

Les sols de "touyas" issus d'alluvions anciennes des gaves pyrénéens : Veracrisols. Intégration au Référentiel Pédologique

D. ARROUAYS*

D. BAIZE**

M. HARDY**

avec la collaboration technique de C. LE LAY **

RÉSUMÉ

Dans l'extrême sud-ouest de la France (Béarn, Chalosse), les terrasses anciennes des gaves pyrénéens portent des sols acides, humifères sur une grande profondeur, caractérisés par un brassage biologique intense, présentant une structuration d'origine biologique et dénommés localement "sols de touyas".

Après une présentation générale du milieu naturel, puis des méthodes d'échantillonnage et d'analyses utilisées, nous décrivons la morphologie et les caractéristiques principales de ces sols. Ceux-ci apparaissent issus d'anciens sols lessivés, affectés par une accumulation et un brassage des matières organiques liés à la combinaison d'une végétation de landes, d'un pédoclimat particulièrement doux et humide, et de l'activité de vers anéciques géants du genre *Scherotheca*.

A partir de l'étude détaillée d'un solum, nous présentons la nature minéralogique de la fraction argile de ces sols. Nous décrivons ensuite l'évolution de la morphologie et des propriétés de ces solums sous l'effet de la mise en monoculture de maïs grain. Nous soulignons pour cette unité de paysage pédologique la variabilité importante actuelle des caractères de surface suivants : squelette granulométrique, taux d'argile et taux de carbone.

La morphologie, la pédogenèse et les propriétés très spécifiques de ces sols justifient la création d'une référence originale au sein du nouveau Référentiel Pédologique.

MOTS-CLÉS : sol - Veracrisol - matière organique - Référentiel Pédologique - variabilité spatiale - Pyrénées.

"TOUYAS" SOILS FROM ALLUVIAL DEPOSITS OF PYRENEAN "GAVES" : VERACRISOLS

Integration into the Référentiel Pédologique

In the South-West of France, thick humic acid soils are developed from Quaternary silty alluvial deposits. These soils show a strong biological structuration and are locally called "sols de touyas".

After a brief presentation of their environment, sampling scheme and analytical methods, the morphology and the main features of these soils are described. Clay minerals are then studied on a representative profile.

* INRA SESCOF, Antenne de Bordeaux, 33140 Pont de la Maye.

** INRA SESCOF, Centre de Recherches d'Orléans, 45160 Ardon.

These soils derive from ancient leached soils subsequently modified by organic matter accumulation and intense biological activity of giant earth-worms, under ulex land and warm oceanic climate. The evolution of these soils under intensive corn cropping is then described. The large variability of some surface characteristics is pointed out.

Their morphology, their evolution and properties require the creation of a new Reference in the French Soil Reference Base (Référentiel Pédologique).

KEY-WORDS : soil - Veracrisol - organic matter - Référentiel Pédologique - spatial variability - Pyrénées.

INTRODUCTION

Dans le piémont pyrénéen, de vastes terrasses ont été construites par les gaves durant le Quaternaire (TAILLEFER, 1951 ; ALIMEN, 1953, 1964 ; ICOLE, 1973). Celles-ci sont constituées d'alluvions caillouteuses plus ou moins altérées en fonction de l'âge du dépôt (ICOLE, 1973), surmontées par des limons considérés comme éoliens (ALIMEN, 1953) ou fluviatiles, avec localement une reprise éolienne (CALLOT et JUSTE, 1971 ; ICOLE, 1973).

Sur l'ensemble des terrasses d'âges Mindel et antérieurs, ces limons ont été le siège d'une évolution particulière qui leur confère une morphologie et des caractéristiques peu communes. CALLOT et JUSTE (1971) ont présenté cet ensemble comme une unité aux caractères très spécifiques, dont le rattachement aux références de l'époque (C.P.C.S., 1967) apparaissait difficile et pour laquelle ils proposaient l'appellation de "sols isohumifères".

Dans le cadre d'un essai méthodologique de cartographie des pédopaysages à 1/250 000, ces sols ont fait l'objet d'une synthèse des études préexistantes et d'acquisitions de données complémentaires par le Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France. Nous nous proposons de faire le point sur les connaissances acquises sur ces sols et d'en souligner les particularités. Nous décrivons ensuite l'évolution de ces sols sous l'effet d'une mise en culture intensive, en particulier en ce qui concerne les stocks de carbone de l'horizon de surface ; nous soulignons la variabilité des caractères de surface actuels de ces sols. Enfin, nous proposons de les intégrer dans le Référentiel Pédologique (ARROUAYS, 1992) en définissant une Référence qui leur soit spécifique.

I. LE MILIEU NATUREL

1. Cadre géographique et géomorphologique

Les terrasses étudiées sont principalement comprises entre l'Adour et le Gave de Pau (Fig. 1) où elles correspondent à des dépôts successifs de l'ancien Gave de Lourdes, dont le cours, de direction primitive sud-nord, s'est progressivement infléchi vers l'ouest, pour rejoindre l'actuel Gave de Pau (TAILLEFER, 1951). Elles sont également présentes le long du Gave d'Oloron. L'érosion ultérieure ayant entaillé les autres formations plus meubles, ces terrasses, larges de quelques kilomètres, se retrouvent le plus souvent en position de plateau par une inversion de relief.

Entre l'Adour et le Gave de Pau, ces terrasses couvrent une surface d'environ 75 000 hectares.

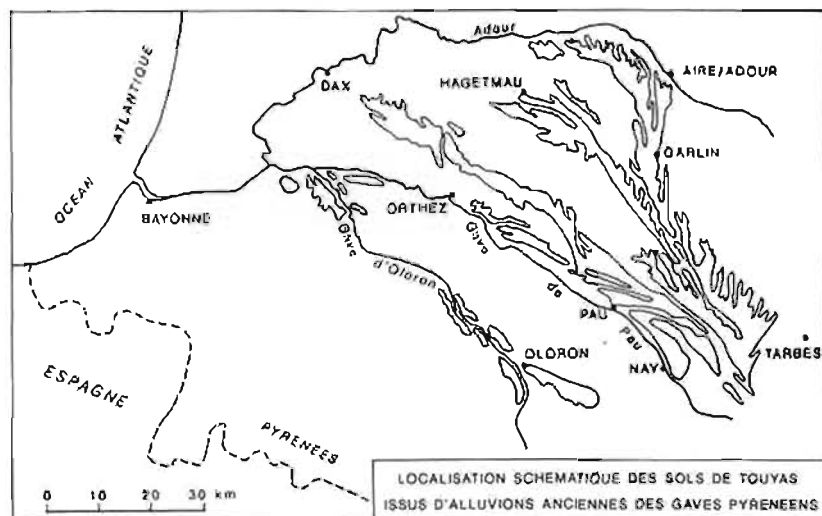


Figure 1 : Situation géographique
Geographic location of the study

La pente générale de ces terrasses est très faible en aval, et s'accroît progressivement vers l'amont (Fig. 2).

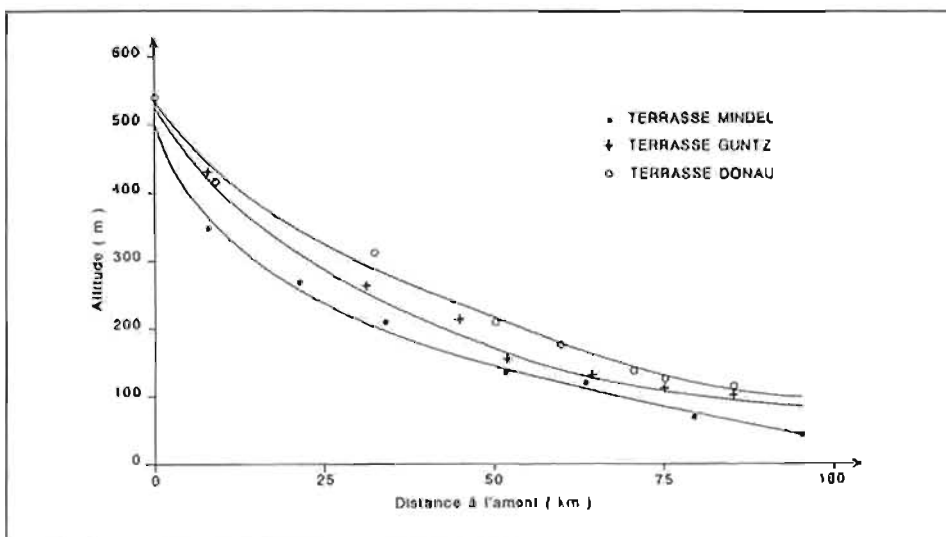


Figure 2 : La pente des terrasses
Slope of the terraces

2. Climat

La situation géographique de cette unité - au pied des Pyrénées et sous l'influence océanique - lui confère un climat particulièrement doux et humide pendant presque toute l'année. Les précipitations annuelles sont en valeur médiane comprises entre

1 300 et 950 millimètres (Fig. 3), tandis que les températures sont en général assez douces (Fig. 4 et 5, températures moyennes du mois le plus froid et du mois le plus chaud respectivement comprises entre 5 et 7,5 °C, et 16 et 18,5 °C). Le nombre de jours de gelée est faible, et les écarts quotidiens ($T_{max}-T_{min}$) sont réduits (CHOISNEL *et al.*, 1987).

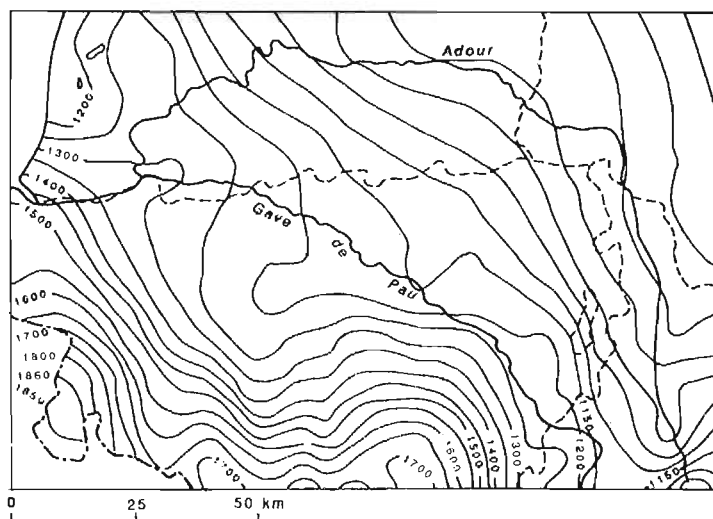


Figure 3 : Hauteur des précipitations annuelles (millimètres). Valeur médiane (période 1951-1980). D'après CHOISNEL *et al.*, in HAPEX MOBILHY, Météorologie Nationale.
Average yearly rainfall (mm). Median value, 1951-1980 period.

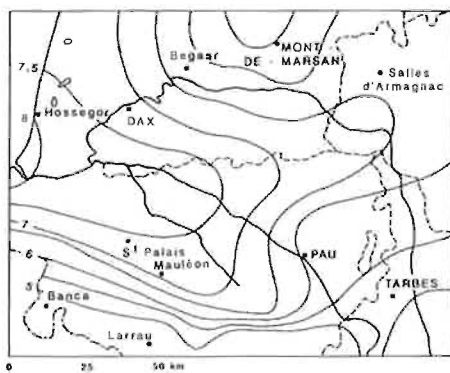


Figure 4 : Température moyenne de l'air du mois le plus froid. Valeur moyenne de janvier. Période 1951-1980.

Average temperature of the coldest month (Celsius). January. 1951-1980 period.

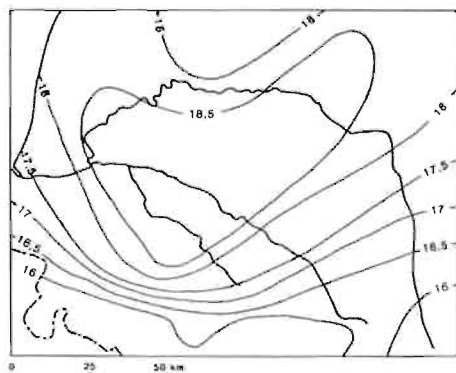


Figure 5 : Température moyenne de l'air du mois le plus chaud. Valeur moyenne de juillet. Période 1951-1980.

Average temperature of the warmest month (Celsius). July. 1951-1980 period.

D'après CHOISNEL *et al.*, in HAPEX MOBILHY, Météorologie Nationale.

3. Végétation et faune du sol

La végétation climacique était probablement constituée de chênaies acides dont subsistent localement quelques vestiges. Cette végétation a ensuite quasi-totalement disparu selon un schéma d'évolution comparable à celui des Landes de Gascogne (DUCHAUFOR, 1948).

Sous l'effet de l'action humaine et de certaines pratiques pastorales comme le brûlis de terrains de parcours, une végétation acidophile de landes s'est développée durant le Moyen-Age. Celle-ci est principalement constituée d'ajoncs (*Ulex nanus* et *Ulex europaeus* : les “touyes” en béarnais), de fougères (*Pteridium aquilinum*) et, en proportion bien moindre, de quelques bruyères (*Erica cinerea* et *Erica tetralix*) et graminées (*Molinia coerulea*, *Festuca ovina*).

Cette végétation de lande porte le nom local de “touyas”, vraisemblablement d'origine ibérique (PLAISANCE et CAILLEUX, 1958) ; par extension, les sols noirs, riches en matière organique, développés sous cette végétation, ont été dénommés “sols de touyas”.

Depuis le début des années 1960, ces terres ont fait l'objet d'assainissements et de défrichements intensifs, conduisant progressivement à la disparition de la plupart des landes. Les zones cultivées sont actuellement pour l'essentiel consacrées à la monoculture du maïs grain.

Lorsque les sols sont sous végétation de landes, ils sont caractérisés par la présence d'une biomasse anécique importante, constituée de lombriciens géants du genre *Scherotheca* (BOUCHÉ, 1972). Cette pullulation de lombriciens est favorisée par la texture à dominante limoneuse, le pédoclimat constamment doux et humide, et une accumulation importante de matières organiques provenant de la végétation acide. Cette faune brasse considérablement le sol et incorpore en profondeur la matière organique. Elle est ainsi responsable des principaux caractères morphologiques de ces sols.

II. MÉTHODES

1. Cartographie et échantillonnage

Les sols de “touyas” ont fait l'objet d'une cartographie et d'une délimitation à l'échelle du 1/250 000. Le long des trois principales terrasses comprises entre l'Adour et le Gave de Pau (Fig. 1), 14 secteurs d'une surface comprise entre 500 et 3000 hectares ont été cartographiés en détail (1/10 000). Ces secteurs sont répartis de façon à mettre en évidence un éventuel gradient régional amont/aval. Sur chaque secteur, une cartographie détaillée a été réalisée, comprenant la description et l'analyse de profils représentatifs.

2. Morphologie et micromorphologie

La description des horizons s'est faite en référence au système STIPA (BERTRAND *et al.*, 1984).

Huit horizons ont fait l'objet de prélèvements pour fabrication de lames minces, selon la méthode GUILLORÉ (1983). Les descriptions simplifiées ont été axées principalement sur la microstructure, le plasma et les traits texturaux.

3. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire de l'INRA d'Arras, selon les méthodes standard.

Il s'agit en particulier des déterminations suivantes : granulométrie (5 ou 8 fractions selon les profils), pH eau et KCl, carbone (Anne), azote (Kjeldhal), capacité d'échange cationique (Metson), taux de saturation, cations échangeables, fer libre (Deb) et fer total (HF), et pour les sols sous végétation naturelle, aluminium total (HF), libre (Tamm) et échangeable.

4. Minéralogie

Un profil a fait l'objet d'une étude minéralogique.

Les horizons Ah, E, BT, et les langues grises verticales au sein du BT (glosses) ont été prélevés. Les diagrammes de rayons X ont été effectués sur la fraction inférieure à 2 μm (traitements Mg normal, Mg éthylène-glycol, K 550 °C).

Une analyse minéralogique quantitative du quartz a été réalisée sur les fractions argile, limon fin et limon grossier des horizons Ah, E, et BT. Le quartz a été dosé par diffraction X en utilisant l'oxyde de zinc comme étalon interne selon la méthode développée par HARDY (1992).

Les fractions inférieures à 2 μm des échantillons des horizons Ah, E et BT ont subi trois traitements successifs au citrate de sodium (TAMURA, 1957), afin de dissoudre sélectivement les produits interfoliaires susceptibles d'être responsables de la fermeture incomplète des feuillettes de vermiculite au chauffage. Les échantillons ont été ensuite réexaminés aux rayons X. Après chaque traitement, K, Al et Fe ont été déterminés par absorption atomique dans les solutions d'extraction.

III. MORPHOLOGIE, CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Les caractéristiques générales développées dans ce chapitre proviennent de la synthèse de l'ensemble des profils observés.

1. L'Épisolum humifère

Les solums présentent un épisolum humifère particulier, biomacrostructuré, très épais et de couleur sombre, formé par l'action principale des vers de terre, dans des conditions cependant très acides et de pédoclimat humide.

Cet épisolum est constitué d'horizons A, épais de 50 à 150 centimètres, très humifères, qui présentent à leur sommet des teneurs en carbone organique comprises entre 2 et 10 % et une diminution régulière de ce taux avec la profondeur (Fig. 6). Au sommet de l'épisolum (20 premiers centimètres), le rapport C/N varie de 12 à 18 (Fig. 7), ce qui apparaît relativement bas, compte-tenu de la végétation et de l'acidité des sols. Selon JUSTE (1965), la matière organique de cet épisolum humifère se caractérise par des rapports acides fulviques / acides humiques toujours inférieurs à 1, et décroissant avec la profondeur. Nous n'avons pas observé de traces de charbon de bois au sein de cet horizon.

La structure est grumeleuse ou polyédrique arrondie : abondance des chenaux et des boulettes fécales de grandes dimensions (diamètre de 7 à 8 mm). L'horizon consiste

ainsi principalement en chenaux et chambres, remplis de matériaux ayant transité dans l'appareil digestif des vers de terre. De ce fait, la macroporosité est très importante (porosité totale supérieure à 50 %) en relation avec l'abondance des conduits biologiques, et les densités apparentes sèches sont faibles, pouvant atteindre la valeur de 1. En raison de l'abondance de la matière organique, les densités réelles de solide sont également légèrement plus faibles que la normale, comprises entre 2,5 et 2,6.

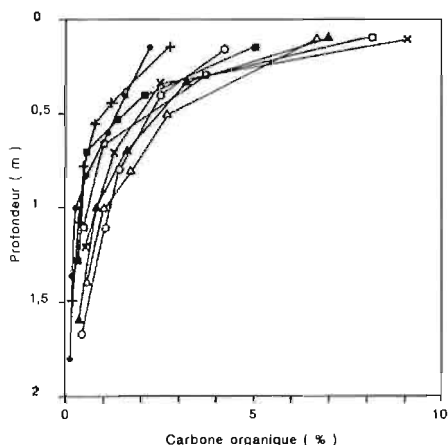


Figure 6 : Profils de carbone organique (Anne) de quelques sols de "touyas".
Organic carbon profiles of some "sols de touyas".

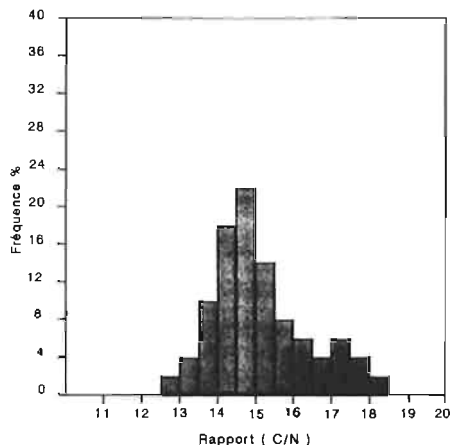


Figure 7 : Histogramme de fréquence des rapports C/N pour 100 analyses réalisées dans les 20 premiers centimètres d'épisolums humifères de "sols de touyas".
Frequency histograms of C/N ratios (100 analysis of the 20 first centimeters of the Ah horizon).

La texture des horizons A est à dominante fine [limon moyen, limon argileux, argile limoneuse], elle est d'autant plus argileuse que l'on se situe en amont des terrasses (Fig. 8).

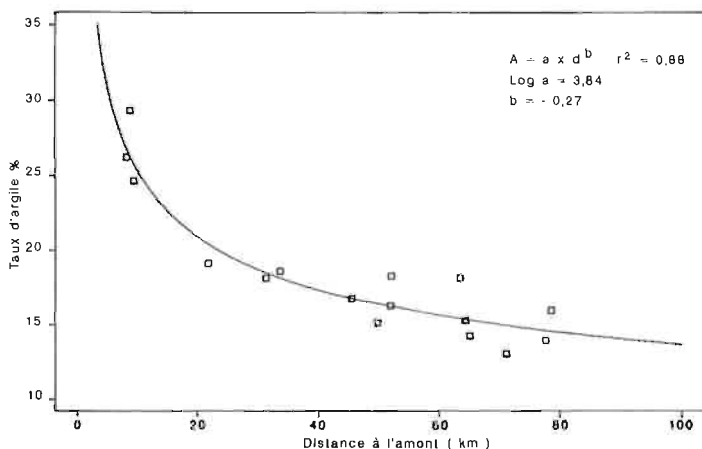


Figure 8 : Relation entre le taux d'argile moyen de l'épisolum humifère par secteur et la distance du secteur à l'amont
Ah average clay content. Groups of Ah horizons versus distance to upstream.

La couleur est foncée à l'état humide (10 YR 3/2 ou chroma inférieur) et s'éclaircit fortement en séchant (gain d'au moins 2 points en chroma).

Sous végétation de landes, le pH acide, généralement compris entre 4,0 et 4,9, est assez constant sur l'ensemble du solum. le rapport S/T est toujours inférieur à 30 % (Fig. 9). L'aluminium échangeable représente de 2 à 7 mé/100g, et décroît légèrement avec la profondeur. Il occupe de 10 à 50% de la capacité d'échange cationique. Le rapport Al^{3+}/S est toujours supérieur à 1.

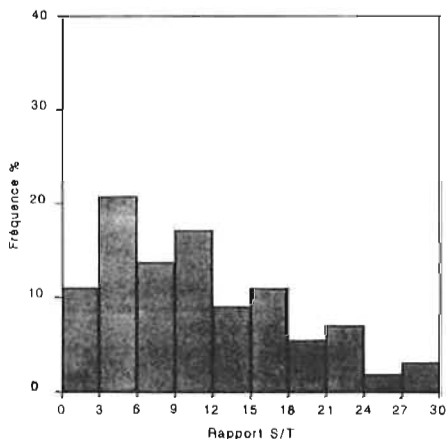


Figure 9 : Histogramme de fréquence des rapports S/T pour 111 analyses réalisées dans l'épisolum humifère de sols de "touyas".

Frequency histograms of S/T ratio (111 analysis of the Ah horizon).

En définitive, ces horizons humifères constituent un eumull acide désaturé. Ils doivent l'essentiel de leurs propriétés à l'activité des vers de terre (caractère "vermique") et présentent un caractère humique. Nous proposons de les dénommer "épisolum vermihumique". Ils sont notés Ah.

Cet épisolum se prolonge par de nombreuses galeries et chambres de lombriciens qui pénètrent dans les horizons sous-jacents.

2. Les horizons profonds

Sous l'épisolum humifère, trois principaux horizons peuvent être observés qui, lorsque le solum est complet (Fig. 10), se présentent de haut en bas selon la succession suivante.

a) Un horizon limoneux jaune à gris clair

Cet horizon, situé immédiatement sous les horizons Ah, s'en distingue par un taux de matières organiques beaucoup plus faible et une couleur plus claire. Il ne forme que rarement une couche horizontale homogène, mais est le plus souvent traversé par des chenaux verticaux dont le contenu correspond à la définition de l'horizon Ah (Photo 1). Il est affecté par une hydromorphie se manifestant sous forme de taches rouille (7,5 YR 6/8). CALLOT et JUSTE (1971) ont montré que la couleur de la matrice de cet horizon (plus ou moins grise) est liée à son caractère plus ou moins hydromorphe et dépend des conditions locales de topographie.

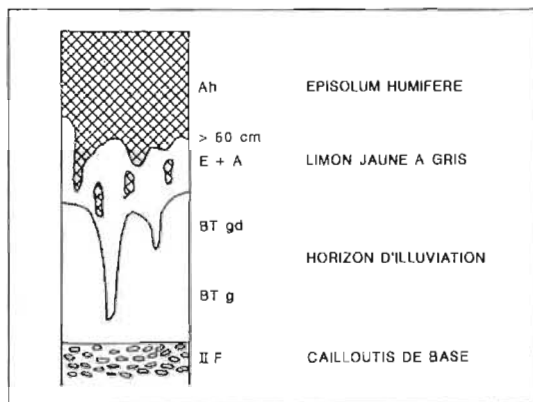


Figure 10 : Morphologie schématique d'un sol de "tuyas".

Schematic morphology of a "Sol de tuyas".

b) *Un horizon BT d'accumulation d'argile*

Cet horizon, de couleur brun jaune et de structure massive à tendance prismatique est caractérisé par des taux d'argile et de fer plus élevés que dans les deux premiers horizons. L'indice de différenciation texturale IDTh, $[IDTh = \%Argile \text{ de l'horizon considéré} / \%Argile \text{ de l'horizon le plus pauvre en argile du même solum, (BAIZE, 1980)}]$ de cet horizon est en moyenne égal à 1,5, et toujours compris entre 1,3 et 1,9. Il est traversé par des langues verticales grises appauvries en fer. Par rapport à l'horizon BT, ces langues présentent un spectre poral particulier qui en fait le siège de flux hydriques préférentiels (ARROUAYS *et al*, 1991).



Photo 1 : Coupe horizontale montrant la pénétration des galeries biologiques dans l'horizon limoneux jaune. La coupe est effectuée à la cote - 50 cm dans un sol de "tuyas" à horizon Ah peu épais ; l'étiquette (10 x 25 cm) donne l'échelle. Remarquer la très forte densité de taches brunes arrondies correspondant à des sections de conduits biologiques.

Horizontal section showing biological channels penetrating into the yellow loamy horizon.

En observation micromorphologique, on constate que les cutanes d'illuviation sont bien visibles et nombreux dans l'horizon BT, bordant ou colmatant la plupart des anciens chenaux (Photo 2).

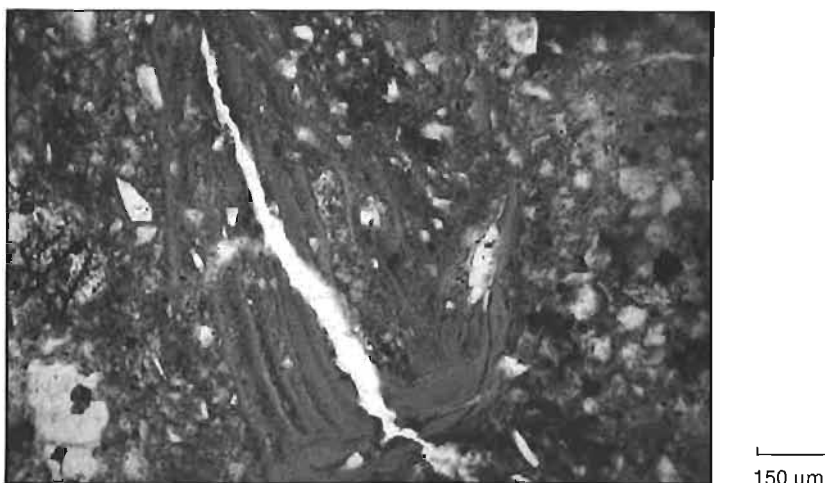


Photo 2 : Argilanes. Revêtements argileux microlités, remplissant les vides au sein de l'horizon BT. (Lame mince et photographie, C. LE LAY, INRA SESCOF).

Clayey pedo-feature. Layered coatings infilling voids in the BT horizon. Thin section and photograph : C. LE LAY, INRA SESCOF).

Cet horizon a longtemps été considéré comme un paléosol (THIBAUT, 1970 ; CALLOT et JUSTE, 1971 ; ICOLE, 1973) sur lequel se seraient ensuite déposés des limons plus récents ; cette hypothèse semble néanmoins contredite par l'étude des squelettes granulométriques présentée ci-après.

A l'échelle du solum, l'étude des squelettes granulométriques (BAIZE, 1980) montre une homogénéité remarquable entre l'épisolum, l'horizon limoneux jaune à gris, et l'horizon BT (Fig.11), ce qui semble contredire l'hypothèse d'une allochtonie de l'épisolum.

A l'échelle régionale, nous disposons de secteurs (de quelques centaines à quelques milliers d'hectares chacun) ayant fait l'objet d'études cartographiques détaillées. Les figures 12 et 13 présentent pour les 14 secteurs où l'on dispose de plus de 5 solums analysés, les valeurs moyennes des fractions granulométriques des squelettes du sommet de l'épisolum humifère et du coeur de l'horizon BT, en fonction de la distance à l'amont. On note une grande homogénéité du dépôt à l'échelle d'un petit secteur ; cependant, à l'échelle régionale, l'importance relative des différentes fractions du squelette est fonction de la distance à l'amont. La décroissance des fractions sableuses et la croissance de la fraction limon grossier semblent indiquer un dépôt de plus en plus fin vers l'aval, ce qui est cohérent avec une origine alluviale. La fraction limon fin échappe à cette règle, et apparaît comme à peu près constante. Ce constat surprenant incite à l'étude de la répartition des particules plus fines, soit de la fraction argile.

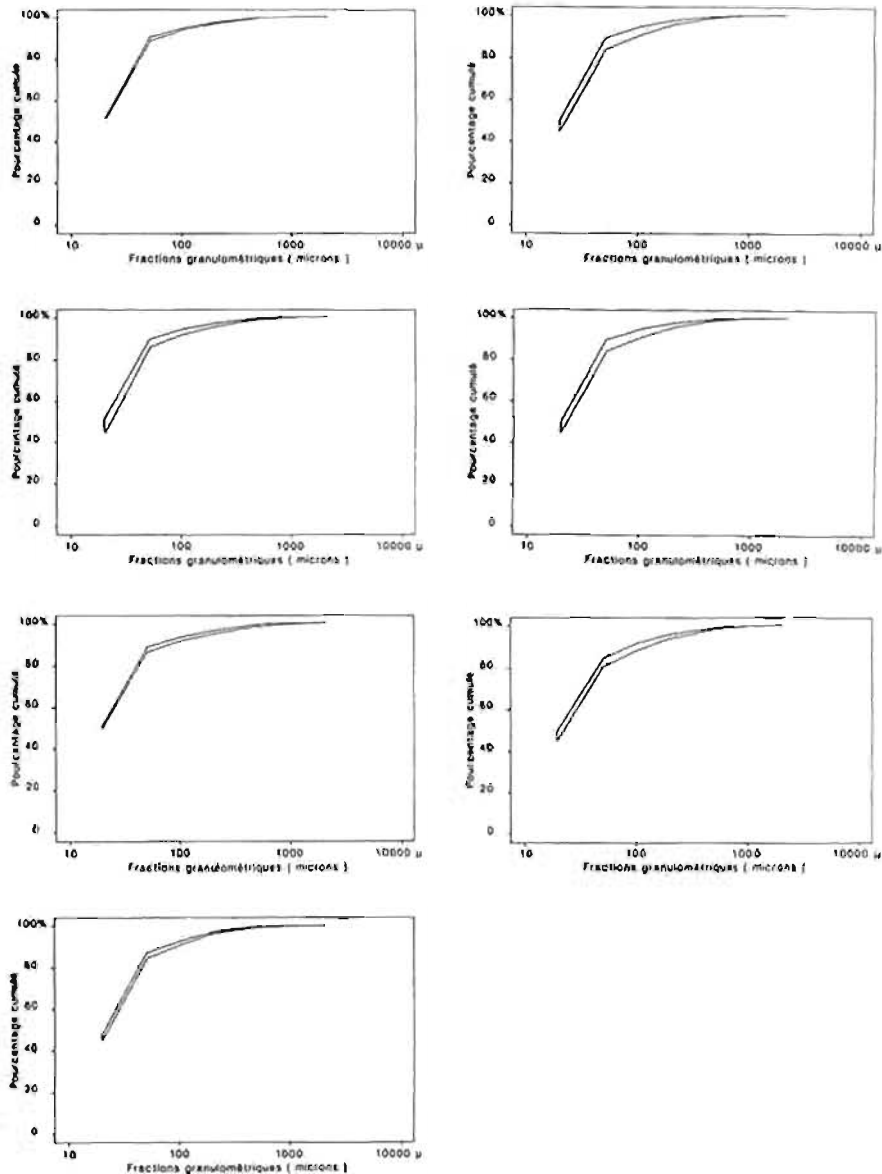


Figure 11 : Enveloppes des squelettes granulométriques des différents horizons de 7 solms situés au sein d'un secteur de 1 000 hectares.

"Granulometric skeleton" of 7 solms located in an area of 1 000 hectares.

Toujours à l'échelle régionale, les taux d'argile de ces mêmes horizons décroissent régulièrement d'amont en aval (Fig. 8 et 14). On observe donc une décroissance amont/aval des fractions les plus grossières, mais aussi de la fraction la plus fine, la fraction limon fin constituant l'axe de basculement de ces gradients. Une hypothèse considère que la granulométrie de ces solms est sous la double dépendance de la com-

pétence des rivières au moment du dépôt (ce qui expliquerait la répartition à l'échelle du paysage des fractions les plus grossières), et du pourcentage de minéraux facilement altérables lors du dépôt (celui-ci serait alors logiquement supérieur en amont, et l'altération ultérieure viendrait expliquer la répartition des fractions les plus fines).

Au demeurant, l'homogénéité des squelettes et leur répartition dans le paysage semblent confirmer l'origine alluviale et le caractère autochtone du solum, caractérisé par la succession Ah/E/BT, l'horizon BT apparaissant comme un horizon d'accumulation typique d'un LUVISOL. Lorsqu'il est présent, l'horizon de limon jaune à gris constituerait alors un vestige de l'ancien horizon E d'un LUVISOL.

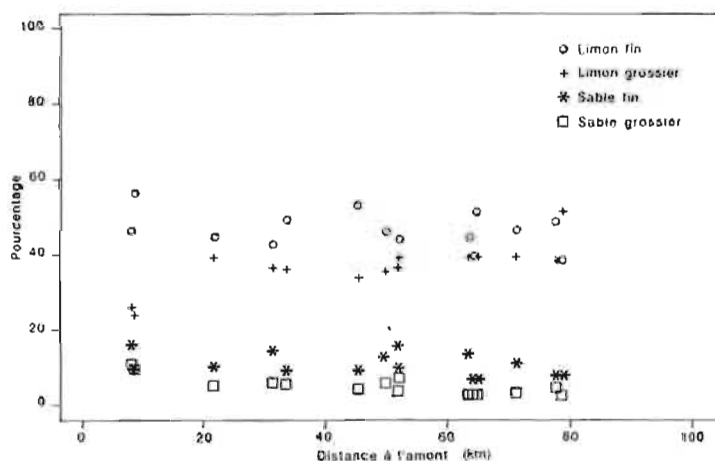


Figure 12 : Valeurs moyennes des différentes fractions du squelette granulométrique d'épisolums humifères regroupés selon la distance à l'amont du secteur étudié.
Average values of "granulometric skeleton" fractions. Groups of Ah horizons versus distance to upstream.

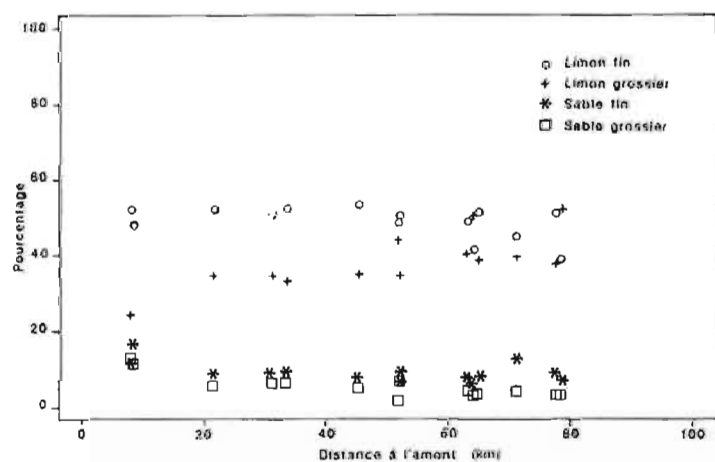


Figure 13 : Valeurs moyennes des différentes fractions du squelette granulométrique d'horizons BT regroupés selon la distance à l'amont du secteur étudié.
Average values of "granulometric skeleton" fractions. Groups of BT horizons versus distance to upstream.

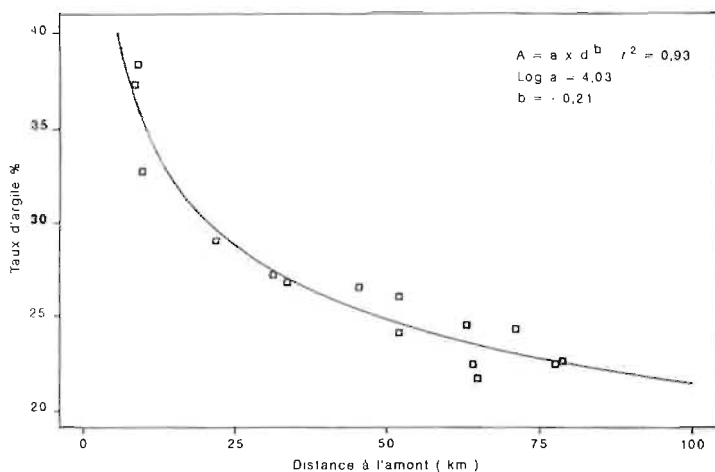


Figure 14 : Relation entre le taux d'argile moyen du BT par secteur et la distance du secteur à l'amont.
BT average clay content. Groups of BT horizons versus distance to upstream.

c) Un horizon IIF d'altération ferrallitique

L'horizon BT repose en profondeur sur un horizon de texture argilo-sableuse, incluant des galets plus ou moins altérés. Cet horizon est caractérisé par une couleur vive, jaune à rouge, une proportion importante de minéraux argileux de type 1/1 dans la fraction inférieure à 2 μm , et une structure microanguleuse nette. Il correspond aux cailloutis altérés présents à la base du solum, étudiés par ICOLE (1973) et se caractérise par une forte désaturation et par la présence d'oxydes et hydroxydes métalliques (fer et aluminium) en quantité importante. ICOLE (1973) a souligné l'influence de l'ancienneté relative de la mise en place sur l'intensité de l'altération de ce niveau caillouteux. Les basses terrasses würmiennes et rissiennes ne montrent qu'une faible altération et constituent un cailloutis filtrant, par opposition aux terrasses plus anciennes, dont l'altération ferrallitique provoque la formation d'un niveau quasi-imperméable et la présence de kaolinite et d'hallyosite en quantités importantes dans la fraction argileuse. Il a également montré qu'une acidification et une désaturation notables de ces niveaux ne se manifestaient que pour les terrasses d'âge Mindel et antérieur, qui sont les seules à porter la végétation et les "sols de touyas".

III. MINERALOGIE

Les diagrammes de rayons X effectués sur la fraction inférieure à 2 μm montrent la présence de plusieurs types de minéraux argileux. Outre le quartz, les argiles sont constituées par un mélange de kaolinite (7,2 Å), illite (10 Å) et vermiculite (14 Å). La vermiculite, caractérisée par l'absence de gonflement à l'éthylène-glycol et une diminution de l'équidistance des feuillets après chauffage (10 Å), possède un caractère intergrade mis en évidence par une fermeture incomplète des feuillets après chauffage (Fig. 15). Cependant, l'intensification du pic à 14 Å entre 400°C et 550°C indique la présence d'une chlorite de plus en plus marquée vers le haut du profil. Un épaulement à 12 Å, visible sur l'échantillon Mg normal, indique une interstratification irrégulière des minéraux 2:1 illite-vermiculite.

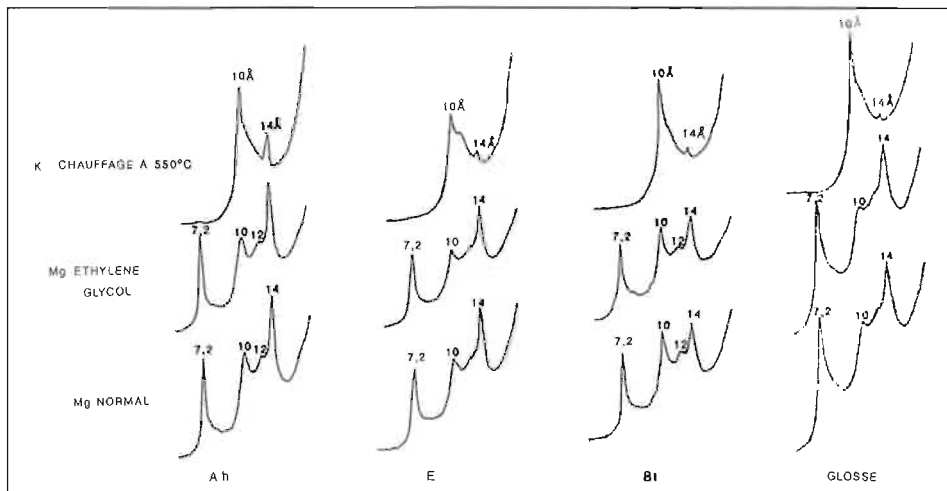


Figure 15 : Diagrammes de rayons X obtenus sur la fraction inférieure à 2 micromètres. Traitements K 550°C, Mg éthylène-glycol, Mg normal.

X-ray diffraction patterns of clay. Heated at 550°C, glycolated, normal Mg.

L'analyse quantitative montre une légère augmentation de la quantité de quartz inférieur à 2 μm dans l'horizon E (19 %), associée à une légère diminution dans l'horizon BT (15 %), par rapport à la teneur de l'horizon de surface (17 %). Ces différences peuvent être interprétées comme des concentrations sélectives de quartz dans la fraction des argiles grossières par rapport aux argiles fines après illuviation du matériau.

Les fractions limoneuses 2-20 et 20-50 μm renferment de grandes quantités de quartz (85%) de sorte que les réserves altérables présentes sont faibles.

Les échantillons réexaminés aux rayons X après traitement au citrate de sodium montrent une meilleure fermeture au chauffage (Fig. 16). Les analyses des solutions d'extraction sont rassemblées dans le tableau I et montrent que la majorité des éléments (Al, Fe, K) sont extraits au cours du premier traitement. La composition des produits interfoliaires est essentiellement alumineuse, puisqu'au troisième traitement l'aluminium extrait est encore quatre fois plus abondant que le fer et trente fois plus que le potassium. Les quantités d'aluminium extraites, notamment au cours du premier traitement, sont de plus en plus grandes vers la surface et indiquent un caractère plus hydroxy-alumineux des vermiculites présentes dans les horizons supérieurs.

Tableau I : Eléments extraits des fractions argileuses par 3 traitements successifs au citrate de sodium (N).

Elements extracted from clay fractions by three successive citrate treatments (N).

Horizon	Citrate 1 mg/g			Citrate 2 mg/g			Citrate 3 mg/g		
	K	Al	Fe	K	Al	Fe	K	Al	Fe
Ah	0,3	8,1	2,4	0,16	4,1	1,0	0,11	3,4	0,9
E	0,25	7,1	2,4	0,11	3,9	1,3	0,09	3,1	1,0
Bt	0,25	5,6	1,5	0,14	4,3	1,3	0,10	3,5	1,2

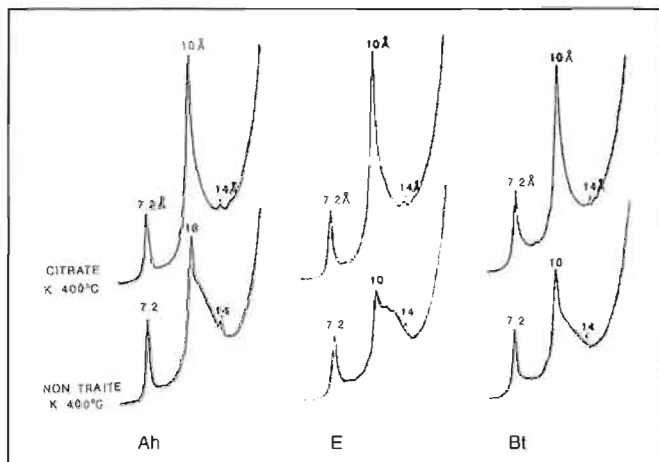


Figure 16 : Diagrammes de rayons X obtenus sur la fraction inférieure à 2 μm . Traitements citrate K 400°C et K 400°C non traité.

X-ray diffraction patterns of clay. Treated with citrate K 400 °C, untreated K 400 °C.

IV. EFFETS DE LA MONOCULTURE DE MAÏS GRAIN ET VARIABILITÉ DES CARACTÈRES DE SURFACE

1. Effets de la monoculture de maïs grain

Face à un besoin croissant en nouvelles terres agricoles, les sols de touyas ont été l'objet d'un défrichement intensif depuis le début des années 1960 (VINEL, 1964 ; ARROUAYS, 1991). La plupart des surfaces défrichées a alors été consacrée à la monoculture du maïs grain.

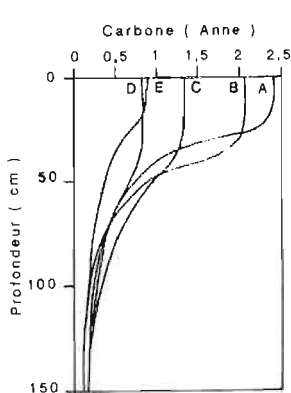
Cette mise en culture est indissociable de la pratique du chaulage, destinée à diminuer l'acidité du sol et à prévenir la toxicité aluminique (JUSTE et HAMADI, 1963 ; JUSTE *et al.*, 1968). Ceci provoque la resaturation du complexe adsorbant et la disparition de l'aluminium échangeable. Le caractère "acrique" du solum tend alors à disparaître.

La biomasse anécique et l'activité biologique associée diminuant, la structure grumeleuse de l'horizon labouré se dégrade progressivement. Sur la terrasse de Pont-Long (à proximité de Pau, sur le niveau d'âge mindel), LOPEZ (1969) a ainsi mis en évidence une évolution des valeurs de l'indice I_s d'instabilité structurale de HENIN et MONNIER (1956) en fonction de l'ancienneté de la défriche.

Le caractère humique de l'horizon Ah tend également lentement à disparaître : JUSTE *et al.*, (1973) ont mis en évidence une diminution des taux de carbone de l'horizon cultivé, à partir d'un suivi d'une parcelle mise en monoculture de maïs grain durant dix ans. Sur cette période, ils observent des coefficients apparents de destruction de la matière organique voisins de 0,015 et curieusement très proches entre les divers traitements, malgré des chaulages et des rendements différents. Cette diminution des taux de carbone s'accompagne d'une diminution progressive du rapport C/N de l'horizon cultivé.

A titre d'exemple, nous présentons dans les figures 17 et 18 les profils de taux de carbone et du rapport C/N observés dans cinq parcelles contiguës, mais de dates de mise en culture différentes. L'étendue des valeurs observées souligne la grande variabi-

lité de ces caractéristiques selon l'histoire culturale des parcelles. La mise en culture se traduit par une baisse sensible du rapport C/N du sommet de l'épisolum, conduisant à l'établissement de profils de rapport C/N caractéristiques, où les maxima sont observés



A : défriche et monoculture de maïs 1982 - B : défriche et monoculture de maïs 1973 - C : défriche et monoculture de maïs 1964 - D : défriche 1947, monoculture de maïs 1965 - E : défriche 1850, vigne 1850-1967, monoculture de maïs 1968.

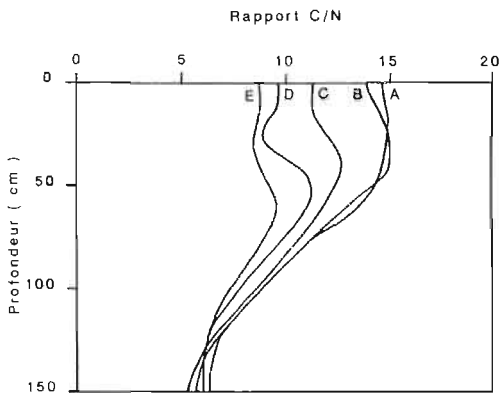


Figure 17 : Profils de carbone observés dans cinq parcelles contiguës
Observed carbon profiles in 5 adjacent plots of land.

Figure 18 : Profils du rapport C/N observés dans cinq parcelles contiguës
Observed C/N ratio profiles in 5 adjacent plots.

entre 40 et 80 centimètres.

Sur quatre parcelles situées sur une même ancienne lande, ROUX (1984) a réalisé une étude de l'hétérogénéité intraparcellaire de ces caractéristiques, à partir de prélèvements réalisés selon un quadrillage régulier (maille de 10 mètres) et de l'utilisation de tests statistiques classiques. Les coefficients de variation intraparcellaire des teneurs en matière organique sont compris entre 7 et 12 %, pour des taux compris entre 4,85 et 5,88 %. Entre les quatre parcelles d'âges de défriche différents, les moyennes sont significativement différentes au risque de 5 %, et s'ordonnent selon l'ancienneté de la mise en culture, avec des variations conformes au modèle de JUSTE *et al.*, (1973), qui prédit un coefficient de destruction apparente de la matière organique voisin de 0,015.

En définitive, la mise en culture se traduit à long terme par une disparition des principaux caractères de surface de ces sols. L'horizon Ah devient LAh, puis LA (l'ajout de la notation L signifie que la morphologie et le fonctionnement du sol ont été artificialisés et modifiés par le labour et les pratiques agricoles). L'acidité caractéristique de ces sols disparaît également. Cependant, les marques de brassage et d'incorporation de matières organiques, ainsi que la structure pédobiologique qui en résulte, se conservent néanmoins dans les horizons profonds qui présentent alors un caractère "bathy-vermihumique" (vermihumique en profondeur). Ce caractère est encore observable dans des sols cultivés depuis 30 ans ; on peut néanmoins s'interroger sur sa pérennité à plus long

terme.

2. Variabilité des caractères de surface

Nous venons de montrer que le passé culturel des parcelles est générateur d'hétérogénéité, notamment en ce qui concerne les taux de carbone.

A l'échelle de l'unité de paysage pédologique, nous avons montré l'importance des variations des squelettes granulométriques et des taux d'argile, qui s'organisent spatialement selon un gradient amont-aval.

La répartition des taux de matières organiques moyens observés sous végétation de lande semble également s'organiser selon un gradient amont-aval. Nous disposons, sur les mêmes secteurs que ceux ayant servi à l'analyse granulométrique, de valeurs de taux de matières organiques observés sous végétation de lande. L'analyse de la distribution des taux "initiaux" sur 9 secteurs (Fig. 19) permet de tirer un certain nombre de conclusions.

La diminution des taux moyens s'effectue selon le gradient amont/aval et s'accompagne d'une diminution de l'écart-type des populations. Celles-ci sont d'autant mieux regroupées autour de leur moyenne que cette dernière est basse. Ceci est important en terme de prédiction : il devient possible d'accompagner une prévision moyenne d'un indicateur de dispersion du caractère, voire d'une distribution donnée.

La superposition des gradients régionaux et de l'historique de l'occupation du sol induit par conséquent une variabilité importante en ce qui concerne les caractères de surface des sols de touyas.

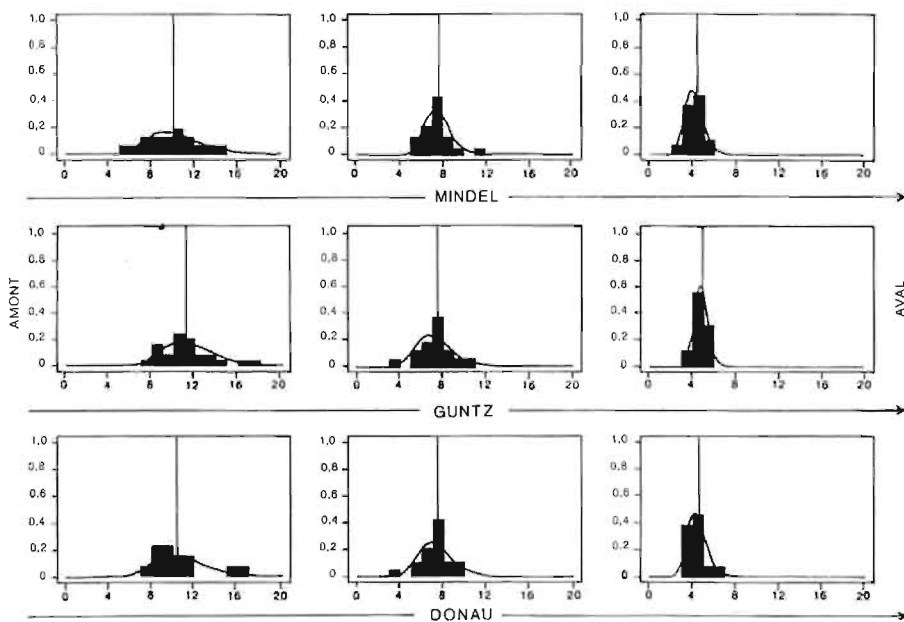


Figure 19 : Histogrammes des taux de matière organique (0-20 cm) observés sous végétation de lande, sur 9 secteurs répartis selon un gradient amont-aval. En ordonnées, la fréquence 1 représente 100 % de la population.

Histograms of organic matter content (0-20 cm) under Ulex land, for 9 areas along the upstream-downstream gradient.

V. RELATIONS TYPOLOGIQUES ET SPATIALES AVEC D'AUTRES RÉFÉRENCES, INTÉGRATION AU RÉFÉRENTIEL PÉDOLOGIQUE.

Dans le domaine typologique, les sols de touyas apparaissent proches de deux Références connues, les LUVISOLS (JAMAGNE, 1992) et les ALOCRISOLS HUMIQUES (AUROUSSEAU et BAIZE, 1992).

1. Relation avec les luvisols

Nous avons souligné l'homogénéité granulométrique des dépôts limoneux au sein du solum. Les horizons BT, lorsqu'ils n'ont pas été remaniés par l'action des lombriciens apparaissent comme des témoins d'une pédogenèse caractérisée par l'illuviation d'argile. Lorsqu'il est présent, l'horizon limoneux jaune à gris constituerait alors un vestige de l'ancien horizon E d'un LUVISOL (JAMAGNE, 1992).

Le passage à la végétation de lande hygrophile, sous un climat doux et humide, sur des matériaux limoneux peu perméables en profondeur conservant un pédoclimat humide une grande partie de l'année, a favorisé l'accumulation de matières organiques et l'activité biologique intense des lombrics, malgré la forte acidité du sol.

Ce brassage par la population de vers anéciques conduit à un approfondissement très important de l'épisolum humifère et à l'élaboration d'une structure construite d'origine biologique, qui modifient totalement les propriétés des anciens horizons plus ou moins éluvies : même si les sols de touyas sont le plus souvent issus d'anciens LUVISOLS, ils sont très éloignés de cette Référence en ce qui concerne leur statut organique, la structure et la macroporosité de l'épisolum.

De plus, si le profil "complet" Ah/Eg/BTg/IIF, s'observe le plus souvent en situation plane et lorsque l'épaisseur de limons est suffisante, le brassage peut également avoir affecté les horizons profonds dans les autres situations géomorphologiques.

Cependant, suite aux modifications des caractéristiques des horizons supérieurs liées à la mise en culture, le caractère vermihumique tend à disparaître en surface : les sols peuvent alors être rattachés à la référence LUVISOL, mais sont qualifiés de "bathy-vermihumiques" (vermihumique en profondeur).

2. Relation avec les alocrisols humiques

La très forte désaturation et la présence d'aluminium échangeable favorisent le développement du caractère hydroxy-alumineux des vermiculites : les caractères de l'horizon Ah se rapprochent de ceux de l'épisolum des ALOCRISOLS HUMIQUES, cependant il subsiste la différence fondamentale liée à la biomacrostructuration. De plus, l'horizon de référence Sal (AUROUSSEAU et BAIZE, 1992) est absent du solum.

3. Intégration au Référentiel Pédologique : Veracrisols

Nous nous trouvons en présence d'un épisolum particulier, très épais, humifère, à structure construite d'origine biologique, que nous proposons de dénommer "épisolum vermihumique". Le caractère remarquable de cet épisolum tient à la combinaison de ce caractère humifère et biomacrostructuré, et d'une acidité importante, tamponnée par l'aluminium. Malgré cette acidité, les rapports C/N restent relativement bas, et l'activité biologique importante. De forts taux de carbone associés à des faibles rapports C/N

ont déjà été observés sur un certain nombre de sols à forte altération alumineuse (BOU-DOT *et al.*, 1980, 1985). Cet auteur considère en particulier que les formes amorphes de l'aluminium sont susceptibles d'exercer un effet protecteur vis-à-vis de la minéralisation de l'azote organique ; cependant les sols aluminiques ne montrent généralement qu'une faible activité biologique, en particulier en ce qui concerne les lombriciens. La biomacrostructuration, l'incorporation profonde du carbone, et le brassage dus à l'activité d'une population anécique adaptée (*Scherotheca*, BOUCHÉ, 1972) apparaissent comme des caractères très spécifiques des sols de touyas.

D'autre part, du point de vue du fonctionnement hydrique, la constitution physique et la structure de ces sols en font un milieu particulièrement favorable à l'enracinement, au stockage et aux transferts hydriques, présentant une cessibilité en eau importante, même en période estivale (ARROUAYS *et al.*, 1991).

Ainsi, tant au plan physique que chimique, ces sols présentent sous végétation de lande des particularités dont la combinaison les distingue nettement de toutes les Références connues.

Ces sols peuvent être, pour la plupart, considérés comme issus de LUVISOLS, leur épisolium les en distingue cependant de façon très nette. Ils présentent des caractères communs avec les ALOCRIOLS HUMIQUES, avec la différence notable des caractères liés à la structuration de l'horizon Ah, et de l'absence d'horizon Sal. On remarquera que les CHERNOSOLS présentent également un caractère vermihumique, mais les sols de "touyas" s'en distinguent complètement tant par leur caractère acide et aluminique que par leur pédoclimat doux et humide.

En définitive, il apparaît que la création d'une Référence (ARROUAYS, 1992) est nécessaire pour permettre le rattachement de ces sols très particuliers à une unité taxonomique qui leur soit spécifique. Les termes "TOUYASOLS" et "VERMIHUMISOLS" ont été envisagés dans un premier temps ; l'un semblait peu euphonique et de connotation trop vernaculaire, l'autre présentait un inconvénient déjà signalé : le caractère vermihumique n'est pas exclusif des sols de "touyas". Le néologisme VERACRISOLS (ARROUAYS, 1992) leur a été préféré, combinant ver- (qui rappelle l'action essentielle des vers de terre) et acrisols, employé par la légende F.A.O. pour désigner des sols très acides à faible taux de saturation. Le qualificatif "paléoluviq" pourra leur être associé pour préciser l'existence d'horizons profonds caractéristiques des LUVISOLS.

Au sein de la Soil Taxonomy, nous proposons, ainsi que l'avaient déjà suggéré CALLOT et JUSTE (1971), de définir ces solums comme des Vermic Haplumbrepts.

4. Relations spatiales

Au sein des terrasses étudiées, lorsque le pédoclimat devient encore plus humide, on observe un passage progressif à des RÉDOXISOLS humiques, à des RÉDUCTISOLS humiques, voire localement à des HISTOSOLS.

CONCLUSION

Les "Sols de touyas" du sud-ouest de la France, issus d'alluvions anciennes des Gaves pyrénéens, présentent un certain nombre de caractères remarquables. Leur épisolium, bien que très acide et aluminique, est caractérisé par l'abondance de matière organique à C/N relativement bas, une grande épaisseur, et une structuration d'origine bio-

logique. Ces sols semblant susceptibles d'évoluer rapidement avec la mise en monoculture, une étude détaillée de la dynamique du carbone paraît s'imposer.

Ils apparaissent pour la plupart issus de LUVISOLS, et ne sont développés que sur des surfaces quasi-horizontales, sur des matériaux limoneux, acides et hydromorphes, dans un contexte climatique doux et humide. Le passage à une végétation de landes a favorisé l'accumulation de matières organiques, et le brassage et l'incorporation profonde de ces dernières par une population anécique spécifique (*Scherotheca*). Cette bioturbation modifie considérablement la morphologie et les propriétés de ces sols.

Le rattachement à des Références existantes ne permet pas de décrire de façon satisfaisante la combinaison de caractères spécifiques de ces sols. Il apparaît ainsi que la création d'une nouvelle Référence - les VERACRISOLS - s'avère nécessaire pour permettre leur intégration au Référentiel Pédologique.

Remerciements : Nous tenons à remercier ici messieurs BOURRIE, RIGHI et TOUTAIN pour leurs critiques constructives lors de la lecture du manuscrit.

Reçu pour publication : Mai 1992

Accepté pour publication : Décembre 1992

BIBLIOGRAPHIE

- ALIMEN H., 1953 - Pétrographie des nappes alluviales de la Bigorre. Essai de corrélation et de chronologie. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 6, t.3, 377-391.
- ALIMEN H., 1964 - Le Quaternaire des Pyrénées de la Bigorre. *Mém. Serv. Carte Géol. Fr.*, Paris, 394 p.
- ARROUAYS D., 1991 - Dynamique spatiale de défrichement, utilisation des sols et statut organique. Un modèle géographique d'évolution au sein d'un paysage pédologique. Colloque *Systèmes d'information géographique et gestion de l'espace rural*. I.N.R.A., Florac, 1991.
- ARROUAYS D., 1992 - Chapitre VERACRISOLS. in *Référentiel Pédologique*. BAIZE D., GIRARD M.C., éditeurs, AFES-INRA, 171-174.
- ARROUAYS D., CHOSSAT J.C., NICOUILLAUD B., DARTHOUT R., HOUDUSSE M., 1991 - Dessèchement de trois types de sol des Landes sous culture de maïs grain. Application à la gestion de l'eau. *Bull. G.F.H.N.*, n° 26, 31-50.
- AÛROUSSEAU P., BAIZE D., 1992 - Chapitre ALOCRISOLS, in *Référentiel Pédologique*. BAIZE D., GIRARD M.C., éditeurs, AFES-INRA, 83-85.
- BAIZE D., 1980 - Granulométrie et homogénéité des profils. Application aux planosols de Champagne humide (France). *Sci. Sol.*, n° 2, 83-112.
- BERTRAND R., FALIPOU P., LEGROS J.-P., 1984 - Notice pour l'entrée des descriptions et analyses de sols en banque de données. STIPA-RITDS. *Agence de Coopération Culturelle et Technique*, Paris. 136 p.
- BOUCHÉ M.B., 1972 - *Lombriens de France. Ecologie et systématique*. INRA, Paris, 671 p.
- BOUDOT J.P., CHONE Th., et GUENIOT B., 1980 - Minéralisation et réorganisation de l'azote dans deux sols de pelouse subalpine des Hautes-Vosges :

- Influence de la nature du complexe d'altération. *Sci. Sol*, n°2, 113-126.
- BOUDOT J.P., CHONE Th., 1985 - Internal nitrogen cycling in two humic-rich acidic soils. *Soil biol. & Biochem.*, Vol. 17, n°2, 135-142.
- CALLOT G., JUSTE C., 1971 - Caractérisation des sols humifères acides développés sur les alluvions anciennes des gaves pyrénéens. *Sci. Sol*, n° 2, 5-26.
- CHOISNEL E., PAYEN D., LAMARQUE Ph., 1987 - *Climatologie de la zone du projet Hapex-Mobilhy*. Météorologie Nationale. 75 p.
- C.P.C.S. 1967 - *Classification des sols*. Commission de pédologie et de cartographie des sols. 96 p.
- DUCHAUFOR Ph., 1948 - *Recherches écologiques sur la Chênaie atlantique française*. Thèse, Montpellier, 332 p.
- GUILLORE P., 1983 - Méthode de fabrication mécanique et en série de lames minces (2ème éd.). I.N.A. P-G., Dépt des Sols, 22 p.
- HARDY M., 1992 - X-ray diffraction measurement of quartz content of clay and silt fractions in soils. *Clay minerals*, 27, 47-55.
- HENIN S., et MONNIER G., 1956 - Evaluation de la stabilité de la structure du sol. *C. R. VI^e Congrès Int. Sci. Sol, Paris*, Vol. B, 49-52.
- ICOLE M., 1973 - *Géochimie des altérations dans les nappes d'alluvions du piémont occidental nord-pyrénéen. Essai de paléopédologie quaternaire*. Thèse Doct. es Sc. Nat. Univ. Paris VI. 270 p.
- JAMAGNE M., 1992 - Chapitre LUVISOLS, in *Référentiel Pédologique*. BAIZE D., GIRARD M.C., éditeurs, AFES-INRA, 139-145.
- JUSTE C., 1965 - *Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest atlantique : application à leur mise en valeur*. Thèse Doct-Ing., Univ. Sc. de Nancy. 135 p.
- JUSTE C., HAMADI M., 1963 - Acidité et aluminium échangeable de quelques sols du Sud-Ouest atlantique. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 582-586.
- JUSTE C., SOLDA P., LABORDE A., DARRIGRAND M., 1968 - Le chaulage et la mise en valeur des sols acides de défriche des Basses Pyrénées. Résultats d'un essai de longue durée. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 54, 290-296.
- JUSTE C., LABORDE A., DARRIGRAND M., 1973 - Evolution de la teneur en matière organique d'un sol de touya des Pyrénées atlantiques soumis pendant dix ans à la monoculture intensive du maïs. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 1-8.
- LOPEZ G., 1969 - *Evolution des propriétés physiques des sols de la terrasse de Pau-Pont-Long en monoculture de maïs*. Mémoire ENITA Bordeaux. 47 p.
- PLAISANCE G., CAILLEUX A., 1958 - *Dictionnaire des sols*. La maison rustique, Paris, 604 p.
- ROUX Ph., 1984 - *Etude de l'hétérogénéité des sols de limons noirs des Pyrénées Atlantiques : Application à la mise au point d'une méthode d'échantillonnage pour la caractérisation et le suivi de leur état de fertilité*. Mémoire ENITA de Bordeaux, INRA Bordeaux. 74 p.
- TAILLEFER F., 1951 - *Le piémont des Pyrénées françaises*. Toulouse. Privat. 383 p.
- TAMURA, T., 1957 - Identification of the 14 Å clay mineral component. *Amer. Min.*, 42, 107-110.
- THIBAUT C., 1970 - Recherches sur les terrains quaternaires du bassin de l'Adour.

