pédogenèse vers le lessivage ou la podzolisation selon le pH du sol. Les sols de Fontainebleau très rarement "structurés" de manière "équilibrée" sont sensibles au tassement, lui-même préjudiciable à la croissance racinaire des arbres. La nécessité d'une très grande précaution pour les travaux du sol n'en est que plus évidente.

Le nord-nord-ouest de la forêt se différencie très nettement par des sols plus chargés en limons et argiles. Dans ce cas particulier, l'eau des précipitations crée 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 où la toxicité du Fe^{++} s'ajoute à celle de Al^{+++} .

Les nappes "permanentes" des gleys, dont le niveau varie avec la saison, 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 m), leur utilité est alors incontestable, car l'ascension capillaire de l'eau permet l'alimentation des arbres.

De manière générale à Fontainebleau, les sols sont très pauvres en K^+ et $H_2PO_4^-$ au point que M. Bonneau conseille un apport de phosphates naturels. Les oligo-éléments bore, molybdène, fer, zinc, manganèse, cuivre sont à l'état de traces.

Par ailleurs, l'abondance d'ions H^+ (souvent liée au type d'humus) diminue l'activité biologique, et la fréquence d'ions Al^{+++} détermine une toxicité que les résineux supportent plus facilement que les feuillus, sauf lorsque le rapport Al/Ca atteint 4 ou 5 : l'excès d'ions Al^{+++} intoxique alors presque toutes les espèces forestières (Ulrich, 1983).

L'eau utile permet la nutrition en eau des plantes. Lorsque $ETP > P$, les arbres utilisent les réserves précédemment reconstituées en saison arrosée.

Suite au problème de l'alimentation des arbres pendant la saison sèche, des essais de quantification de cette réserve ont été proposés par Belgrand (1978) pour la forêt de Marly et Belgrand et Duchaufour (1980) 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 lœssiques 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 des horizons intéressants et du sol entier 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 est primordial : les évaluations établies pour chaque sol sont un essai restant une approximation. Celle-ci, comparée à la valeur du déficit climatique estival ($ETP - P = 182$ mm) de Fontainebleau, permet cependant d'estimer comment la réserve compense le déficit.

● *Évolution du sol, processus pédogénétiques et principaux types de sols à 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, 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. Les divers processus géochimiques et pédogénétiques se retrouvent ainsi liés aux types de sols :

• La *décarbonatation* (dissolution des carbonates) a permis la libération des impuretés (argiles, oxydes de fer) des calcaires d'Étampes, de Brie et de Champigny. Les produits résiduels ainsi formés ont pu par la suite être mélangés à des souffrages de sables et/ou se trouver à l'état de boues, d'où l'irrégularité éventuelle du matériau d'altération.

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* (perte d'ions Ca^{++} du complexe absorbant, en milieu non calcaire) provoque la désaturation conduisant très rapidement, à Fontainebleau, vers l'acidification.

Cependant les sables soufflés pouvant être le plus souvent rechargés en Ca par le cycle biogéochimique, grâce à la présence d'un calcaire sous-jacent (Étampes ou Brie), c'est un appauvrissement — plutôt en autres bases et en fer — qui fait baisser le capital total de la réserve des sols de cette forêt. Bonneau *et al.* (1979) signalaient déjà ce risque.

- *La brunification (formation de sol brun)* ne peut se réaliser que s'il existe assez d'argiles dans le profil et si l'altération, plus forte en surface, équilibre les pertes par entraînement.

Or, à Fontainebleau, la faible teneur en argiles empêche cette compensation, ce qui explique la rareté des sols bruns eutrophes et bruns mésotrophes dans la forêt : le stade sol brun typique est particulièrement fugace, et le passage de la décarbonatation au lessivage est rapide.

- *Le lessivage* se manifeste par un contraste très net entre l'horizon A_2 éclairci (niveau appauvri) et l'horizon Bt ocre (niveau enrichi) à cause de la nature sableuse et quartzreuse des sols, particulièrement sensible à la moindre charge en fer.

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. Ils sont très représentés à Fontainebleau, où le matériau sableux a facilité le processus.

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 modifier 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.

À la base de l'horizon Bt existent bien souvent une bande ou des poches plus argileuses et de couleur plus dense formant un "β" qui correspond à un niveau de décarbonatation, vraisemblablement formé à découvert avant le dépôt des sables soufflés ; ce processus peut continuer aujourd'hui en profondeur sous les sables (Robin et de Coninck, 1975). 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 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 et d'hydrate ferrique.

Dès que l'acidification existe ($\text{pH} \approx 4,5$), le devenir des produits organiques de décomposition change, les agents de leur insolubilisation étant insuffisants.

→ l'évolution bascule alors vers la podzolisation.

- *La podzolisation*, très fréquente à Fontainebleau, apparaît sous des formes diverses.

Tout d'abord, la "nature des sables" détermine le type de "différenciation" des podzols :

- humiques (Bh) sur sables stampiens essentiellement quartzeux,
- humoferrugineux (Bh + Bs) sur sables soufflés pourvus en argiles ferromagnésiennes.

D'autre part, "l'intensité du processus" provient de la "nature de la végétation" : ainsi, la podzolisation est d'autant plus forte que le type de végétation est acidifiant, pauvre en azote, comme les conifères et la Callune, dont la quantité d'hydrosolubles libérés est très importante. Les horizons d'accumulation organo-minérale Bh et Bs formés sont alors indurés ou cimentés, et de couleur foncée.

La formation de podzols sous feuillus (Chêne et Hêtre) donne des horizons peu accentués : le Bh est seulement rosé ou brun rosé 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 ocre podzoliques — très fréquents à Fontainebleau).

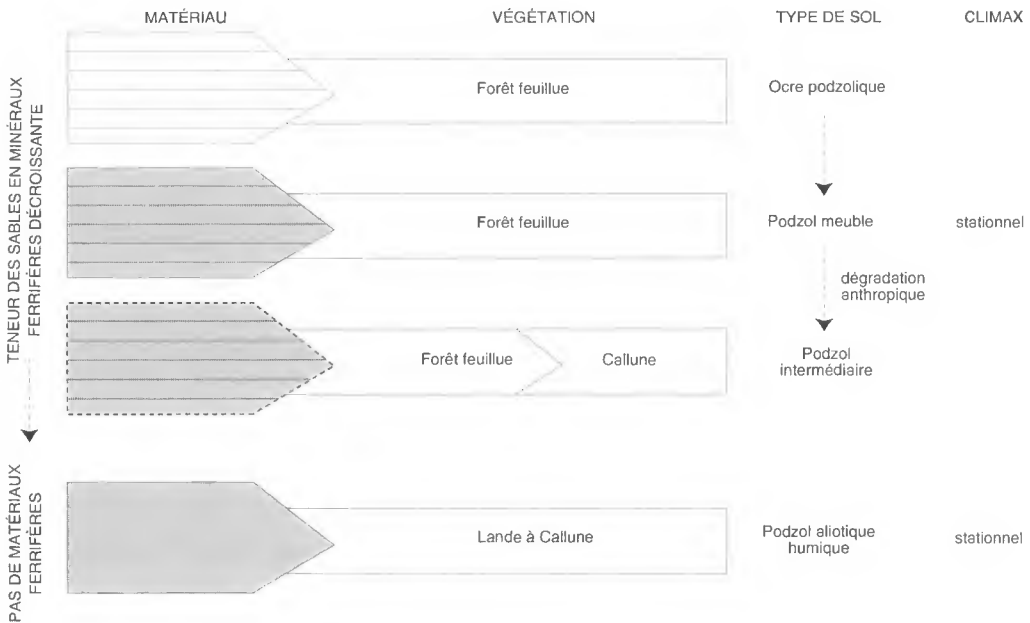
Il faut préciser que le cas le plus général — où les sables stampiens présentent des podzols à alios humique induré et où les sables soufflés présentent des podzols humoferrugineux meubles — n'est pas sans exceptions.

En effet, des podzols humoferrugineux peuvent exister sur sables stampiens si ceux-ci contiennent du fer — et des podzols aliotiques (Bh et Bs indurés) peuvent se trouver sur sables soufflés si la végétation des époques de leur formation était acidifiante.

D'autre part, toujours sur sables soufflés, la podzolisation s'est pratiquement toujours 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 Bt du sol lessivé.

La figure 2 (ci-dessous) illustre la relation du degré d'évolution, ou de la différenciation des sols podzolisés avec le matériau et avec la végétation (Robin, 1979, 1981, 1983, 1984, 1990). 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.

Figure 2 **RELATION ENTRE LE DEGRÉ D'ÉVOLUTION ET DE DIFFÉRENCIATION DES SOLS PODZOLISÉS AVEC LE MATÉRIAU ET LA VÉGÉTATION**



- *L'hydromorphie* (avec concrétions rouille ou noires) apparaît au nord de la forêt, et sinon très ponctuellement à Fontainebleau.

Il s'agit de sols lessivés hydromorphes marmorisés, ou à pseudogley, ou glossiques, voire planosoliques sur substrat limono-sableux des terrasses du nord-nord-ouest de la forêt. La nappe perchée temporaire 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 Évées présente des sols semblables, dont les types intermédiaires ou intergrades sont variés ; mais ils reposent tous sur des gleys dus à l'accumulation d'argiles sur les marnes retenant une nappe profonde permanente à laquelle peut s'ajouter une nappe perchée temporaire.

La végétation ancienne et actuelle

● *L'évolution postglaciaire de la végétation*

Elle fut essentiellement liée aux diverses modifications climatiques ; et les dominances successives d'espèces ont représenté des climax différents : graminées, toundra au Tardiglaciaire, Pin et Bouleau au Préboréal, Noisetier au Boréal. Puis, à partir de l'Atlantique, Pin, Bouleau et Bruyères sont reconnus sur les sols les plus pauvres, tandis que sur sables soufflés c'est la chênaie mixte... qui est remplacée au Subboréal par le Tilleul recrudescant et le Chêne. Le Hêtre apparaît pour dominer au Subatlantique avec le Noisetier, accompagné de Charme et de Tilleul. L'Actuel voit la dominance du Chêne et du Hêtre.

● *L'évolution historique de la forêt*

L'observation de G. Lemée (1990) sur les successions évolutives se trouve confirmée par la datation et la détermination de charbons de bois trouvés dans une réserve intégrale : une chênaie au VIII^e siècle (Jacquot *et al.*, 1973) est remplacée par la hêtraie qui se maintient (palynologie Guillet et Robin, 1972). Le cumul de plusieurs facteurs écologiques peut cependant à notre avis induire le remplacement inverse du Hêtre par le Chêne, comme nous avons pu le constater à Villers-Cotterêts.

Par ailleurs, l'homme a introduit les Châtaigniers à l'époque gallo-romaine... les Pins maritimes en 1790 (souvent morts lors du froid terrible de l'hiver 1879)... les Pins sylvestres en 1786 (qui ont une extension colonisatrice trop importante aujourd'hui)... des greffes de Laricio en 1822... des Douglas en 1935... ainsi que de nombreux essais ponctuels.

● *Les groupements végétaux actuels*

Ceux qui ont été reconnus par Bournerias en 1979 pour l'ensemble de la région parisienne se retrouvent ici. Leur répartition peut se schématiser à l'extrême :

- la Bruyère sèche sur podzol (groupement 54) occupe les paysages stampiens de sables et grès. Des peuplements de résineux (groupement 68) peuvent succéder à cette lande ;
- à l'opposé, la chênaie pubescente (groupement 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 (groupement 65) permet aux sols peu épais de sables soufflés de garder la fraîcheur ;
- la chênaie-charmaie (groupement 60) peut se trouver sur sables soufflés peu épais, carbonatés au moins en partie ;
- la chênaie-frénaie (groupement 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 (groupement 62) et de la chênaie sessiliflore oligotrophe (groupement 67) sur sols brunifiés, lessivés ou podzolisés ;

— la chênaie pédonculée oligotrophe à Molinie se situe dans la partie nord-nord-ouest de la forêt sur les sols sablo-limoneux hydromorphes.

● *Les espèces socio-écologiques indicatrices*

Elles sont liées aux conditions écologiques régies par deux facteurs principaux :

— sécheresse-humidité (xéro-hygro) ;

— pH (acidophile à calcicole en passant par neutro(nitro)phile). Les suffixes "cline", "phile" et "cole" correspondent respectivement à une tendance, une exigence et une fréquence sans exigence.

Nous avons utilisé les groupes reconnus dans la *Flore forestière française* de Rameau *et al.* (1989), en réunissant seulement quelques types d'espèces. Nous avons distingué :

— 1. *Espèces xérophiles et mésoxérophiles* (à large amplitude trophique) des sols superficiels secs, sur substrats calcaires ou même siliceux. Certaines de ces espèces sont souvent associées au groupe suivant sur versant Sud des plateaux. Le Chêne pubescent est le seul arbre très fréquent ; il peut se rencontrer sur sables stampiens en paysage de chaos de grès, plutôt exposés au sud, où la sécheresse du sol sableux explique sa présence — habituellement plus fréquente sur sols minces calcaires. La fréquence du Fragon s'explique aussi par la sécheresse.

— 2. *Espèces xérophiles et mésoxérophiles calcaricoles et calcicoles* des sols secs riches en calcaire actif ou au moins en calcium. Le Chêne pubescent est encore très fréquent, accompagné assez rarement par l'Alisier "de Fontainebleau". Le Rosier des chiens, la Filipendule, le Géranium sanguin, la Germandrée scorodaine sont fréquentes. La Bourdaine peut exister, en écotype seulement et pas spécialement fréquente.

— 3. *Espèces neutrocalcicoles et calciclinales* des sols riches en cations ou faiblement désaturés... avec l'Érable champêtre fréquent, le trio très fréquent de l'Aubépine monogyne, du Troène et du Prunellier tout à fait caractéristique de la proximité du calcaire (40 à 50 cm) et parfaitement indicateur. L'Euphorbe petit cyprès est très fréquente et le Brachypode penné fréquent.

Ces trois premiers groupes présentent :

— un gradient quant au caractère xérique, lié non seulement à l'exposition mais aussi au sylvofaciès 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.

— 4. *Espèces neutroclinales* sur sols bruns lessivés peu épais. Les espèces très fréquentes sont la Mélisse uniflore, le Fragon, le Brachypode des bois, la Fétuque hétérophylle et le Lierre. L'Érable sycamore, le Charme, le Coudrier, la petite Centaurée, la Fougère mâle, l'Euphorbe amygdaloïde, le Fraisier sauvage, le Millepertuis commun, le Lamier jaune, le Pâturin des bois, le Sceau de Salomon multiflore, la petite Pervenche et la Violette des bois sont fréquentes.

Parmi ces espèces neutroclinales, certaines peuvent se trouver associées aux 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.

— 5. *Espèces à très large amplitude* à valeur indicatrice limitée. Elles sont très nombreuses. L'Aubépine monogyne — le plus habituellement indicatrice calcicole — peut aussi se trouver sur sols acides des terrasses. Le Houx a plutôt à Fontainebleau un caractère acidophile.

— 6. *Espèces neutronitroclines* sur sols saturés et assez riches en azote. Le Frêne, l'Arum tacheté, le Géranium Robert sont fréquents. Elles peuvent se rattacher à :

— 7. *Espèces neutronitrophiles hygroclines et hygrosциaphiles*, sur sols riches et frais. Frêne, Gaillet gratteron sont fréquents.

— 8. *Espèces acidiclinales* de mull mésotrophe... sur sols légèrement désaturés. Tremble, Millet diffus sont fréquents.

— 9. *Espèces acidiclinales* de mull oligotrophe sur sols lessivés à podzolisés. Le Calamagrostis épigelös est très fréquent, le Chèvrefeuille fréquent.

— 10. *Espèces acidiphiles à large amplitude* telles que la Fougère aigle et le Polytric élégant sont "très" fréquentes. Le Genêt à balai fréquent.

— 11. *Espèces acidiphiles de moder* sur sols lessivés néopodzolisés à podzoliques. Agrostide vulgaire, Laîche à pilules, Canche flexueuse, Mélampyre des prés (dont un écotype plus rare existe en groupe 3), Germandrée scorodaine, Violette des chiens, Dicranelle et Dicrane sont fréquentes ; parmi les hygroclines, la Bourdaine est fréquente et la Molinie bleue très fréquente.

— 12. *Espèces acidiphiles de dysmoder et de mor* des sols lessivés néopodzolisés et des podzols. La Callune très fréquente caractérise les paysages de sables stampiens. La Mousse Leucobryum est fréquente.

— 13. *Espèces mésohygrophiles* des sols \pm hydromorphes. La Molinie bleue, grande indicatrice d'humidité des sols acides, en espaces clairiérés, et supportant néanmoins la dessiccation, est très fréquente. Tremble, Eupatoire sont fréquents.

— 14. *Espèces hygrophiles des sols hydromorphes*. On retrouve la Bourdaine, assez fréquente.

Parmi toutes les espèces indicatrices, deux particulièrement fréquentes peuvent être caractéristiques de milieux extrêmes : la Germandrée calcicole mésoxérophile peut être également acidiphile de moder, et le Mélampyre plutôt acidiphile de moder est parfois calcicole : c'est encore le caractère de sécheresse du sol qui en est responsable.

● *La flore... une clef pour la détermination ?*

Les groupes d'espèces socio-écologiques indicatrices révèlent incontestablement des milieux différenciant 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 permet évidemment une première approximation du milieu par une reconnaissance rapide des différents secteurs du milieu : acides, carbonatés, et hydromorphes.

Les extrémités de plateaux et le haut des pentes montrent souvent une mosaïque végétale due au déversement, en condition périglaciaire, de poches plus ou moins gelées de "matériau d'altération du calcaire d'Étampes". Le cortège végétal s'avère être là un véritable traceur révélant les limites précises du passage entre les sols sableux épais et pauvres (à Callune) et les faibles épaisseurs sur calcaire, parfois carbonatées (à végétation calcicole, en particulier le trio arbustif Aubépine, Troëne et Prunellier).

Cependant, force est de constater que le milieu acide sur sables (la plus grande partie de la forêt) détermine le plus souvent la rareté de la flore : 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.

À Fontainebleau, la végétation ne peut donc pas être la clef de détermination des stations forestières.

CARACTÈRES DIAGNOSTIQUES POUR UNE CLEF DE DÉTERMINATION

La végétation ne permettant pas de reconnaître les différences qui existent au niveau des sols et qui déterminent des stations forestières diverses, la clef de détermination est donc, à Fontainebleau, "pédologique". Les potentialités que le sol offre aux arbres pour leur croissance relèvent incontestablement d'une grande complexité... pourtant basée sur quelques facteurs simples. Ceux-ci sont donc responsables de la "réponse de la forêt" et fournissent ainsi des critères de détermination ou caractères diagnostiques :

- Étant donné le **rôle du calcium** dans la pédogenèse, 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 :

Tableau I

Profil	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 calcique	Brun méso et BL	Lessivé	Podzolisé/lessivé	Sols initiaux acides	Sols lessivés et podzolisés
Épaisseur :								
• faible	•	•	•	•			•	
• moyenne (< 1 m)				•	•	•		•
• forte (1 à 2 m) . .					•	•		•
• très forte (2 à 4 m)						•		•
Taille maximale des arbres	< 20 mètres			variable / épaisseur sol			variable / sédiment et épaisseur	

Il existe une relation permanente entre la présence de CO₃Ca 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 CO₃Ca 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 carbonaté profond.

- **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.

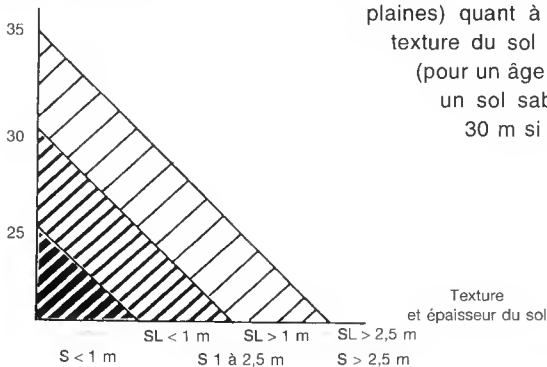
Cette présentation oriente sur les secteurs géographiques de la forêt, très différents en particulier par leur qualité hydrique.

Tableau II

Ensemble du profil	Type de texture							
	(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
État hydrique	hydromorphie perm. / tempor.		± frais / ± sec selon l'épaisseur		très sec	très sec	très sec	altern sec et hydrom.
Localisation	nappe/arg. marnes	zone Évées et NNW	s.sfflés/IIC/calc des plateaux et des plaines		Stamp.	Plaines grèzes	Terrasses	

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

Hauteur des arbres d'âge semblable (m)



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 (pour un âge adulte équivalent) restent inférieurs à 25 m sur un sol sableux de 90 cm, tandis qu'ils atteignent 25 à 30 m si la même épaisseur est un sable limoneux.

Figure 3

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

Les différences granulométriques déterminent en effet des stations différentes.

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

À 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 ;
- 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.

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

● Le tableau I (p. 639) précise que **la taille des arbres** reste inférieure à 20 m sur sols minces carbonatés, et qu'elle varie avec **l'épaisseur de sol** sur les sables lessivés et podzolisés plus profonds. La figure 3 (p. 640) évoque cette relation que confirme la figure 4 ci-contre établie aussi d'après les mesures effectuées au Blumleiss, lors de l'étude par transects sur les plateaux (monts).

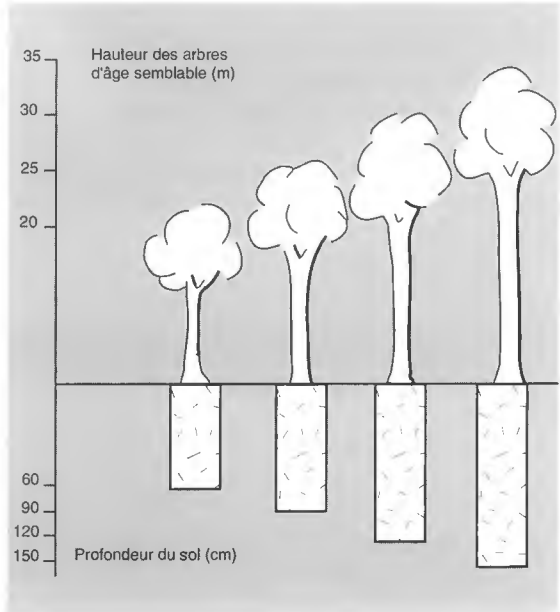


Figure 4
RELATION ENTRE LA TAILLE DES FEUILLUS
ET L'ÉPAISSEUR DU SOL SUR MATÉRIAU
DE TEXTURE "SABLEUSE"
DES SABLES SOUFFLÉS DES PLATEAUX

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

Cette conclusion voit une parfaite illustration dans la figure 5 dressée à partir de 1 500 sondages dans une parcelle-réserve en situation de plateau très classique (carte pédologique au 1/1000^e, Robin *et al.*, in : Bouchon *et al.*, 1973) et dont les sols épais sont polyphasés. Plus l'épaisseur est importante, plus la podzolisation de surface s'exprime sur une grande profondeur et avec une évolution marquée : si la plus grande fréquence des sols ocre podzoliques correspond à 75 cm de sables soufflés au-dessus de la surface du Bt de

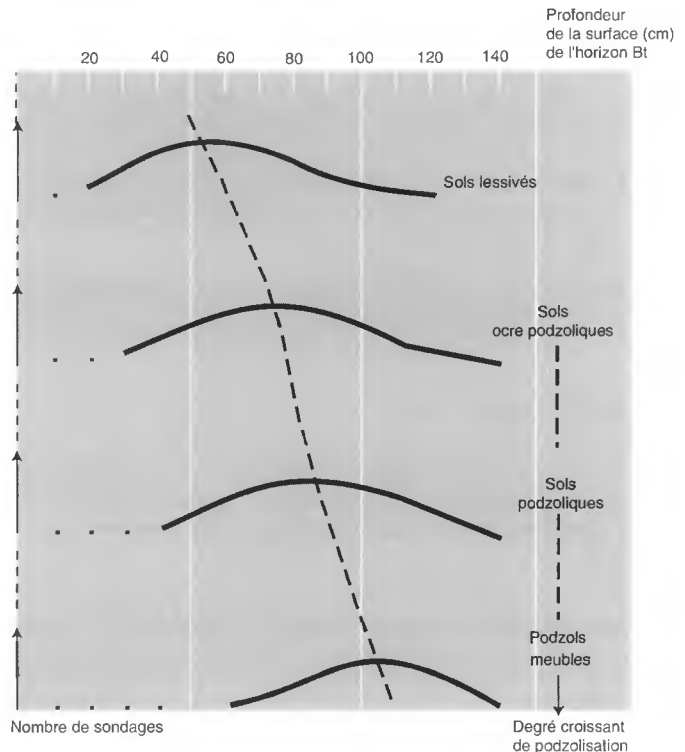


Figure 5
RELATION ENTRE LE DEGRÉ D'ÉVOLUTION
DE LA PODZOLISATION SUPERFICIELLE
ET LA PROFONDEUR D'APPARITION
DE L'HORIZON Btβ
DU SOL SOUS-JACENT

sol lessivé profond, celle des sols podzoliques est à 85 cm et celle des podzols (à Bh meuble) à 105 cm.

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.

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

Tableau III

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

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

Cependant, sa dépendance avec le sylvofaciès peut induire en erreur sur les potentialités réelles de la station : par exemple, la formation irrémédiable d'un mor, parfois épais sous conifères peut ne pas révéler une station relativement riche. Ce caractère diagnostique est donc à utiliser avec précaution et peut être à considérer seulement comme un caractère complémentaire.

● 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 taches et des concrétions ferromanganiques** constituent donc un "caractère diagnostique" du degré d'hydromorphie.

CONCLUSIONS

La multiplicité des "stations forestières" de la forêt de Fontainebleau était telle que des regroupements s'imposaient. La synthèse est basée sur les caractères diagnostiques directement liés aux potentialités, afin de correspondre à la finalité réelle de ce type d'étude. En résumé, deux constatations :

Rôle restreint de la végétation comme caractère indicateur des stations

"Expression" du substrat, la végétation a un caractère indicateur dans la mesure où les principaux groupements se répartissent en fonction de l'acidité et de la réserve en eau.

Le tableau suivant (Duchaufour, 1989b) présente la répartition des types de peuplement, ici à Fontainebleau.

Tableau IV

Sols naturellement drainés	Eau	pH	Basique (neutre)	→ Acide	→ Très acide	
	Humus		Mull carb. ou eutrophe	Mull méso	Mull oligo/Moder	Dysmoder/Mor
	Sécheresse RU < 90 mm		Pelouse Fruticée Chênaie pubescente			Lande Éricacées
	Caract. méso. RU = 90 à 180 mm		Hêtraie calcicole + Érable champêtre	Chênaie sessiliflore et Charme		... dégradée + Bouleau verruqueux
	Fraîcheur RU > 180 mm		Chênaie péd. + sess. Charmaie + Érable sycomore	et Hêtre		Chênaie péd. + sess. Hêtraie Bouleau pub. + verr.
↓ Humidité RU > 300 mm		Chênaie péd. - frênaie et Charme			Chênaie pédonculée à Tremble Bouleau pub.	
où la réserve en eau (RU) est proposée « approximativement »						
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	

Cependant, la végétation permet seulement :

- une approche approximative des types de stations, avec le risque de commettre de graves erreurs d'appréciation si le sol n'est pas considéré ;
- un enregistrement cependant assez fidèle des milieux extrêmes, comme :

- l'hydromorphie, grâce aux espèces hygrophiles lorsque la nappe est très proche de la surface ;
- la xéromorphie, grâce aux espèces xérophiles ;
- la limite sols calcaires / sols acides grâce à l'opposition des espèces calcicoles abondantes et des espèces oligotrophes.

Nécessité de détermination des caractères pédologiques pour la distinction des stations forestières à Fontainebleau

Pour cerner les potentialités différentes, le forestier cartographe doit inévitablement considérer le substrat sur lequel poussent les arbres, c'est-à-dire le sol avec :

- sa charge en carbonates, et leur proximité (existence et niveau de l'effervescence) qui influe sur la richesse en calcium...
- sa texture (sableuse, sablo-limoneuse, sablo-argileuse ou argileuse), responsable de la richesse minérale et de la réserve en eau ;
- son épaisseur, très importante pour la réserve en eau ainsi que pour la liberté d'enracinement ;

- son humus, à prendre en compte en fonction de la couverture végétale ;
- une éventuelle hydromorphie (importance et profondeur des concrétions).

Les différentes combinaisons de ces caractères diagnostiques permettent de cadrer tous les types de stations dans leur paysage et de révéler richesses et fragilités des sables.

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

→ la **clef** réelle de détermination des stations est **pédologique**.

Tableau V

Facteurs potentialité	Richesse minérale		Acidité	Hydromorphie
	Réserve en eau			
Caractère diagnostique = Clef	CO ₃ Ca effervescence	Texture A L S Cx	Épaisseur < 0,5 0,5 à 1 1 à 2 > 2	Humus Concrétions
Aide déterm. / végét.	↔	↔	↔	↔

« Ce n'est pas la végétation qui donne la potentialité,
c'est bien le substrat sol qui reste le fonds ».

Anne-Marie ROBIN
Laboratoire de Géodynamique
des Milieux continentaux
UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE
4, place Jussieu
F-75230 PARIS CEDEX 05

Remerciements

Cette étude a été réalisée pour le compte de l'Office national des Forêts et nous remercions l'ensemble des personnes qui ont pu participer à ce travail. Nous remercions Monsieur le Professeur Ph. Duchaufour qui a bien voulu relire ce texte.

BIBLIOGRAPHIE

- BELGRAND (M.). — Étude pédologique de quelques stations de la forêt de Marly. — Paris-Grignon : INA, 1978. — 96 p. (DAA).
- BELGRAND (M.), DUCHAUFOR (Ph.). — Étude des profils hydriques de quelques sols forestiers dans la région parisienne. — *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, n° 12, 1980, pp. 1069-1078.
- BELGRAND (M.), DUCHAUFOR (Ph.). — Le Cycle de l'azote en forêt feuillue (forêt de Marly, Yvelines). — *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, 1981, pp. 1146-1156.
- BONNEAU (M.), BRÊTHES (A.), LELONG (F.), LÉVY (G.), NYS (C.), SOUCHIER (B.). — Effets de boisements résineux purs sur l'évolution de la fertilité du sol. — *Revue forestière française*, vol. XXXI, n° 3, 1979, pp. 198-207.
- BOUCHON (J.), FAILLE (A.), LEMÉE (G.), ROBIN (A.-M.), SCHMITT (A.). — Cartes et notice des sols, du peuplement forestier et des groupements végétaux de la réserve biologique de la Tillaie. — 1973. — 3 cartes, 12 p.
- BOURNERIAS (M.). — Guide des groupements végétaux de la région parisienne. — Société des Éditions de l'Enseignement supérieur, 1979. — 509 p.
- DOIGNON (P.). — Le Mésoclimat forestier de Fontainebleau. — Centre régional de Recherches naturalistes, 1948, pp. 19-142.
- DOLL (D.). — Les Cataclysmes météorologiques en forêt. — Lyon : Université Lumière, 1988 (Doctorat).
- DUCHAUFOR (Ph.). — La Typologie des stations forestières : utilisation des données de la pédologie. — *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 72, n° 10, 1986, pp. 883-891.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Pédologie et groupes écologiques. I. Rôle du type d'humus et du pH. — *Bulletin d'Écologie*, t. 20, n° 1, 1989, pp. 1-6.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Pédologie et groupes écologiques. II. Rôle des facteurs physiques : aération et nutrition en eau. — *Bulletin d'Écologie*, t. 20, n° 2, 1989, pp. 99-107.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Rôle des facteurs biochimiques et physiques du sol dans la nutrition des espèces forestières. — *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 75, n° 5, 1989, pp. 3-10.
- GUILLET (B.), ROBIN (A.-M.). — Interprétation de datation par le 14 C d'horizons Bh de deux podzols humo-ferrugineux, l'un formé sous callune, l'autre sous chênaie-hêtraie. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, vol. 274, 1972, pp. 2859-2862.
- JACQUIOT (C.), ROBIN (A.-M.), BEDENEAU (M.). — Reconstitution d'un ancien peuplement forestier en forêt de Fontainebleau par l'étude anatomique de charbons de bois et leur datation par le 14 C. — *Bulletin de la Société botanique de France*, 120, 1973, pp. 231-234.
- LEMÉE (G.). — Évolution du paysage dans la forêt de Fontainebleau au cours des cinq derniers millénaires. — *Bulletin d'Écologie*, t. 21, n° 4, 1990, pp. 119-127.
- RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUMÉ (G.). — Flore forestière française. 1. Plaines et collines. — Paris : Institut pour le Développement forestier ; DERF ; ENGREF, 1989. — 1783 p.
- ROBIN (A.-M.). — Rôle de la pureté des sables ou de leur recharge en éléments fins altérables dans la pédogenèse podzolique. Niveau d'intervention de la végétation. Ouverture sur les applications forestières. — *Bull. Inf. Géol. B Paris*, vol. 21, 1984.
- ROBIN (A.-M.). — Les Sols sur sables soufflés de la forêt de Fontainebleau... et leur fragilité. — *Bulletin de la Société botanique de France*, vol. 137, *Lettres botaniques* n° 2/3, 1990, pp. 211-220.
- ROBIN (A.-M.). — Une Industrie moustérienne en forêt de Fontainebleau. — *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, t. 71, 1974, pp. 67-69.
- ROBIN (A.-M.), CONINCK (F. de). — Interprétation génétique d'un horizon pédologique profond ferroargilique en forêt de Fontainebleau. — *Science du Sol*, n° 3, 1975, pp. 213-228.
- ROBIN (A.-M.), BRUCKERT (S.), DUPUIS (T.). — Genèse et évolution des sols podzolisés sur affleurements sableux du Bassin Parisien. II - Analyse des complexes organo-minéraux. — *Science du Sol*, n° 4, 1981, pp. 331-345.
- ROBIN (A.-M.), GUILLET (B.), CONINCK (F. de). — Genèse et évolution des sols podzolisés sur affleurements sableux du Bassin Parisien. I. Rôle du matériau. — *Science du Sol*, n° 4, 1981, pp. 315-329.
- ROBIN (A.-M.), GUILLET (B.), DUCHAUFOR (Ph.). — Écologie des podzols du Bassin Parisien : exemples en forêts de Fontainebleau et Villers-Cotterêts. — *Revue forestière française*, vol. XXXV, n° 1, 1983, pp. 35-46.
- ULRICH (B.). — Soil acidity and its relations to acid deposition. — pp. 127-146. — In : Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. Proceedings of a Workshop held at Göttingen / Ulrich (B.) et Pankrath (J.) Eds. — Dordrecht : Reidel Éd., 1983. — 349 p.