

ÉCOLOGIE DES PODZOLS DU BASSIN PARISIEN

EXEMPLES EN FORÊTS DE FONTAINEBLEAU ET VILLERS-COTTERÊTS

A.-M. ROBIN - B. GUILLET - Ph. DUCHAUFOUR

La podzolisation dans le Bassin Parisien ne s'observe que sur roches mères sableuses et bien drainées. Il faut rappeler que ce processus pédogénétique se caractérise par la migration de composés organiques acides (produits par les humus de type moder ou mor) qui attaquent les édifices cristallins et extraient des éléments comme Fe, Al avec lesquels ils s'associent (Duchaufour, 1977). L'insolubilisation de ces complexes organo-minéraux en profondeur donne naissance aux horizons spodiques caractéristiques, B_h et B_s⁽¹⁾, qui diffèrent selon les types de sols podzolisés par leur morphologie, leur consistance et leurs propriétés physiques ou chimiques.

Une étude importante (Robin, 1979) a été consacrée à la genèse et à l'évolution des sols podzolisés des forêts de Fontainebleau et Villers-Cotterêts où affleurent les sables quartzo-feldspathiques du Stampien et de l'Auverisien. En réalité, ces sédiments sableux ont été, en maints endroits, repris par le vent au Quaternaire (Robin, 1974) formant des dépôts de sables soufflés qui, plus ou moins enrichis en particules fines, constituent les roches mères des sols podzolisés. Quatre types de sols podzolisés ont été observés. Ils définissent avec les peuplements végétaux qui leur sont associés, des écosystèmes tranchés dont les caractéristiques sont reportées sur le tableau 1.

On a pu distinguer :

- **Des sols ocre podzoliques** (sans horizon A₂) sous hêtraie à houx et fougère aigle.
- **Des podzols à B_h meuble** sous hêtraie ou chênaie acidiphile.
- Des podzols dont l'horizon B_h de teinte foncée présente par place des zones indurées : nous les nommerons **podzols à B_h semi-induré**. Ils sont associés aux peuplements purs de pin sylvestre ou laricio, à fougère aigle et bruyères (*Calluna vulgaris*).
- Des podzols dont l'horizon B_h induré est un **alios humique** sous forêt ouverte de pin sylvestre et bouleau, à bruyères dominantes.

Puisqu'une relation étroite semble exister entre les types de sols et peuplements, nous avons jugé utile d'attirer l'attention des forestiers sur les facteurs écologiques qui ont présidé à l'orientation des pédogénèses. Comme l'étude pédologique et minéralogique des roches mères et des sols a déjà fait l'objet d'une publication (Robin et al., 1981), nous ne ferons qu'énoncer ses principales conclusions. Par contre, nous insisterons sur l'histoire de la végétation en tirant argument de l'étude pollinique de quelques sols-types et en abordant brièvement les datations par le ¹⁴C.

(1) Il s'agit des horizons des sols podzolisés où se redistribuent préférentiellement les substances humiques (B_h) et les sesquioxydes amorphes Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂ (horizons B_s).

Tableau 1

Caractéristiques observables sur le terrain

		Sols ocre podzoliques	Podzols à B _h meuble	Podzols à B _h semi-induré	Podzols à alios humique
Horizon B _h	Végétation actuelle	Hêtraie + <i>Pteridium</i> + <i>Ilex</i>	Hêtraie ou chênaie + <i>Pteridium</i> + <i>Ilex</i>	Pin sylvestre ou pin laricio + <i>Pteridium</i> + <i>Calluna</i>	Pin sylvestre et bouleau + <i>Calluna</i> + <i>Pteridium</i>
	Profil	A ₀ A ₁ B _h	A ₀ A ₁ A ₂ B _h B _s	A ₀ A ₁ A ₂ B _h B _s	A ₀ A ₁ B _h
	Profondeur du B _h en cm	5/8 - 16/40	53/45 - 45/55	30/70 - 50/80	70/100 - 80/160
	Teinte subjective	teinte claire chocolat	teinte claire chocolat	claire et foncée chocolat et brun	foncée noire brunâtre
	Couleur	5 YR 5/3 - 4/2	5 YR 4/2,5 - 3,5/2	5 YR 3/1,5 - 2,5/1,5	5 YR 2,5/2 - 2,5/1
	Consistance	friable	friable	friable + parties fermes à cimentées	ferme à cimentée

Tableau 2

Caractéristiques principales des matériaux et sols

	Sols ocre podzoliques	Podzols à B _h meuble	Podzols à B _h semi-induré	Podzols à alios humique
Station				
Matériau	Sables soufflés		Sable contaminé	Sable pur
Contamination limoneuse et argileuse de la surface	+++ ≥ 5 %	++	++	- 0,5 %
Teneur en argile du matériel initial	7,2 à 1 %		3 à 5 % 1 à 0,5 %	≤ 0,5 %
Minéraux altérables des roches-mères (prof. du prélèvement)	← Chlorites dominantes (50 à 70 cm)	Minéraux ferromagnésiens Chlorites-Phyllites (70 à 110 cm)	→ Illites dominantes (90 à 145 cm)	Kaolinite + feldspaths (120 à 160 cm)
Profil				
Différenciation	faible		forte	extrême (sans B _s)
Humus	moder à dysmoder		mor	mor très épais
Mat. org. et C/N en A ₁	2 à 5 % et C/N ~ 17 à 28		5 % et C/N ~ 21	8 % et C/N ~ 48
Mat. org. et C/N en B _h	1 % et C/N ~ 25		2,5 % et C/N ~ 28	3 à 14 % et C/N ~ 45
Indice d'entraînement				
B _h /A ₂ — de l'argile		2	3	3 à 10
— du fer		4	29	50
— de Al		4	9	50
Microstructure de la MO en B _h	Polymorphe	Polym. + (Monom.)	Monomorphe + (polym.)	Monomorphe

LE RÔLE DU MATÉRIAU

Les caractères principaux des matériaux et des sols sont résumés dans le tableau 2. En outre, il faut souligner que les conditions climatiques sont très semblables dans les deux secteurs étudiés, puisque la pluviosité varie de 630 à 690 mm et l'E.T.P. de 606 à 613 mm. Les migrations descendantes sont possibles pendant les cinq mois de drainage climatique.

Le matériau joue un rôle fondamental qui expliquerait presque à lui seul la répartition des principaux types de sols podzolisés et des écosystèmes forestiers de Fontainebleau et Villers-Cotterêts.

Ainsi, lorsque les profils se développent sur les assises sableuses pures du substratum géologique en place, les sols sont très souvent des **podzols à alios humique**. Sur ces matériaux à peu près dépourvus de minéraux ferro-magnésiens, et par conséquent pauvres en fer, les seuls minéraux qui puissent être en partie dissous par les substances organiques sont les feldspaths potassiques et des phyllites de type kaolinite. La destruction partielle de ces minéraux libère principalement de l'aluminium qui se redistribue dans les horizons spodiques sous forme de complexes humo-aluminiques qui précipitent autour des grains de quartz et les cimentent. Ainsi, a pris naissance l'alios humique induré sans qu'un B_g puisse réellement s'exprimer.

Lorsque sont intervenus au Quaternaire des apports éoliens tels qu'il y ait eu des remaniements de surface, ou des dépôts de « sables soufflés » sur de notables épaisseurs, les sols présentent à l'analyse une contamination de limons et argiles croissant vers la surface, ou un enrichissement général du profil. De toute manière, il s'agit d'un apport de phyllosilicates ferro-magnésiens⁽²⁾ (chlorites et illites) qui ont en quelque sorte « dopé » le matériau : la présence de ces minéraux riches en fer, facilement altérables, freine les processus de différenciation podzolique comme cela fut observé dans les sols podzolisés de l'Est de la France (Souchier, 1971 ; Toutain, 1974). Les sols qui se développent sont des **sols ocre podzoliques** et des **podzols à horizons spodiques meubles**. Contrairement à ce qui se passe pour les alios humiques, de tels horizons ne s'opposent pas à la pénétration des racines des arbres.

Des analyses fines, minéralogiques et géochimiques (Robin et al., 1981) rendent compte des facteurs qui orientent la pédogenèse vers la podzolisation discrète des sols ocre podzoliques ou vers celle mieux exprimée des podzols à B_h meuble.

Lorsque l'apport en limons et argiles est supérieur à 5 %, la podzolisation demeure au stade ocre podzolique, car les réserves en minéraux altérables sont suffisamment importantes pour inhiber la différenciation d'un horizon A₂. Quand les apports limoneux sont de l'ordre de 3 à 5 %, on observe encore quelques sols ocre podzoliques contenant des chlorites, mais le plus souvent ce sont des podzols à B_h meuble et même à B_h semi-induré, assez pauvres en minéraux ferrifères qui se développent. Deux hypothèses, qui ne s'excluent pas, peuvent expliquer cette pauvreté relative qui, en définitive, serait responsable de la différenciation morphologique des profils en podzols :

— la première hypothèse revient à considérer que la contamination éolienne n'a apporté au matériel quartzofeldspathique que des minéraux relativement peu altérables et en tout cas assez pauvres en fer, comme des illites dioctaédriques⁽³⁾ et illites-vermiculites qui en dérivent ;

— la seconde hypothèse qui fut bien vérifiée en forêt de Fontainebleau (Robin et De Conninck, 1975) met en jeu l'existence d'un processus de lessivage d'argiles ferrifères préalable à la podzolisation. Il s'agirait en somme d'un processus d'appauvrissement en minéraux argileux les plus altérables, ce qui a rendu le matériau apte à évoluer vers les podzols.

(2) Silico-aluminates de fer et Mg dont la structure est en feuillets : la biotite (mica noir) en constitue l'orthotype potassique le plus fréquent.

(3) Minéraux assez proches des micas blancs : muscovite et séricite.

Enfin, rappelons qu'il existe, sous peuplements aménagés de pins, des podzols dont l'horizon **B_h est semi-induré**. Leur matériau se distingue à peine de celui des podzols à B_h meuble et pour expliquer leur morphologie et leur structure intermédiaires, nous verrons qu'il faut faire intervenir l'histoire des peuplements sous lesquels ils ont évolué.

HISTOIRE DE LA VÉGÉTATION

Nous avons précédemment évoqué la dépendance étroite qui lie les types de sols aux types de peuplements et végétation. En fut-il toujours ainsi ? La palynologie peut-elle, en ajoutant une dimension historique au constat des équilibres actuels, éclairer et expliquer la remarquable relation entre types de podzols et peuplements. Pour répondre à ces questions, un ou deux profils de chaque type de podzol ont été analysés.

Les méthodes palynologiques

A partir de prélèvements ponctuels, les pollens ont été extraits selon la méthode de Guillet et Planchais (1969). Après comptage et détermination des pourcentages de pollens d'arbres (A.P.) et de plantes herbacées ou arbustives (N.A.P.), les diagrammes dressent une physionomie de la végétation passée.

Les diagrammes principaux sont construits en portant à gauche le pourcentage des pollens d'arbres à partir de l'abscisse à l'origine (échelle du haut) et à droite les pollens et spores des plantes dominantes de la strate herbacée (*Calluna vulgaris*, graminées, fougères aigle, lierre) représentées par des surfaces cumulées. Les colonnes situées à droite du diagramme se réfèrent à des pollens d'espèces qui ont valeur écologique ou de taxons guides (pollens repères).

Les écosystèmes feuillus-podzols à B_h meubles

Le diagramme simplifié (figure 1) d'un podzol de la forêt de Villers-Cotterêts (La Brisée, parcelle XVI, 2) révèle la permanence de la forêt feuillue depuis le Subatlantique⁽⁴⁾ qui est daté ici par la présence de quelques pollens de charme (taxon guide). On y observe la prédominance tantôt du hêtre, tantôt du chêne dans une forêt fermée où la strate herbacée est dominée par des graminées.

Les mêmes résultats furent obtenus en forêt de Fontainebleau (La Tillaie, parcelle 270, 1) et publiés ailleurs (Guillet et Robin, 1972). La forêt feuillue s'y manifeste également depuis le Subatlantique et montre de la même façon une alternance de chênaie-hêtraie à graminées. La datation par le ¹⁴C d'un charbon de bois de chêne précise même qu'au VIII^e siècle cette parcelle était une chênaie (Jacquiot et al., 1973).

Les écosystèmes pinerales-podzols à B_h semi-indurés

Le diagramme (figure 2) d'un podzol situé sous peuplement âgé de 80 ans environ de pin laricio, à Villers-Cotterêts (La Brisée, parcelle XVI, 3) révèle une histoire complexe, entièrement subatlantique.

(4) Dernière période biostratigraphique de l'Holocène qui débute vers 800 ans av. J.-C. et se poursuit actuellement.

A une forêt clairière de hêtre, coudrier, bouleaux, à graminées, succède une hêtraie ouverte à houx, éricacées et graminées. Puis le hêtre a cédé la place aux bouleaux et enfin tout récemment, les forestiers ont introduit le pin laricio dans une parcelle ouverte.

Cette histoire évoque une certaine instabilité du milieu naturel forestier qui devait être une hêtraie. Bien plus, à cause du lierre dont le pollen est en notable proportion à la base du profil pollinique. l'impact d'une dégradation anthropique s'y fait sentir. Nous reviendrons ultérieurement sur le problème du lierre.

Figure 1 **DIAGRAMME POLLINIQUE D'UN PODZOL À B_h MEUBLE**
FORÊT DE VILLERS-COTTERÊTS (LA BRISÉE, PARCELLE XVI-2)

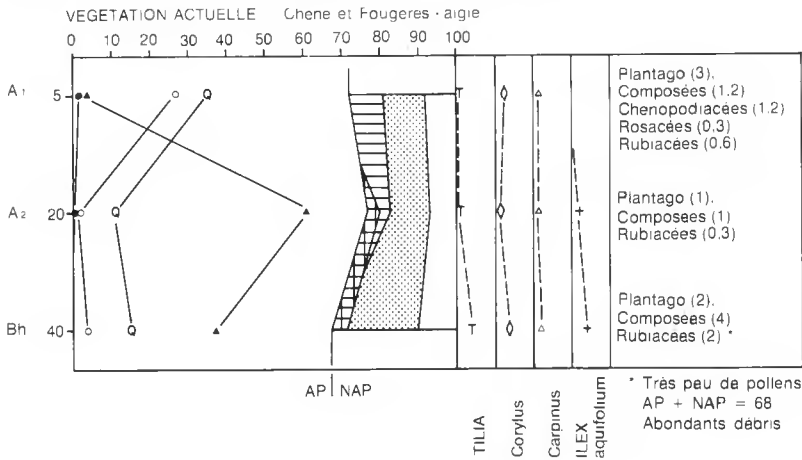
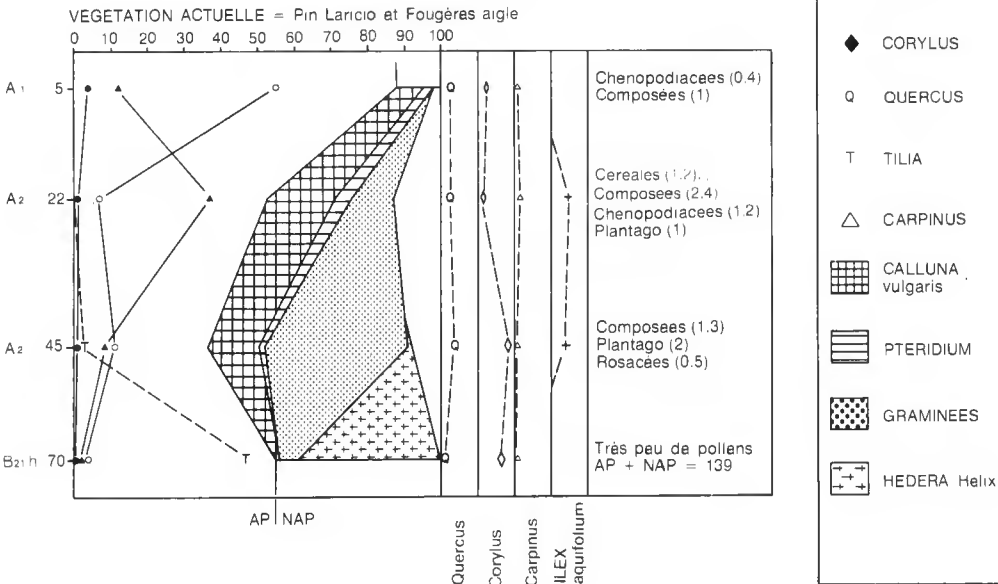


Figure 2 **DIAGRAMME POLLINIQUE D'UN PODZOL À B_h SEMI-INDURÉ**
FORÊT DE VILLERS-COTTERÊTS (LA BRISÉE, PARCELLE XVI-3)



Les écosystèmes pineraies à éricacées-podzols à alios humiques

Deux profils ont été analysés, l'un en forêt de Fontainebleau (Bourron Marlotte), l'autre à Villers-Cotterêts (La Tour du Grain, XVI, 39).

Le premier (figure 3) met en évidence l'importance des éricacées (*Calluna vulgaris*). Le paysage est très ouvert et comporte des bouleaux et peut-être aussi du tilleul dont le pollen est abondamment dénombré⁽⁵⁾. Il est vraisemblable que nous avons là l'image d'une lande à bruyères qui se situe à la frontière du Subboréal-Subatlantique (2 800-3 000 ans).

Dans le second profil pollinique (figure 4), l'abondance des pollens de lierre est étonnante. Comme dans le profil précédent, le diagramme révèle l'existence historique d'une lande à bruyères et fougère-aigle parsemée de bouleaux et située dans un contexte régional où le hêtre est présent. Cette lande datée du Subatlantique à cause des pollens repères de charme fait place à une pineraie ouverte sans doute assez récente.

Il est remarquable de constater que sur les roches mères les plus quartzieuses, le type de végétation est pratiquement resté inchangé depuis au moins les trois derniers millénaires. Il s'agit d'une végétation acidiphile et podzolante dominée par les éricacées. Les alios humiques héritent depuis longtemps déjà de composés organiques provenant des litières de callune. Comme on sait que ces composés sont, dans l'ensemble, peu biodégradables (Guillet et al., 1973 ; Schwartz, 1975), on peut prévoir que les alios humiques sont de « vieux » horizons : les datations par le ¹⁴C le confirmeront. Mais avant cela, il est nécessaire d'apporter quelques précisions sur l'abondance pollinique du lierre.

« L'invasion pollinique » du lierre : causes et hypothèses

Dans les tourbières, les pollens de lierre sont peu fréquemment dénombrés. Par contre, dans les sols de nombreuses références citées par Planchais (1972 a), et Simmons et Dimpleby (1974) font état de très fortes concentrations. Une première justification s'impose : le lierre, plante entomogame fructifiant en novembre, disperse peu de pollens d'où sa rareté dans les tourbes.

En milieu forestier, le lierre ne fructifie que très peu : 1 à 3 % des pollens dans les chênaies atlantiques (Planchais, 1972 a). En milieu ouvert, sous les hédéraies saxicoles pures, les pollens ne représentent que 25 % des pollens totaux (Planchais, 1971). Si l'on exclut l'hypothèse d'une conservation sélective des pollens de lierre dans les sols, on voit que les fortes concentrations observées dans les profils analysés ne relèvent d'aucun groupement phytosociologique actuellement reconnu.

Ces considérations ont conduit de nombreux chercheurs à admettre, à la suite de Troels-Smith (1960) que l'abondance de pollens de lierre a pour origine des pratiques anthropiques visant à collecter et utiliser le lierre comme fourrage hivernal. Planchais (1972 b) se rallie à cette hypothèse pour expliquer les très hautes concentrations (2 500 pollens de lierre pour 100 pollens autres) dans les horizons spodiques des podzols du sable de Beauchamps de l'Aisne (site mésolithique de Montbani).

(5) L'interprétation que l'on peut faire à partir des forts pourcentages de pollens de tilleul est contestable. Au cours de la migration des pollens dans les sols (Munaut, 1967 ; Guillet, 1974), la majorité d'entre eux est dégradée et détruite, de sorte qu'en profondeur seul un petit nombre est extrait des sols et identifié. Il est fréquent que la proportion de pollen de tilleul y soit élevée. Havinga (1971) l'explique en considérant que les pollens de tilleul sont sélectivement préservés de la corrosion alors que tous les autres pollens disparaissent. Il faut observer aussi que même fortement corrodés, les pollens de tilleul sont toujours identifiables ; ce n'est pas le cas pour les pollens de hêtre et de chêne.

Ouoi qu'il en soit, le tilleul est certainement surreprésenté dans les diagrammes polliniques de sols, mais il convient aussi de noter que l'espèce a connu à l'Atlantique et au Subboréal, une extension bien plus large que celle qu'on lui reconnaît actuellement.

Simmons et Dimbleby ont présenté en 1974 une synthèse bien documentée : pour eux, ces pratiques pastorales apparues en Angleterre au Mésolithique, se sont maintenues durant le Néolithique et plus tard encore, comme en témoignent les fortes concentrations observées sous les tumulus de l'Age du bronze (2 800-3 000 ans). La collecte du lierre et son utilisation relèverait d'une longue tradition pastorale.

Tandis que les lieux de production nous sont inconnus, nous reconnaissons par la palynologie les sites où ce fourrage hivernal aurait été déposé. Pour les chercheurs précédents, il s'agirait de clairières où auraient été parqués les ovins domestiques et situées à proximité des habitats. Il est également possible, comme ils en émettent l'hypothèse, que le lierre ait été déposé dans des clairières provoquées au milieu des forêts. Comme les cervidés sont les seuls animaux sauvages à montrer une appétence certaine pour la plante, en période de neige, la chasse à l'affût en aurait été d'autant facilitée.

Figure 3 **DIAGRAMME POLLINIQUE D'UN PODZOL À ALIOS HUMIQUE**
FORÊT DE FONTAINEBLEAU (CARRIÈRE BOURRON MARLOTTE)

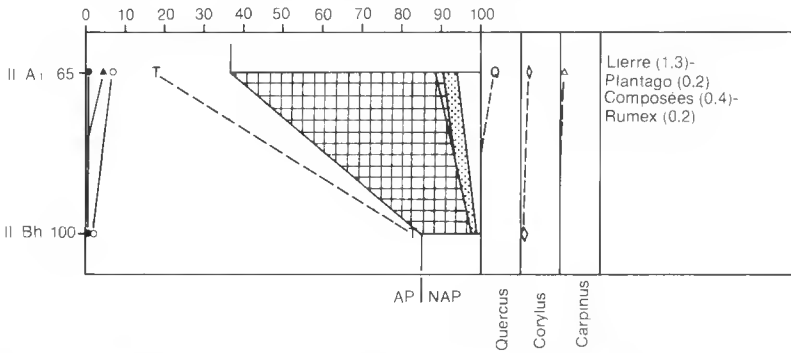
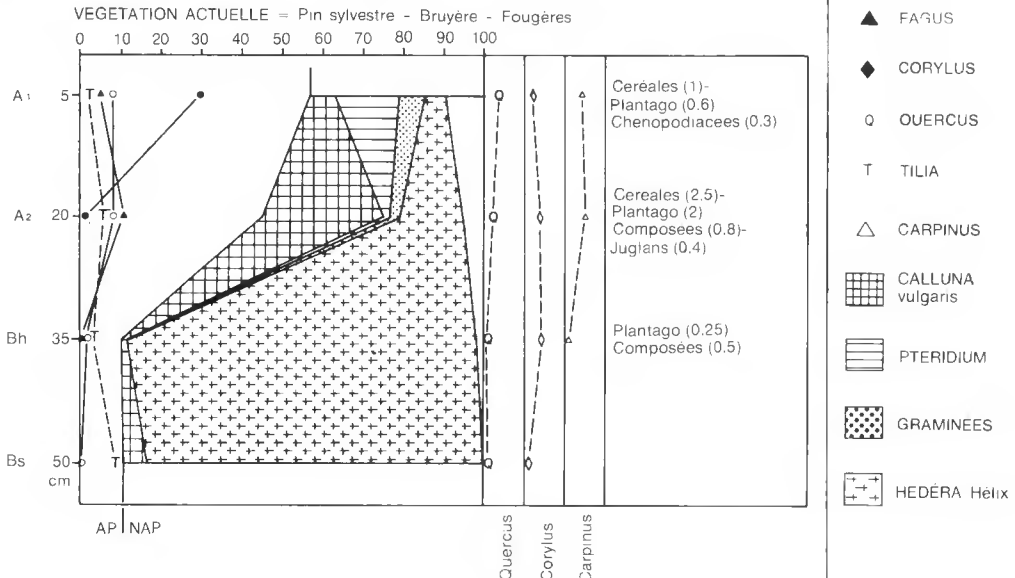


Figure 4 **DIAGRAMME POLLINIQUE D'UN PODZOL À ALIOS HUMIQUE**
FORÊT DE VILLERS-COTTERÊTS (LA TOUR DU GRAIN, PARCELLE XVI-39)



MESURE INDIRECTE DE L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE À L'AIDE DES DATATIONS PAR LE CARBONNE 14

Lorsque les datations ^{14}C sont effectuées sur la matière organique des sols, il est impossible d'assimiler la mesure à la notion d'âge du sol. En effet, le bilan humique d'un horizon de sol s'établit à partir d'un équilibre entre les minéralisations et les apports annuels de matières organiques. Il résulte de ce mécanisme que les matières organiques se renouvellent constamment selon des vitesses qui dépendent de l'activité biologique des sols. Ainsi, effectuer une datation revient à mesurer le **temps de résidence** des matières organiques. Quand l'activité biologique est intense, les matières organiques se renouvellent rapidement et le temps moyen de résidence est court. A l'opposé, une activité biologique restreinte peut conduire à une certaine accumulation de matière organique dont le temps de résidence s'accroît.

Les temps de résidence des matières organiques des horizons spodiques des podzols (tableau 3) apportent de précieux renseignements qui recourent très bien les interprétations que l'on peut faire des études microstructurales des horizons spodiques.

Alors que la podzolisation peut être très ancienne, les temps de résidence sont courts (moins de 35 ans à 180 ans) dans les B_h des podzols meubles : les matières organiques s'y recyclent rapidement. Ce sont des horizons **biologiquement actifs** ce qui est tout à fait en accord avec les valeurs C/N des matières organiques qui sont relativement basses pour des podzols (18 à 24). Les microstructures permettent même de reconnaître des agrégats, composés de matières organiques et minérales, créés en partie par la faune du sol (Robin et De Conninck, 1978). La juxtaposition des agrégats et des grains de sable donne à l'horizon sa consistance meuble.

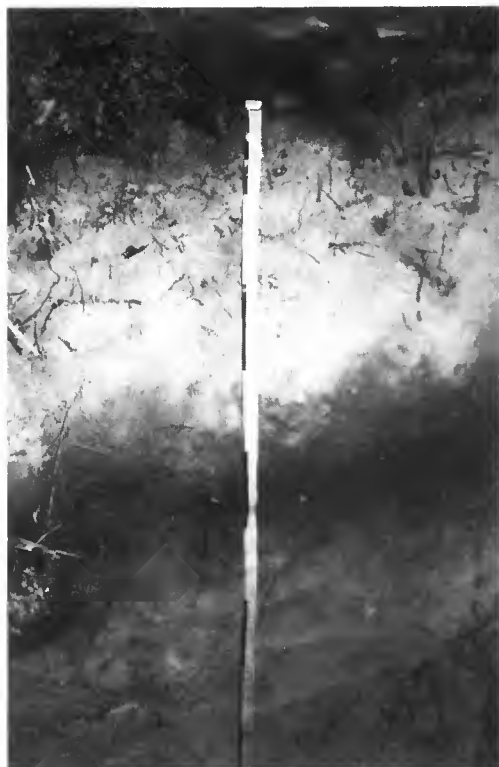
A l'opposé, les temps de résidence des matières organiques des B_h aliotiques (1 800 à 3 000 ans) confirment à la fois l'ancienneté de la podzolisation sous callune et le lent renouvellement des matières organiques. Des valeurs comparables ont été obtenues dans les alios du Bassin Parisien

Tableau 3 **Temps de résidence des matières organiques,
en années (BP = before present)**

	Sols	Réf. Ny	Horizons (cm)	C %	C/N	TMR (BP)
Sols ocres podzoliques et podzols à B_h meuble	op VC11	510	B_h (30-40)	0,6	24	50 ± 90
	Pzm F3	501	B_h (45-55)	0,46	24	180 ± 50
	Pzm VC12	511	B_h (33-45)	0,3	18	< 35
Podzols à B_h semi-induré	Pzi VC13	512	B_{21h} (63-70)	1,0	19	160 ± 90
		513	B_{22h} (63-70)	1,0		< 35
		514	B_s (70-75)	0,8	26	< 35
	Pzi VC9	508	B_h (65-75)	1,6	29	320 ± 95
		509	B_s (75-85)	0,8	27	460 ± 90
Podzols à alios	Pza VC1	502	B_{h1} (30-37)	4,7	52	1 890 ± 100
		503	B_{h2} (77-85)	1,6		1 820 ± 95
	Pza VC3	507	B_{h2} (120-130)	0,95		2 930 ± 100
		504	II_{A11} (40-55)	2,75		1 745 ± 90
	Pza F77	505	$II_{B_{h21}}$ (100-110)	1,55	47	1 660 ± 90
		506	$II_{B_{h22}}$ (120-130)			2 510 ± 100

(Nakhla, 1969 ; Planchais, 1972 a) et du Médoc (Righi et Guillet, 1977). Ces sols sont **biologiquement peu actifs** et le C/N élevé (> 40) des matières organiques reflète bien la faible activité biologique globale. D'ailleurs, la matière organique ne se présente pas, en lames minces, sous l'aspect d'agrégats. La faune ayant un rôle limité, la précipitation des complexes organo-alumineux permet une cimentation des grains du squelette, responsable de la consistance indurée de l'aliôs.

Les temps de résidence des matières organiques des B_h mi-cimentées, mi-meubles des podzols intermédiaires s'apparentent à ceux des podzols à B_h meuble.



Podzol à
 B_h meuble



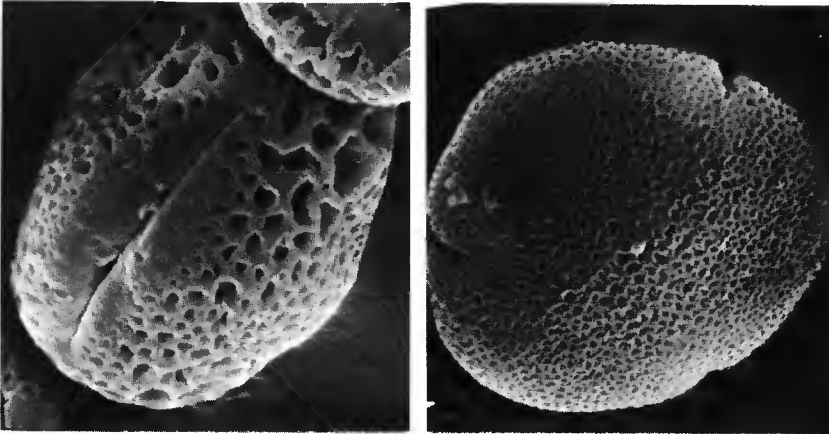
Podzol à
aliôs humique

Photos A.-M. ROBIN.

DISCUSSION : LE PROBLÈME DU CLIMAX

Pour les termes extrêmes de la série des sols podzolisés (podzols à aliôs humique, sols ocre podzoliques et podzols à B_h meuble) les recherches confirment la permanence historique des équilibres sols-végétation.

Ainsi, les podzols à aliôs humique ont évolué sous végétation acidifiante à base de callune depuis, au moins, la période subatlantique. Se pose alors une question que les données palynologiques ne peuvent aider à résoudre : quels étaient les types de végétation au cours des périodes antérieures au Subatlantique (Subboréal-Atlantique) ? Deux hypothèses peuvent être formulées : les landes à bruyères résulteraient d'une dégradation à caractère anthropique d'une forêt feuillue instable ou bien elles auraient toujours existé au cours de l'Holocène.



Pollens de Lierre (35 × 30 μ) à gauche et de Tilleul (subsphérique de 35 μ) à droite, observés au microscope électronique à balayage.

Photos B. GUILLET.

Dans la première hypothèse, l'équilibre « podzol à alios-végétation acidifiante » définirait un paraclimax devenu tout à fait irréversible en raison des propriétés chimiques (acidité, désaturation du complexe absorbant) et physiques des podzols (aliothisation des horizons spodiques).

Mais à cause de l'extrême pauvreté en minéraux altérables ferrifères des matériaux quartzeux sur lesquels se sont développés les podzols à alios, nous pensons qu'une végétation de feuillus n'a pas pu connaître une grande extension. Dans cette deuxième hypothèse, les équilibres relèveraient d'un climax stationnel tout à fait particulier qui s'explique totalement par le rôle prépondérant des matériaux sableux quartzo-feldspathiques les plus purs.

Les sols ocre podzoliques et podzols à B_h meuble sont en équilibre depuis longtemps avec la forêt climacique feuillue, acidiphile et assez fermée. La stabilité des écosystèmes qui relèvent aussi d'un climax stationnel s'explique de la manière suivante : tout d'abord le pédoclimat et le cycle biogéochimique des éléments, notamment de l'azote, entretiennent une bonne activité biologique. Ensuite et surtout la podzolisation modérée est favorisée par la présence parfois infime de limons et argiles (apportés par le vent et/ou colluvionnés) intégrés aux sables qu'ils contribuent à enrichir en minéraux ferrifères altérables.

Les podzols intermédiaires à B_h semi-induré, localisés sous les plantations récentes de pins, se sont développés à partir d'un matériau analogue à celui des podzols à B_h meuble : leur enrichissement en limons et argiles y est tout aussi notable mais toutefois les argiles y sont moins ferrifères. Ces podzols ont évolué sous deux types de végétation bien tranchés et successifs.

Tout d'abord une forêt feuillue mésophile et acidiphile fermée aurait donné naissance à un podzol forestier à B_h meuble. Ensuite, la dégradation du peuplement feuillu et l'apparition concomitante de la callune auraient accéléré les processus de podzolisation et de migration des composés organo-minéraux. L'induration partielle des horizons B_h résultant de la précipitation des complexes organo-métalliques a sans doute pris naissance sous la callune et se poursuit encore sous l'influence des pins implantés dans les landes locales.

Ainsi il est clair que lorsque le matériau initial atteint un seuil critique en minéraux ferrifères, la végétation joue un rôle fondamental dans l'évolution des podzols. La rupture du climax initial, l'invasion de la callune, l'installation des résineux modifient l'humification (humus de type mor), abaissent l'activité biologique et, en fin de compte, accélèrent la podzolisation. Les propriétés physiques des horizons spodiques sont modifiées notamment par l'induration encore partielle des horizons B_h. Les écosystèmes s'apparentent alors à des paraclimax qui, toutefois sont loin d'être aussi irréversibles que les écosystèmes « podzols à alios - pineraies ouvertes à callune ».

APPLICATIONS

Ce travail de recherche peut aboutir à quelques conclusions pratiques, même si celles-ci paraissent minimes au premier abord, elles peuvent avoir pourtant une grande importance.

Pour les sols podzolisés du Bassin Parisien, nous reconnaissons donc :

— l'influence primordiale du matériau :

- sur sables enrichis en limons et argiles ferrifères, les sols podzolisés, situés sous feuillus, biologiquement actifs, sont des sols podzoliques et des podzols à B_h meuble ;

- sur sables purs essentiellement quartzo-feldspathiques, les sols, situés sous callune et pins, présentent une cimentation ancienne, irréversible qui se traduit par un alios humique.

— l'influence prépondérante de la végétation, « lorsque » le matériau présente un certain équilibre entre minéraux ferro-magnésiens (illite, chlorite) et minéraux alumineux (feldspaths, kaolinite).

L'induration du B_h , qui est le principal obstacle à la reconstitution d'une forêt productive, est alors due à la présence de callune et de pin.

La productivité immédiate — qui reste faible — est assurée par la culture du pin, mais celle-ci ne fait qu'aggraver le processus de dégradation. S'il n'est guère possible de revenir à un peuplement pur de feuillu, trop peu productif sur de telles stations, par contre la constitution d'un peuplement mixte résineux-feuillu, faisant appel à des espèces feuillues très frugales, est à préconiser : le feuillu jouant un rôle « cultural », les résineux assurant la productivité.

Par ailleurs, l'amélioration des propriétés du profil par intervention directe doit être envisagée : on pourrait penser à modifier dans un sens favorable la composition du matériau minéral par incorporation au profil des éléments qui lui manquent : silicates, oxydes de fer, minéraux calciques. Les Tchèques ont pratiqué avec succès, il y a un demi-siècle, des apports de poudre de basalte sur des sols de même type. Étant donné l'abondance de limons loessiques dans certaines parties du Bassin parisien, un apport de limon pourrait être envisagé : mais un tel procédé serait onéreux et difficile à mettre en œuvre. Mieux vaut donc se rabattre sur les procédés classiques. Travail superficiel du sol avec apport d'engrais minéraux (surtout à base de phosphates, par exemple scories) (Bonneau, 1981) dans le but d'activer l'humus. L'alios, s'il n'est pas trop superficiel, devra être disloqué par sous-solage.

Anne-Marie ROBIN
Docteur ès-Sciences naturelles
Maître-assistante
Laboratoire de Géographie physique
UNIVERSITÉ PIERRE-ET-MARIE-CURIE
4, place Jussieu
75230 PARIS CEDEX 05

Bernard GUILLET
Docteur ès-Sciences naturelles
Maître de Recherche
Centre de Pédologie Biologique
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
B.P. 5
54501 VANDŒUVRE-LÈS-NANCY CEDEX

Philippe DUCHAUFOR
Docteur ès-Sciences naturelles
Professeur honoraire
Le Nid d'Aigle
8, allée de la Doucerie
78620 L'ÉTANG-LA-VILLE

BIBLIOGRAPHIE

- BONNEAU (M.). — Fertilisation et production forestière en France en 1980. — *Compte-rendu des séances de l'Académie d'Agriculture de France*. 1981. pp. 437-451.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Pédologie. I. — Pédogenèse et classification. — Paris, Masson, 1977. 477 p.
- GUILLET (B.). — Le problème de l'évolution des podzols vosgiens et ses relations avec l'histoire de la végétation. *Revue Forestière Française*, 1974. vol. 26, n° 1, pp. 31-44.
- GUILLET (B.), CHONE (Th.), YAGHI (M.), JACQUIN (F.). — Turn-over de la matière organique d'horizon B_h de podzols. *Bull. E.N.S.A.I.A.*, 1973. vol. 15, n° 1/2, pp. 85-91.
- GUILLET (B.), PLANCHAIS (N.). — Note sur une technique d'extraction des pollens des sols par une solution dense. *Pollen et spores*, 1969. vol. 11, n° 1, pp. 141-145.
- GUILLET (B.), ROBIN (A.-M.). — Interprétation de datations par le ¹⁴C d'horizons B_h de deux podzols humo-ferrugineux. L'un formé sous callune, l'autre sous chênaie-hêtraie. *C.R.A.S., Paris*, 1972, 274, pp. 2859-2862.
- HAVINGA (A.-J.). — An experimental investigation into the decay of pollen and spores in various soil types. In « Sporopollenin ». — Londres : Academic Press. 1971. pp. 446-479.
- 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 ¹⁴C. *Bulletin de la Société botanique de France*, 1973. vol. 120, nos 5-6, pp. 231-234.
- MUNAUT (A.-V.). — Recherches paléo-écologiques en Basse et Moyenne Belgique. — *Acta Géogr. Lovaniensia*, 1967. 6. 191 p., thèse.
- NAKHLA SHAWKI (M.). — Contribution à l'étude du comportement du carbone organique dans le sol et étude des podzols à l'aide du carbone 14. Thèse. Orsay-Paris. 1969. Rapport CEA-R-3682. 49 p.
- PLANCHAIS (N.). — Analyse pollinique et occupations humaines successives du site de Montbani, commune de Mont-Notre-Dame (Aisne). *C.R.A.S., Paris*, 1972, 274, pp. 185-187.
- PLANCHAIS (N.). — Nouvelles fouilles sur le site tardenoisien de Montbani (Aisne). 1964-1968. II. — Analyses polliniques. *Bull. Soc. Préhist.*, 1972. vol. 69. pp. 526-532.
- RIGHI (D.), GUILLET (B.). — Datations par le carbone 14 naturel de la matière organique d'horizons spodiques de podzols des Landes du Médoc (France). In : « Soil organic matter studies », 1977, 2, pp. 187-192.
- ROBIN (A.-M.). — Une industrie moustérienne en forêt de Fontainebleau. *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, 1974. vol. 71. pp. 67-69.
- ROBIN (A.-M.). — Genèse et évolution des sols podzolisés sur affleurements sableux du Bassin parisien. Thèse de Doctorat d'État, Université de Nancy I, 1979. 173 p.
- ROBIN (A.-M.), De CONNINCK (F.). — Interprétation génétique d'un horizon pédologique profond ferro-argillique en forêt de Fontainebleau. *Science du Sol*, 1975. 3. pp. 213-228.
- ROBIN (A.-M.), De CONNINCK (F.). — Micromorphological aspects of some podzols in the Paris Basin (France). *Proc. 5th Intern. Working Meet. on Soil Micromorphology*. Granada. 1978. pp. 1019-1050.
- ROBIN (A.-M.), GUILLET (B.), De CONNINCK (F.). — Genèse et évolution des sols podzolisés sur affleurements sableux du Bassin parisien. I. — Rôle du matériau. *Science du Sol*, 1981. 4. pp. 315-329.
- SCHVARTZ (Ch.). — Évolution des hydrosolubles de litières de callune et de hêtre au cours du processus d'humification. Thèse de Docteur-Ingénieur. Université de Nancy I. 1975. 81 p.
- SIMMONS (I.G.), DIMBLEBY (G.W.). — The possible role of Ivy (*Hedera helix* L.) in the mesolithic economy of Western Europe. *J. Arch. Sci.*, 1974. vol. 1, pp. 1291-1296.
- SOUCHIER (B.). — Évolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges). *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lor.*, 1971. vol. 33. 134 p.
- TOUTAIN (F.). — Étude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles. Thèse de Doctorat d'État. Nancy. 1974. 114 p.
- TROELS-SMITH (J.). — Ivy, mistletoe and elm, climate-indicators fodder-plants. *Danmarks Geol. Unders.*, 1960. vol. 4. n° 4. 32 p.