

EVOLUTION COMPAREE DES SOLS DES TAILLIS DE CHÂTAIGNIERS ET DES LANDES SECHES DE LA CHÂTAIGNERAIE LIMOUSINE.

VERGER Jean - Pierre

*Laboratoire de Biologie Végétale et Valorisation des Espèces Ligneuses.
Faculté des Sciences - 123, Avenue A.Thomas, 87060 Limoges Cedex*

RESUME - La composition des sols sous taillis feuillardé de la châtaigneraie limousine est comparée à celle des landes sèches de la même région. Tous les sols ont en commun une forte acidité et une extrême pauvreté en cations. Les sols de landes sont plus riches en ions de l'acidité, ceux sous taillis sont appauvris en azote et en calcium. Cet appauvrissement généralisé des sols du taillis résulte de l'action anthropique. Les pertes sont la conséquence d'exportations massives et répétées d'éléments nutritifs au cours des décennies, voire des siècles passés.

MOTS CLES : Châtaigneraie limousine. Sols. Taillis. Landes sèches. Action anthropique.

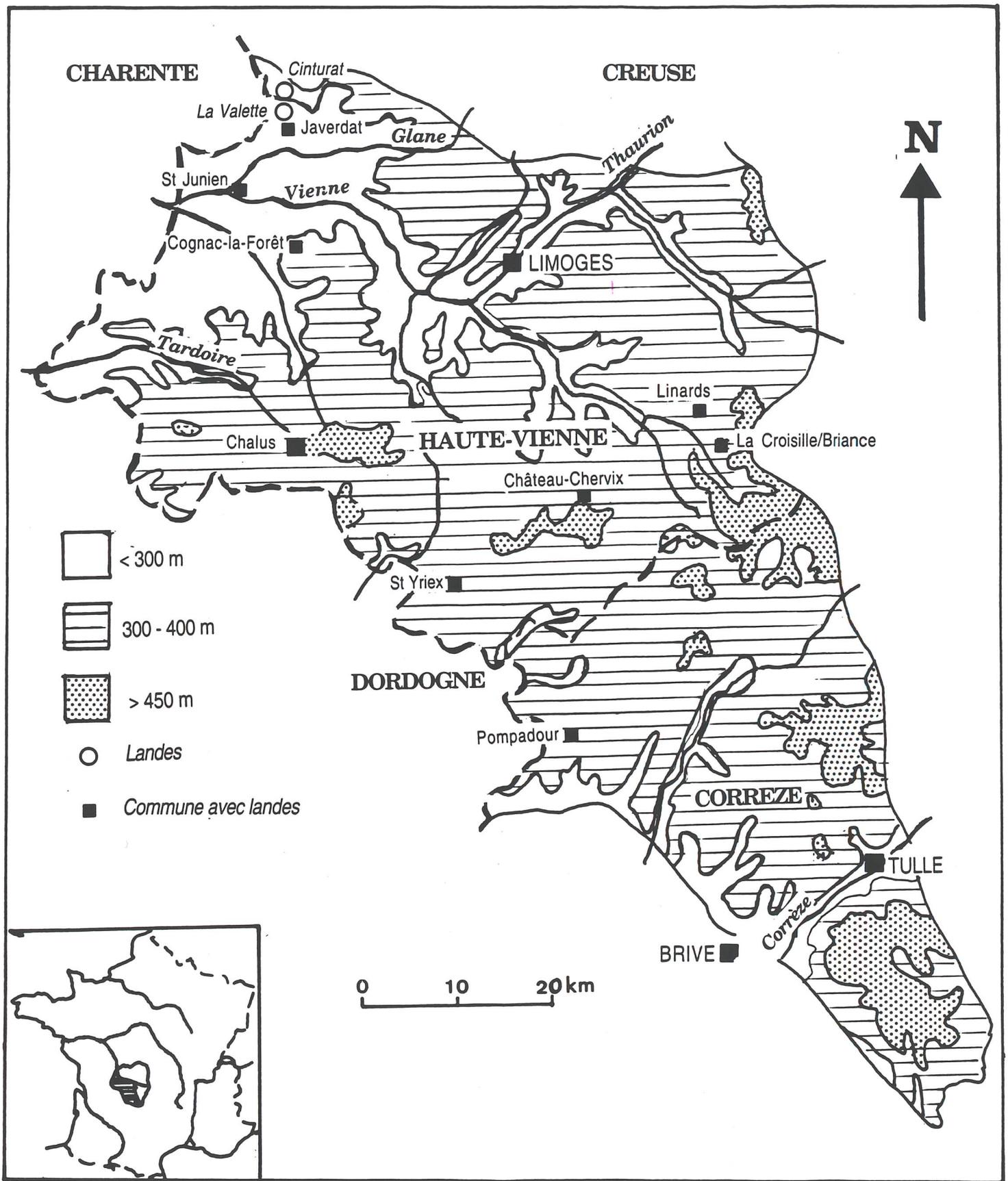
SUMMARY - COMPARATIVE EVOLUTION OF THE SOILS OF CHESNUT COPPICES AND DRY HEATHS IN THE CHESNUT STANDS OF THE LIMOUSIN.

The composition of the soil in the chesnut coppices characterized by a short rotation of the Limousin has been compared to that of the heathlands of the same region. All these soils have in common a strong acidity and are extremely poor in cations. The soils in the heaths are richer in ions of acidity, those of the coppices have comparatively less nitrogen and calcium. This generalized impoverishment of the coppice soils result from human activity. The losses are due to massive and repeated exportations of nutritive elements throughout past decades or even centuries.

KEY WORDS : Chesnut tree stands of the Limousin. Soils. Coppices. Heathlands. Human activity.

INTRODUCTION

Le Limousin est une région à potentialité forestière élevée de par ses conditions climatiques favorables, températures sans excès, humidité régulière et suffisante tout au long de l'année. Le secteur occidental, dénommé "Châtaigneraie Limousine" est le domaine du taillis de châtaigniers. Son implantation, soit sous forme de châtaigneraie fruitière, soit sous forme de taillis, y résulte de l'activité humaine. Son apparition est contemporaine de la régression du hêtre et du chêne, de la quasi-élimination de l'aulne, de l'établissement de prairies permanentes et de cultures céréalières. Elle



Carte 1.- La châtaigneraie limousine

semble, d'après Lemée (1980) avoir débuté avec l'époque subatlantique, le maximum de l'extension du châtaignier correspondant à l'époque gallo-romaine. Les travaux de Belligaud et Fredon (1985) sur des fouilles archéologiques montrent que le châtaignier se trouvait dans le sud-ouest du Limousin au Ier siècle après J.C. L'utilisation de ce bois pour la réduction du minerai de fer laisse supposer un approvisionnement quantitativement important, ce qui laisse à penser l'existence d'une sylviculture sous forme de taillis. Une activité sidérurgique intense s'est maintenue aux confins du Périgord, de l'Angoumois et du Sud-Ouest de la Haute Vienne jusqu'au 19ème siècle. L'exploitation intensive par l'homme s'est prolongée jusqu'après la dernière guerre, avec des coupes à blanc régulières tous les 6 à 15 ans selon la qualité des taillis. C'est ainsi que les plans de l'ancien cadastre de 1839 concernant la Forêt de Boubon montrent qu'à cette époque le taillis couvrait déjà la quasi totalité de la surface. Le recépage a été actif jusqu'à la fin de la guerre de 1945 (communications personnelles de Mr Léonard, de la Mairie de Cussac). Les exportations minérales ont été souvent amplifiées par un balayage annuel des feuilles servant à la confection des litières animales.

Les nombreuses analyses pédologiques concernant ces taillis (Verger *et al.*, 1983, 1985; Verger et Javellaud, 1986; Verger *et al.*, 1993) font ressortir la grande pauvreté des sols sous taillis anciens régulièrement feuillardés. La méthode des Modèles Elémentaires de Transformation (MET) du squelette des sols (Legros, 1982 et 1984), reprise par Verger (1989) pour la Châtaigneraie Limousine, montre également que le châtaignier délaisse les sols marqués par l'hydromorphie.

Dans cette partie du Limousin les landes atlantiques sont localisées sur des surfaces réduites, ce qui accrédite la faible potentialité de leurs sols, dans une région où les enrésinements couvrent des surfaces importantes. Une étude phytosociologique et pédologique particulièrement fine de ces landes a été réalisée par Javellaud (1986a).

A partir des nombreuses données pédologiques dont nous disposons, nous avons donc entrepris une étude comparative de la richesse actuelle des sols de taillis et de landes non hydromorphes du secteur de la Châtaigneraie Limousine afin de rechercher une éventuelle influence anthropique dans la composition chimique actuelle des sols forestiers.

MATERIEL ET METHODES

I.- Le milieu d'étude

La région étudiée se situe dans les secteurs Ouest et Sud-Ouest du Limousin. Cette zone dite de la "Châtaigneraie Limousine" a été définie par le Service de la Carte de la Végétation du C.N.R.S. (Carte n° 1) pour faire l'objet d'une étude de typologie des stations forestières (Javellaud, 1986b). Cette région recouvre une partie des départements de la Haute-Vienne, de la Corrèze et de la Creuse. Elle est limitée par:

- les départements de la Charente et de la Dordogne à l'Ouest et au Sud-Ouest ;
- le bassin de Brive et la rivière Dordogne au Sud ;
- les premiers contreforts du plateau de Millevaches et des Monédières à l'Est ;
- les monts de Blond et d'Ambazac au Nord.

Le climat de la Châtaigneraie Limousine est fortement soumis aux influences atlantiques, caractérisées par un régime pluviométrique de type Hiver - Automne - Printemps - Eté (Vilks, 1991). Une influence montagnarde, marquée par plus de fraîcheur, se manifeste sur les reliefs plus élevés. Une tendance plus continentale apparaît à la limite Est de la région.

Tous les taillis et landes de notre étude reçoivent une quantité d'eau comprise entre 1000 et 1200 mm. Les précipitations d'été représentent 20 % environ du total. Les températures annuelles dépassent 11° C à l'Ouest et s'abaissent faiblement vers l'Est.

De courtes périodes sub-sèches peuvent apparaître dans la région centrale fin Juillet. Le bilan hydrique annuel calculé selon la méthode de Thorntwaite (Javellaud, 1986a) fait apparaître un déficit important qui commence au début du mois de Juillet et se poursuit au mois d'Août dans toute une zone médiane qui s'étend de Rochechouart à St-Yriex-la-Perche. Ce déficit se poursuit jusqu'au début Novembre vers Malemort, au Sud.

Les roches-mères (Tableau 1) appartiennent au socle métamorphique et granitique structuré il y a plus de 300 millions d'années. La composition des roches granitiques et gneissiques communes aux landes et aux taillis de châtaignier reste assez voisine. Elle est caractérisée par l'abondance du quartz, des feldspaths et souvent des micas. Les gneiss leptyniques sont appauvris en calcium et fer.

| ELEMENTS MINERAUX en % | GNEISS CLAIRS | | LEPTYNITES | GNEISS A | LEUCOGRANITE | GRANITE | MICASCHISTES |
|------------------------------|-----------------------|-------|--------------------------------|----------|--------------------------|------------------------------|------------------|
| | type Salon la Tour | | (type Chalus) moy./12 anal. | 2 MICAS | ALCALIN moy /30 anal. | à 2 MICAS type PIEGUT(24) | à SILLIMANITE |
| SiO2 | 71 - 75 | 76,15 | 74,30 | 69,00 | 72,53 | 69,90 - 72,50 | 72 - 73 |
| AL2O3 | 12,50 - 13,50 | 12,55 | 13,20 | 15,20 | 14,74 | 14,60 - 15,50 | 13 - 16 |
| Fe2O3 | 2,10 - 3 | 1,51 | 2,32 | 4,75 | 1,78 | 2,00 - 2,77 | 1,60 - 3,00 |
| MgO | 0,40 - 1 | 0,20 | 0,28 | 1,86 | 0,32 | 0,89 - 1,43 | 1,04 - 0,61 |
| CaO | 1 - 2 | 1,02 | 1,72 | 1,42 | 0,56 | 1,54 - 2,02 | 0,50 - 1,40 |
| Na2O | 2,80 - 3,20 | 3,78 | 3,46 | 2,84 | 3,25 | 3,49 - 3,69 | 2 |
| K2O | 4 - 5 | 3,88 | 3,41 | 2,30 | 5,08 | 3,66 - 3,95 | 2,80 - 3,20 |
| TiO2 | < 0,40 | 0,10 | 0,22 | 0,72 | 0,21 | 0,22 - 0,52 | 0,50 |
| MnO | < 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,03 | 0,04 - 0,08 | 0,09 |
| H2O+ | 0,50 | 0,37 | 0,46 | 2,07 | - | 0,72 - 1,17 | 1,50 - 2,00 |
| Total | 99 - 100 | 99,78 | 99,80 | - | - | - | - |

Tableau 1 - Composition chimique comparée des roches-mères sous châtaigniers et landes (d'après DUTREUIL, 1978 et FLOCH, 1983).

La situation des principales landes est empruntée aux travaux de thèse de Javellaud (Carte n° 1). Ces landes appartiennent aux deux alliances de l'*Ulicion-minoris* et du *Sarothamnion scoparii*. La première est représentée par l'association xérophile de l'*Ulici minoris - Ericetum cinereae* (relevés CF2, C2, J2, L1, CB1 et CB2 du tableau II) dominée par la bruyère cendrée (*Erica cinerea*), l'ajonc nain (*Ulex minor*) et la callune (*Calluna vulgaris*). L'association, plus mésophile, de l'*Ulici minoris scoparietum* (C4) est caractérisée par *Erica scoparia* (la bruyère vagabonde), *Ulex minor* et *Calluna vulgaris*. La seconde alliance, de tendance mésophile sur sol plus profond, est présente par la lande du *Molinio-Pteridetum* Lecoq et Provost (1937), (relevé SY1) caractérisée par *Pteridium*

aquilinum et *Molinia coerulea*, la lande à *Cytisus scoparius* du *Sarothamnium* (Lecointe et Provost) caractérisée par *Cytisus scoparius* et la Fougère (C3) avec *Pteridium aquilinum*, la Fougère aigle.

II. - Techniques d'analyse

Les analyses de sol sont réalisées selon les méthodes préconisées par le Centre C.N.R.S. de Pédologie Biologique de Nancy (Rouiller, 1981).

La mesure électrométrique du pH est effectuée sur un mélange sol/solution de rapport 2/5. La lecture est effectuée sur le surnageant non agité, après mise en contact de 4 heures (pH eau) ou après agitation rotative de une heure et centrifugation (pH KCl).

Les cations basiques échangeables (dont la somme, exprimée en cmolc/kg, est notée S) sont extraits soit par contact d'une nuit suivie d'une percolation à l'acétate d'ammonium molaire pour K^+ et Na^+ , soit par agitation rotative d'une heure dans une solution de KCl molaire pour Ca^{2+} , Mg^{2+} et les ions de l'acidité (Al^{3+} et H^+ , notés Ae). Les protons et l'aluminium sont dosés par voie chimique en titristop (chaîne de titration Schott-Gerate), tous les autres éléments par absorption atomique (Ca, Mg) ou émission (K et Na) (Spectrophotomètre Atomspek Hilger-Watts H 1170).

La sommation des cations basiques échangeables (S) et des ions de l'acidité (Ae) donne la capacité totale d'échange (T) au pH du sol, le tout étant exprimé en cmolc/kg.

Le phosphore est dosé selon la méthode Duchaufour (colorimétrie à 4300 Å d'une solution de l'acide molybdovanadophosphorique). L'azote, extrait par minéralisation à 650°C (Bucchi 425) en milieu sulfurique concentré en présence de catalyseur, est dosé selon la méthode de Kjeldahl.

Les données sont analysées au moyen du test statistique de Kruskal-Wallis, équivalent non paramétrique de l'ANOVA (logiciel Systat).

RESULTATS ET COMMENTAIRES

I - LE BILAN GLOBAL

Les résultats des analyses (Tableaux II et III) traduisent une homogénéité, dans la pauvreté, des nutriments dans les sols sous landes sèches et sous taillis de châtaigniers régulièrement feuillardés.

On remarque la très grande discrétion des cations basiques échangeables, avec souvent moins de 1 cmolc/kg par cation, même dans la couche humifère. La somme de ces cations ne dépasse pas 2 cmolc/kg dans cette couche et chute à 0,5 cmolc/kg dès - 5 cm, au sommet des horizons B (presque exclusivement représentés par un horizon BP plus ou moins affirmé). En conséquence, les ions de l'acidité (Al^{3+} et H^+) saturent la plus grande partie du complexe d'échange : près de 5 cmolc/kg sous taillis à 6,4 cmolc/kg sous lande dans les horizons A, de 2,5 cmolc/kg à près de 4 cmolc/kg dans les mêmes conditions pour les horizons B et C. Si cette acidité est logiquement liée à la nature de la végétation à base d'Ericacées sous la lande, il n'est pas possible d'attribuer à la décomposition de la feuille de châtaignier une telle acidification du sol sous taillis.

| ROCHE | GNEISS LEPTINIQUES | | | GNEISS PLAGIOCLASTIQUES | | | GNEISS POMPADOUR | | | LEUCO-LEPTY GRANITE à 2 MICAS | | | GNEISS ISO GRANULAIRE | | Moyenne | Ecart type | Médiane | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------|------|------|-------------------------|------|------|------------------|------|-------|-------------------------------|------|------|-----------------------|------|---------|------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Ca | A | 0,20 | 0,06 | 0,18 | 0,24 | 0,17 | 0,45 | 0,38 | 0,20 | 0,77 | 1,13 | 0,52 | 0,45 | 0,44 | 0,62 | 0,10 | 0,18 | 0,17 | 0,03 | 0,04 | 0,58 | 0,33 | 0,18 | 0,28 | 0,21 | 0,33 | 0,26 | 0,24 | |
| | B | 0,09 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,22 | 0,14 | 0,35 | 0,09 | 0,14 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | - | - | 0,19 | 0,13 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | |
| | C | 0,06 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,09 | 0,31 | 0,09 | 0,08 | 0,26 | 0,14 | 0,11 | 0,07 | 0,12 | 0,23 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,01 | 0,09 | 0,15 | 0,09 | 0,08 | 0,06 |
| Mg | A | 0,58 | 0,30 | 0,38 | 0,45 | 0,38 | 1,13 | 0,50 | 0,38 | 1,17 | 0,80 | 0,63 | 0,69 | 0,49 | 1,33 | 0,96 | 1,42 | 1,44 | 1,01 | 0,27 | 0,78 | 1,34 | 0,99 | 0,84 | 0,84 | 0,79 | 0,37 | 0,63 | |
| | B | 0,19 | 0,04 | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,25 | 0,12 | 0,10 | 0,26 | 0,12 | 0,34 | 0,26 | 0,11 | 0,17 | 0,06 | 0,60 | 0,52 | 0,24 | 0,07 | 0,10 | - | - | 0,45 | 0,43 | 0,21 | 0,16 | 0,17 | |
| | C | 0,10 | 0,06 | 0,11 | 0,07 | 0,06 | 0,49 | 0,08 | 0,09 | 0,25 | 0,10 | 0,17 | 0,38 | 0,11 | 0,23 | 0,06 | 0,56 | 0,47 | 0,31 | 0,06 | 0,12 | 0,56 | 0,14 | 0,40 | 0,53 | 0,23 | 0,18 | 0,12 | |
| K | A | 0,55 | 0,52 | 0,55 | 0,65 | 0,48 | 0,65 | 0,63 | 0,71 | 0,64 | 0,62 | 0,48 | 0,75 | 0,44 | 0,64 | 0,46 | 0,29 | 0,48 | 0,57 | - | 0,61 | - | - | - | - | 0,56 | 0,11 | 0,57 | |
| | B | 0,20 | 0,12 | 0,29 | 0,19 | 0,10 | 0,12 | 0,32 | 0,09 | 0,26 | 0,23 | 0,35 | 0,30 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,04 | - | 0,13 | - | - | - | - | 0,19 | 0,08 | 0,19 | |
| | C | 0,10 | 0,09 | 0,17 | 0,15 | 0,06 | 0,08 | 0,18 | 0,07 | 0,22 | 0,15 | 0,20 | 0,35 | 0,11 | 0,15 | 0,26 | 0,14 | 0,24 | 0,20 | - | 0,06 | - | - | - | - | 0,15 | 0,07 | 0,15 | |
| Ae | A | 7,80 | 5,88 | 4,25 | 1,97 | 7,64 | 3,92 | 5,28 | 10,66 | 2,28 | 1,30 | 3,90 | 3,92 | 3,20 | 5,88 | 4,65 | 3,25 | 3,65 | 6,15 | 4,68 | 5,05 | 4,92 | 4,18 | 3,60 | 4,28 | 4,68 | 2,01 | 4,28 | |
| | B | 2,60 | 1,96 | 2,61 | 2,09 | 2,46 | 1,96 | 3,33 | 2,20 | 2,00 | 1,63 | 2,20 | 1,96 | 1,73 | 2,55 | 3,60 | 2,40 | 2,80 | 3,30 | 1,72 | 2,27 | - | - | 1,50 | 2,80 | 2,35 | 0,56 | 2,46 | |
| | C | 1,96 | 2,61 | 2,30 | 1,30 | 1,97 | 1,63 | 3,38 | 2,35 | 2,26 | 1,93 | 2,50 | 1,30 | 1,73 | 2,60 | 5,20 | 1,00 | 3,40 | 3,65 | 3,97 | 2,70 | 4,27 | 2,39 | 2,80 | 1,50 | 2,53 | 1,02 | 2,70 | |
| Vsol | A | 16,6 | 11,2 | 23,1 | 35,9 | 12,8 | 33,4 | 26,9 | 12,1 | 43,8 | 59,5 | 30,6 | 32,2 | 30,3 | 32,5 | 23,9 | 34,7 | 35,1 | 20,5 | 6,4 | 31,6 | 24,8 | 21,5 | 23,0 | 18,0 | 26,70 | 11,60 | 24,80 | |
| | B | 17,8 | 10,2 | 18,6 | 16,7 | 12,7 | 16,9 | 18,6 | 16,7 | 23,8 | 24,1 | 34,8 | 31,5 | 20,0 | 24,2 | 8,6 | 24,4 | 21,1 | 8,9 | 12,4 | 16,8 | - | - | 25,0 | 16,0 | 19,40 | 7,10 | 18,60 | |
| | C | 13,2 | 6,6 | 14,7 | 20,0 | 18,7 | 21,2 | 12,5 | 13,1 | 18,1 | 20,9 | 19,8 | 44,7 | 18,6 | 26,9 | 6,6 | 39,6 | 17,9 | 12,6 | - | 13,6 | 13,6 | 5,2 | 29,0 | 26,0 | 18,80 | 9,60 | 18,60 | |
| PH eau | A | 4,1 | 3,9 | 4,9 | 5,2 | 4,0 | 4,7 | 4,6 | 3,7 | 4,8 | 5,0 | 4,6 | 4,9 | 4,7 | 4,5 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,4 | 4,1 | 4,6 | 3,9 | 4,3 | 4,6 | 4,7 | 4,52 | 0,39 | 4,70 | |
| | B | 4,8 | 5,1 | 5,0 | 5,3 | 4,8 | 4,9 | 4,7 | 4,8 | 5,0 | 5,2 | 5,1 | 5,2 | 5,0 | 4,8 | 5,1 | 5,3 | 5,2 | 5,1 | 4,7 | 5,0 | - | - | 5,2 | 4,6 | 5,00 | 0,19 | 5,00 | |
| | C | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 5,1 | 5,6 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,5 | 5,2 | 5,2 | 4,7 | 5,0 | 4,2 | 4,6 | 5,6 | 5,1 | 5,00 | 0,31 | 5,00 | |
| PH | A | 3,8 | 3,9 | 4,1 | 4,3 | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 3,5 | 4,0 | 4,3 | 3,9 | 4,2 | 4,0 | 3,7 | 4,0 | 3,8 | 4,0 | 3,7 | 3,9 | 3,7 | 3,9 | 3,9 | 4,2 | 4,2 | 3,96 | 0,21 | 4,00 | |
| | B | 4,6 | 4,6 | 4,7 | 4,6 | 4,7 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,5 | 4,2 | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,7 | 4,6 | - | - | 4,7 | 4,5 | 4,55 | 0,12 | 4,60 | |
| | C | 4,6 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,4 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,9 | 4,4 | 4,8 | 4,5 | 4,7 | 4,5 | 4,5 | 4,2 | 4,5 | 4,3 | 4,6 | 4,54 | 0,21 | 4,50 | |
| P205 | A | 0,14 | - | 0,13 | 0,22 | - | - | 0,04 | 0,23 | 0,18 | 0,25 | 0,22 | - | - | 0,17 | 0,22 | 0,11 | 0,10 | 0,13 | - | - | - | - | - | - | 0,14 | 0,07 | 0,17 | |
| | B | 0,16 | - | 0,09 | 0,10 | - | - | 0,03 | 0,09 | 0,16 | 0,21 | 0,18 | - | - | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | 0,10 | 0,06 | 0,09 | |
| | C | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,15 | - | - | - | - | - | 0,05 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| N% | A | 0,56 | 0,67 | 0,31 | 0,30 | 0,53 | 0,48 | 0,30 | 0,93 | 0,30 | 0,27 | 0,37 | 0,44 | 0,32 | 0,64 | 0,49 | 0,20 | 0,18 | 0,33 | - | 0,40 | - | - | - | - | 0,42 | 0,18 | 0,37 | |
| | B | 0,03 | 0,08 | 0,14 | 0,05 | 0,14 | 0,03 | 0,14 | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | - | 0,09 | - | - | - | - | 0,07 | 0,04 | 0,06 | |
| | C | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,04 | - | 0,02 | 0,02 | - | 0,02 | - | - | - | - | - | - | - | |

Gneiss leptyniques et plagioclastiques(Chalus): VERGER et al., 1983 - Gneiss Pompadour: VERGER & JAVELLAUD, 1986 - Leucogranites, Granite à 2 micas : VERGER et al., 1993.- Leptynites : Chatelus 1987 - Ca, Mg, K et Ae en cmolc/kg.

Tableau II. - Composition des sols sous taillis de châtaignier dans la châtaigneraie limousine.

Pour le calcium, tant sous les landes que sous les châtaigniers (tableau IV), les sols se situent dans la très grande majorité des cas sous le seuil de pauvreté défini par Bonneau (1995). Dans les mêmes conditions, les teneurs en magnésium sont en limite de ce seuil, ou légèrement en-dessus pour le potassium.

Les pH sont toujours très acides en surface (pH_{eau} compris entre 4,2 et 4,5 respectivement sous lande et sous taillis) comme en profondeur (pH de 5). Dans les deux cas, les pH_{KCl} confirment cette acidité : $\text{pH} < 4$ dans les couches humifères, de l'ordre de 4,5 dans les autres horizons, avec présence de protons dans les horizons A, protons qui apparaissent à $\text{pH} < 4,2$ selon Penel (1979). A ces basses valeurs du pH, l'aluminium est présent dans les sols sous ses formes hydroxylées monomères les plus toxiques pour la végétation (Ciaccio, 1973), (Figure 1).

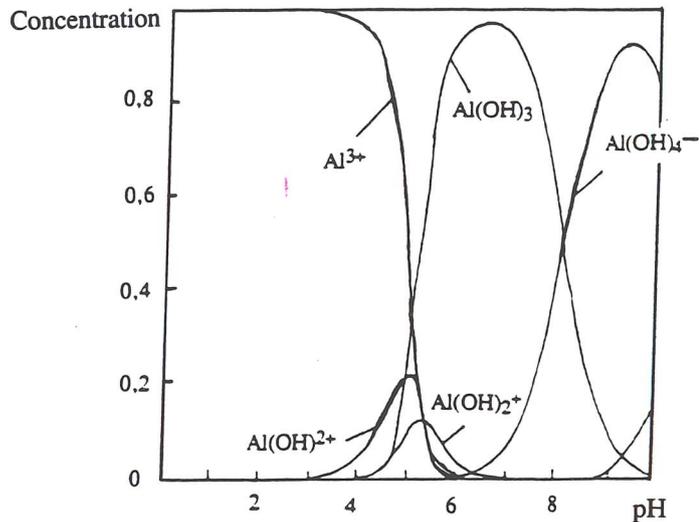


Figure 1.- Répartition des espèces hydroxylées monomères de l'aluminium en fonction du pH
Al total = 10^{-4} Mol.L⁻¹ (Ciaccio, 1973).

Les sols sont des ALOCRISOLS (selon la nomenclature du Référentiel pédologique de Baize et Girard, 1995) souvent à tendance ocrique (= sols bruns désaturés de la C.P.C.S.) ou des PODZOSOLS OCRIQUES jeunes sous taillis de châtaignier, des PODZOSOLS OCRIQUES (= sols bruns cryptopodzoliques de la C.P.C.S.) ou des LUVISOLS-REDOXISOLS (= Sols bruns lessivés sur pseudogley de la C.P.C.S.) sous landes.

II - LE BILAN DE DETAIL

La couche humifère des sols sous taillis est toujours très mince, le plus souvent d'une épaisseur inférieure à 4 cm. La litière de feuilles, bogues et branchages se juxtapose à l'horizon A, donnant des humus de type moder (hémimoder à eumoder) à couche d'humus fin (couche OH) souvent discontinue.

Le calcium, qui représente le cation cardinal des sols, est particulièrement déficitaire dans l'horizon humifère. Les teneurs sont, le plus souvent, inférieures à 0,3 cmolc/kg. Dès l'horizon B, Ca est pratiquement absent de ces sols. Dans ce cortège de faibles valeurs, la nature de la roche-mère influe sur la teneur en calcium. Les horizons minéraux des roches les plus acides (gneiss leptyniques) sont les plus dépourvus (de 0,01 à 0,10 cmolc/kg) alors que la présence d'éléments noirs et de plagioclases dans la roche (gneiss plagioclasiques, granites) apporte des teneurs supérieures à 0,10 cmolc/kg. Les rotations du taillis se faisaient respectivement à 6 ans et 15-20 ans selon la nature de la

| ELEMENT | ROCHE | LEUCOGRANITE | | GRANITE à BIOTITE | | | | | | GNEISS | | | Moyen- ne | Ecart- type | Médiane |
|---------|---------|--------------|-------|-------------------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------------|----------------|---------|
| | HORIZON | CF1 | CF2 | A1 | C2 | J2 | SY1 | C3 | C4 | L1 | CB1 | CB2 | | | |
| Ca | A | 0,08 | 1,20 | 1,76 | 0,29 | 0,08 | 0,34 | 0,28 | 0,43 | 0,25 | 0,87 | 1,78 | 0,67 | 0,64 | 0,34 |
| | B | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,13 | 0,18 | 0,06 | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,05 | 0,10 |
| | C | 0,07 | 0,04 | - | - | - | 0,07 | 0,26 | - | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,08 |
| Mg | A | 0,10 | 0,26 | 0,56 | 0,53 | 0,21 | 0,49 | 0,39 | 0,85 | 0,22 | 0,30 | 0,85 | 0,43 | 0,25 | 0,53 |
| | B | 0,07 | 0,10 | 0,16 | 0,06 | 0,06 | 0,13 | 0,26 | 0,49 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,15 | 0,13 | 0,12 |
| | C | 0,08 | 0,04 | - | - | - | 0,19 | 0,39 | - | 0,20 | 0,11 | 0,27 | 0,18 | 0,12 | 0,19 |
| K | A | 0,20 | 0,91 | 0,23 | 0,20 | 0,23 | 0,49 | 0,61 | 0,57 | 0,37 | 0,55 | 0,40 | 0,43 | 0,24 | 0,40 |
| | B | 0,06 | 0,14 | 0,13 | 0,02 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,14 | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,05 | 0,12 |
| | C | 0,05 | 0,14 | - | - | - | 0,06 | 0,08 | - | 0,14 | 0,18 | 0,11 | 0,11 | 0,05 | 0,11 |
| Ae | A | 4,40 | 9,20 | 5,35 | 5,25 | 8,80 | 4,56 | 5,28 | 8,06 | 7,8 | 7,60 | 4,60 | 6,44 | 1,84 | 5,35 |
| | B | 3,30 | 3,80 | 4,30 | 3,20 | 3,95 | 4,04 | 6,08 | 3,28 | 3,15 | 3,20 | 3,95 | 3,84 | 0,85 | 3,80 |
| | C | 2,42 | 3,85 | - | - | - | 5,10 | 5,87 | - | 2,60 | 1,85 | 2,50 | 3,45 | 1,52 | 2,60 |
| Vsol | A | 8,00 | 31,30 | 32,30 | 31,3 | 12,3 | 21,90 | 19,30 | 18,70 | 9,70 | 15,50 | 40,00 | 21,80 | 10,50 | 21,90 |
| | B | 5,50 | 7,00 | 8,20 | 6,10 | 3,10 | 7,10 | 6,90 | 17,90 | 9,50 | 11,10 | 9,00 | 8,30 | 3,83 | 8,20 |
| | C | 7,60 | 5,30 | - | - | - | 10,90 | 11,00 | - | 13,90 | 16,70 | 16,00 | 11,60 | 4,23 | 11,00 |
| pHeau | A | 4,70 | 3,90 | 4,10 | 4,00 | 3,80 | 4,90 | 4,70 | 4,10 | 4,00 | 4,20 | 4,4 | 4,25 | 0,37 | 4,10 |
| | B | 4,90 | 5,10 | 4,50 | 5,00 | 4,60 | 4,90 | 4,90 | 5,20 | 4,75 | 4,20 | 4,6 | 4,84 | 0,22 | 4,90 |
| | C | 5,00 | 4,80 | - | - | - | 5,30 | 5,30 | - | 4,90 | 4,90 | 5,2 | 5,05 | 0,20 | 5,00 |
| pHKCl | A | 4,30 | 3,00 | 3,80 | 3,25 | 3,00 | 0,00 | 3,50 | 3,50 | 3,90 | 4,00 | 4,1 | 3,97 | 0,50 | 3,80 |
| | B | 4,40 | 4,60 | 4,50 | 4,60 | 4,25 | 4,50 | 4,30 | 4,20 | 4,40 | 4,60 | 4,5 | 4,44 | 0,14 | 4,60 |
| | C | 4,40 | 4,50 | - | - | - | 4,50 | 4,30 | - | 4,45 | 4,70 | 4,6 | 4,49 | 0,13 | 4,50 |
| P205% | A | 0,34 | 0,14 | 0,13 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,02 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,10 |
| | B | 0,28 | 0,07 | 0,10 | 0,03 | 0,06 | 0,18 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| | C | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,05 | - | 0,05 | - | - | - |
| N% | A | 0,23 | 1,16 | 0,66 | 0,67 | 0,90 | 0,33 | 0,46 | 1,21 | 0,91 | 0,69 | 0,71 | 0,72 | 0,31 | 0,71 |
| | B | 0,06 | 0,13 | 0,28 | 0,09 | 0,06 | 0,17 | 0,03 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,18 | 0,11 | 0,08 | 0,13 |
| | C | 0,02 | 0,02 | - | - | - | 0,02 | 0,02 | - | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |

Ca, Mg, K et Ae en cmolc/kg

CF1 et CF2 (Cognac la Forêt) : Sol brun acide à *Cytisus scoparius*, *Calluna vulgaris*.- Sol podzolique à *Ulex minor*. A1 (Augne) : Sol ocre podzolique; C2 (Cinturat) et J2 (Javerdat, la Valette) : Sol podzolique les trois à *Erica cinerea*, *Ulex minor*, *Calluna vulgaris*.- SY1 (St Yriex, la Ribière) : Sol brun acide à *Pteridium aquilinum*, *Molinia coerulea*.- C3 (Cinturat) : Sol lessivé sur pseudogley, à *Pteridium aquilinum*.- C4 (Cinturat) : Sol lessivé à *Ulex minor*, *Calluna vulgaris*, *Erica tetralix*, *Molinia coerulea*. L1 (Linard, les Puits), CB1 et CB2 (La Croisille/Briance, Puy Pouyol) : Sol brun cryptopodzolique à *Erica cinerea* et *Ulex minor*.

N.B. : nomenclature des sols selon la classification C.P.C.S.

Tableau III.- Composition chimique des sols sous landes sèches de la châtaigneraie limousine.

| Horizon | Type de sol | K cmolc/kg | Ca cmolc/kg | Mg cmolc/kg |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Horizons humifères | Sols à châtaigniers médiane | 0,29 à 0,75 0,57 | 0,03 à 1,13 0,24 | 0,27 à 1,44 0,63 |
| | Sols de landes médiane | 0,20 à 0,91 0,4 | 0,08 à 1,76 0,34 | 0,10 à 0,60 0,53 |
| | Seuil de pauvreté | < 0,4 | < 1,0 | < 0,6 |
| | Horizons minéraux | Sols à châtaigniers médiane | 0,06 à 0,35 0,17 | 0,01 à 0,31 0,07 |
| Sols de landes médiane | | 0,02 à 0,15 0,11 | 0,02 à 0,26 0,09 | 0,04 à 0,39 0,15 |
| Seuil de pauvreté | | < 0,12 | < 0,30 | < 0,15 |

Tableau IV.- Concentrations en K, Ca et Mg des sols des taillis de châtaigniers et des landes sèches de la Châtaigneraie Limousine.

roche. Les sols de landes montrent une teneur moyenne deux fois plus forte (0,67 cmolc/kg avec un écart-type élevé de 0,64). La valeur médiane (0,34 cmolc/kg) reste très supérieure à celle des sols du taillis (0,24 cmolc/kg). Une comparaison avec des analyses de sols forestiers et de landes de la région d'Eymoutiers (de 1,6 à 4,5 cmolc/kg) (Dejou *et al.*, 1968; Nys, 1973) confirme cette pauvreté en calcium des sols sous taillis régulièrement feuillardés. Le test de Kruskal-Wallis ne montre pas une différence significative entre les teneurs en Ca des sols sous les taillis et sous les landes au-delà d'un seuil de 12 %. Si l'on exclut les deux valeurs les plus extrêmes (1,13 cmolc/kg sous taillis et 0,08 cmolc/kg sous landes) la différence est significative au seuil de 1,2 %. Par contre l'ANOVA réalisée sur l'ensemble des données montre que la différence dans les taux de calcium est significative entre les deux milieux (fig.2). On peut donc retenir que les sols de landes doivent être considérés comme significativement plus riches en calcium que ceux du taillis.

Le magnésium représente le cation basique dominant de tous les horizons des sols sous taillis. Même si les teneurs sont faibles (moyenne de 0,79 cmolc/kg +/- 0,37, valeur médiane de 0,63 cmolc/kg) elles sont un peu supérieures à celles des sols de landes (moyenne de 0,45 cmolc/kg +/- 0,26, valeur médiane de 0,53 cmolc/kg). La différence est fortement significative entre les deux milieux au seuil de 1 % et l'ANOVA confirme cette différence (fig.2).

Le potassium suit une répartition analogue à celle du magnésium. Ce cation est un peu plus présent sous taillis (moyenne de 0,56 cmolc/kg +/- 0,11, valeur médiane de 0,57 cmolc/kg) que dans les sols de landes (moyenne de 0,43 cmolc/kg +/- 0,24, valeur médiane de 0,40 cmolc/kg). Les différences entre les deux milieux ne sont pas significatives.

Les teneurs en P₂O₅ (0,14 cmolc/kg, valeur médiane de 0,17 cmolc/kg) sous taillis, (0,11 cmolc/kg, valeur médiane de 0,10 cmolc/kg) sous landes, sont analogues. Elles restent, de toute façon, très déficitaires comme dans la plupart des sols du Limousin. Comme pour le cation précédent les différences ne sont pas significatives entre landes et taillis.

L'azote représente l'autre élément majeur de la nutrition des plantes plus déficitaire dans les sols de taillis. Les valeurs sont de près de 60 % inférieures à celles des sols de landes : 0,42 % (valeur médiane de 0,37) pour les premiers, 0,72 % (valeur médiane de 0,71 %) pour les seconds. Les teneurs en azote sont significativement différentes entre les taillis et les landes au seuil de 0,6 %.

A l'inverse des cations, l'importance des ions de l'acidité sous les sols de landes traduit nettement le rôle d'une matière organique riche en Ericacées, dont la pauvreté en azote et les propriétés acidifiantes sont bien connues. La différence avec les sols du taillis est significative au seuil de 1% dans l'humus. Cette différence dans l'importance des ions de l'acidité se poursuit de façon hautement significative (< 0,01%) jusque dans l'horizon B (fig. 3).

CONCLUSION

Selon Bonneau (1993), des insuffisances d'alimentation minérale extrêmement variées ont été mises en évidence en forêt. Si les grands types de carence s'organisent en fonction des grandes conditions géopédoclimatiques en un lieu donné, la richesse initiale de la roche-mère, l'âge du sol, le type de matériel parental ainsi que l'histoire de l'écosystème conditionnent les possibilités

CHATAIGNERAIE LIMOUSINE

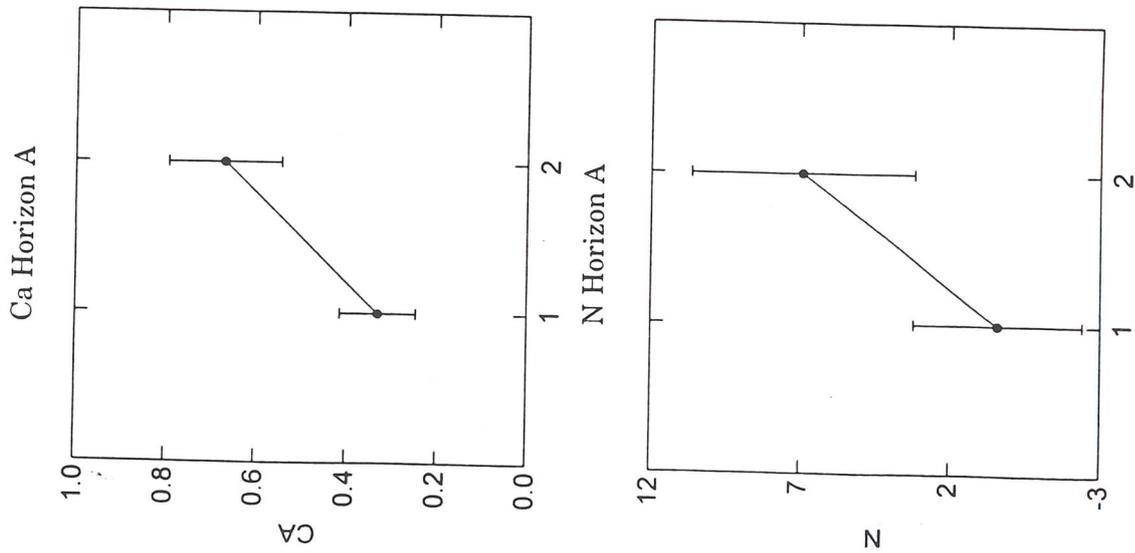


Figure 2.- Variations comparées du Calcium, du Magnésium et de l'Azote au sein de l'horizon humifère sous taillis de châtaigniers (1) et landes sèches (2).

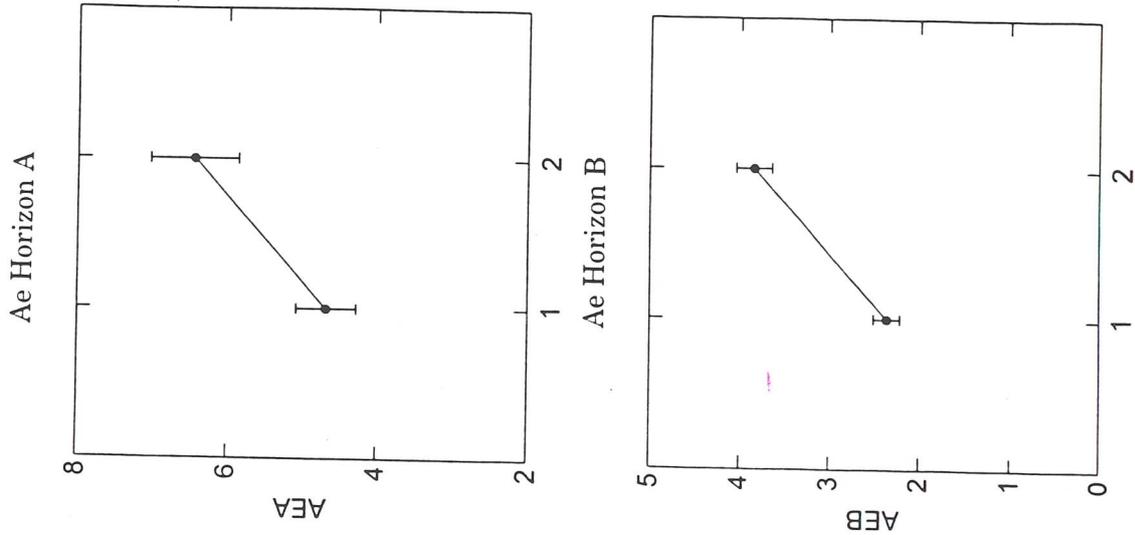


Figure 3.- Variations comparées des ions de l'acidité (Ae) sous taillis de châtaigniers (1) et landes sèches (2).

d'alimentation minérale.

Bouchon *et al.* (1986), dans une étude sur la "Mise en valeur des taillis classiques" de châtaignier répartis entre Limoges (87) et Parthenay (79) avaient montré que les stations sur roches-mères cristallines acides de Parthenay et Chalus (incluant donc notre zone d'étude) étaient pauvres et que la production pouvait être corrélée à des paramètres de fertilité du sol comme le taux de saturation (Vsol) dans l'horizon humifère et le rapport Al/Ca. Les mesures concernant l'immobilisation moyenne des éléments minéraux par les taillis adultes (Tableau V) font ressortir la forte immobilisation de l'azote (de l'ordre de 7 kg/ha/an) et surtout du calcium (6 à 12 kg/ha/an) (bien que le châtaignier soit calcifuge) par rapport aux autres minéraux (3 à 3,6 kg pour K, 1,5 à 3,1 kg pour Mg et seulement 0,4 à 0,5 kg pour P₂O₅).

| SITUATION | AGE en ans | MINERALOMASSE | | | | |
|---------------------------------------|------------------|---|------|------|-------|------|
| | | Immobilisation moyenne en Kg/ ha-1/ an -1 | | | | |
| | | N | P | K | Ca | Mg |
| MEZIERES/ISSOIRE (87) : Bois St Anne | 28 | 7,20 | 0,39 | 3,30 | 9,80 | 2,00 |
| La ROCHE L'ABEILLE (87) : La Traverse | 24 | 7,20 | 0,41 | 3,60 | 6,10 | 2,20 |
| CHALUS (87) : Forêt des Cars | 23 | 7,10 | 0,37 | 3,60 | 7,70 | 1,50 |
| RUFFEC (16) : Les Adjots | 23 | 7,50 | 0,47 | 3,50 | 12,90 | 3,10 |
| LEZAY (79) : Bois de la Foye | 22 | 6,30 | 0,37 | 3,00 | 7,50 | 1,70 |

Tableau V.- Immobilisation moyenne d'éléments minéraux dans les taillis simples adultes de châtaignier (d'après Bouchon *et al.*, 1986).

L'exportation régulière et longtemps totale, car comprenant aussi la litière (teneur en calcium de l'ordre de 1,6 mg/g de matière sèche dans les feuilles de taillis de 5 ans à 1,2 mg/g de matière sèche dans les feuilles de taillis de 25 ans selon Chatelus, 1987) et les branches, par la pratique du feuillardage est fort préjudiciable à l'équilibre de fertilité du sol. Le calcium est l'élément le plus prélevé mais très peu recyclé en raison de l'enlèvement des litières, alors que la mobilisation chimique du minéral dans la roche est réduite en raison de sa faible présence. Les apports atmosphériques estimés à 5,6 kg/ha/an en forêt de Chalus par Chatelus, ne compensent pas les pertes. Il en résulte un appauvrissement du sol du taillis en cet élément. Des éléments comme le phosphore, naturellement déficitaire sur les roches cristallines, sont aussi très concernés par les exportations. Les analyses récentes sur la fertilité des sols forestiers landais (Trichet *et al.*, 1999) montrent que, pour l'azote, "le non renouvellement de la ressource par fertilisation.....laisse entrevoir un appauvrissement progressif des réserves azotés au fur et à mesure des rotations". Cette répétitivité des prélèvements par l'homme, sur une très longue durée, a conduit à un épuisement des sols des taillis feuillardés et à l'apparition d'aluminium échangeable en grande quantité, aluminium dont la nocivité en matière forestière est bien connue. Il en résulte aussi un déséquilibre dans la nutrition minérale (Ca²⁺ étant loin derrière Mg²⁺ et K⁺). Selon Ranger et Colin-Belgrand (1996), il est clair que l'association de courtes rotations et l'exportation totale de l'arbre représente la combinaison la plus défavorable pour le bon fonctionnement de l'écosystème taillis. L'intervention humaine a donc ramené la fertilité déjà

naturellement faible de ces sols forestiers à un niveau comparable, et même inférieur pour le calcium et l'azote, à celui d'une lande sèche à bruyères. Ce sont des problèmes du même type que soulèvent Trichet *et al.* (1999) à propos du Pin maritime, en exposant que "le raccourcissement des révolutions est sans doute le point le plus délicat à prendre en compte dans le raisonnement du maintien de fertilité des sols forestiers landais."

Cet aspect, que nous avons soulevé dès 1983, montre que la réutilisation de ces sols pour une sylviculture de qualité, type châtaignier ou autre, passe d'abord par une recharge des sols en éléments minéraux, avec en premier lieu des apports de calcium et d'azote. Les expériences en cours sur taillis en milieu naturel (Verger depuis 1990, non publié, Rahmani *et al.* 1997) et en milieu semi-contrôlé (Laroche, 1997) montrent une excellente incorporation par le châtaignier du calcium apporté qui semble induire, selon les premières mesures, une meilleure repousse du taillis.

BIBLIOGRAPHIE

- BAIZE D. & GIRARD M.C. coordinateurs, 1995.- Référentiel pédologique. INRA Editions, 332 p.
- BONNEAU M., 1993.- Déséquilibre nutritif en forêt en relation avec les grands types de conditions géopédoclimatologiques. *C.R. Acad. Agric. Fr*, 4 : 93-103.
- BONNEAU M., 1995.- Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. Edit. de l'ENGREF, 368 p.
- BELLIGAUD G. & FREDON J.J., 1985.- L'introduction du châtaignier en Limousin : Indications fournies par la découverte de bois carbonisés dans un site archéologique. *Ann. Sc. Limousin*, 1 : 19-25.
- BOUCHON J., NYS C. & RANGER J., 1986.- Mise en valeur des taillis classiques. C.R. AFME, 4 p.
- CHATELUS S., 1987.- Contribution à l'analyse du cycle des éléments minéraux dans un écosystème forestier. Cas particulier du taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). Thèse Doct. 3ème cycle, Limoges, 151 p.
- CIACCIO L.L., 1973.- Water and water pollution, Handbook, M.Decker, Inc. New York, 1, 373 p.
- DEJOU J., GUYOT J. & MORIZET J., 1968.- Juxtaposition de sols noirs, très riches en matière organique et de sols bruns acides sur leucogranite dans la région d'Eymoutiers - Peyrat-le-Château (Hte-Vienne). *Ann. Agron.*, 19, 5 : 511-539.
- DUTREUIL J.P., 1978.- Les granites de l'ouest du Limousin : leur pétrologie, leur altération, leurs sols. Thèse Doct. Etat, 78-10, Limoges, 520 p.
- FLOC'H J.P., 1983.- La série métamorphique du Limousin central : une traverse de la branche ligérienne de l'orogène varisque, de l'Aquitaine à la zone broyée d'Argentat (Massif central français). Thèse Doct. Etat, 83-36, Limoges, 445 p. + annexes.
- JAVELLAUD J., 1986a.- Contribution à l'étude phytoécologique des landes atlantiques du Limousin occidental : "Châtaigneraie limousine". Thèse 3ème cycle, Limoges, 36, 147 p.
- JAVELLAUD J. coordination, 1986b.- Catalogue des Stations Forestières de la Châtaigneraie Limousine. CRPF Limoges. 45 p. + annexes.
- LAROCHE A., 1997.- Approches expérimentales de la nutrition du châtaignier. Influence d'apports

nutritifs sur la croissance des plants, sur la distribution des éléments minéraux dans les organes et sur les caractéristiques générales des pectines chez de jeunes arbres cultivés sous serre. Thèse Doct. Université de Limoges, 188 p. + annexes.

- LEGROS J.P., 1982.- L'évolution granulométrique au cours de la pédogénèse. Approche par simulation sur ordinateur. Application aux sols acides sur matériaux cristallins en zone tempérée. Thèse Doct. Etat, Montpellier, 436 p.
- LEGROS J.P., 1984.- Introduction à l'étude de la simulation de l'évolution granulométrique du sol. Présentation d'un modèle informatique. *Sc. Sol*, 1 : 51-62.
- LEMEE G., 1980.- Evolution posglaciaire et récente de la végétation des Monts de la Marche d'après l'analyse pollinique. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 127, 1, 59-69.
- NYS C., 1973.- Les sols du plateau de Millevaches. *Sc. sol*, 4 : 241-253.
- PENEL M., 1979.- Caractérisation physico-chimique et classification des humus forestiers acides en relation avec la végétation et ses exigences écologiques. Thèse Spécialité Pédologie, Nancy I, 112 p. + annexes.
- RAHMANI A., VERGER J.P., LAROCHE A. & MORVAN H., 1997.- Essai en Limousin de fertilisation au champ de jeunes plants forestiers : Chêne pédonculé, Châtaignier, Douglas et Pin sylvestre. *Rapport contrat P.D.Z.R.*, 86 p.
- RANGER J. & COLIN-BELGRAND M., 1996.- Nutrient dynamics of chestnut tree (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands. *Forest Ecol. Manag.*, 86 : 259-277.
- ROUILLER J., 1981.- Analyses des sols. Techniques de laboratoire. Note technique n°32 (mai 1981). CPB, CNRS de Nancy-Vandoeuvre, 42 p.
- TRICHET P., JOLIVET Cl., ARROUAYS D., LOUSTAU D., BERT D. & RANGER J., 1999.- Le maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive du pin maritime. *Et. Gest. Sols*, 6, 4 : 197-214.
- VERGER J.P., BAFFET M., JAVELLAUD J. & DUTREUIL J.P., 1983.- Etude pédologique du taillis de châtaignier, commune de Chalus. *Contrat DDA-Univ. Limoges.*, 46 p.
- VERGER J.P., JAVELLAUD J., VILKS & BOTINEAU M., 1985.- Le taillis de châtaignier de la forêt communale de Cussac (87). *Rapports Sol-Végétation. Coll. Phytosocio.*, XIV, 515-525.
- VERGER J.P. & JAVELLAUD J., 1986.- Etude phytoécologique d'un taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill) en forêt domaniale de Pompadour. *Ann. Sc. Limousin*, 2, 39-52.
- VERGER J.P., 1989.- Evolution granulométrique des sols sous taillis de châtaigniers en Limousin. *Ann. Sc. Limousin*, 5, 25-36.
- VERGER J.P., MORVAN H., FOURNIER J.M., MARGA F., MAISONNIER C., FREYSSAC V., DESJOBERT Th., & DOMAIN Ph., 1993.- Nutrition minérale du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). Rôle dans le développement de la roulure. Exemple du Limousin. *Rapport programme AGROBIO*, 36 p.
- VILKS A., 1991.- Analyse chorologique de la flore vasculaire du Limousin. Thèse Doct. Etat, Université de Limoges. Tome 1, mémoire : 241 p. ; Tome 2, illustrations : 336 p. ; Tome 3, annexes : 117 p.