T H E S E

présentée

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE PARIS

pour obtenir le titre de DOCTEUR 3ème CYCLE

Spécialité : Géologie dynamique
Mention : Pédologie

par

Ricardo HONORATO

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SOLS DE LA VALLEE DU COSSON DANS LA REGION DE LA FERTE SAINT-AUBIN (LOIRET)

Soutenue le SEPTEMBRE 1971 devant la Commission d'Examen

MM.	L. GLANGEAUD	Président
	G. LUCAS	Examinateur
	G. AUBERT	Rapporteur
	P. HOREMANS	Invité

O.R.S.T.O.M.
PARIS
1 9 7 1

A v a n t - P r o p o s

C'est pour moi un agréable devoir de remercier toutes les personnes qui m'ont aidé, d'une façon ou d'une autre, à entreprendre ce travail et de le mener à bien.

J'exprime ma gratitude à Monsieur le Professeur L. GLANGEAUD qui m'a fait le grand honneur de me compter parmi ses élèves et d'accepter la présidence de jury de cette thèse.

Je remercie très vivement Monsieur le Professeur G. AUBERT qui m'a reçu en France et m'a ouvert les portes non seulement des laboratoires de l'ORSTOM mais aussi celles de sa science et de son expérience, dont il m'a fait profiter au cours des longues heures qu'il m'a consacrées.

Que Monsieur le Professeur G. LUCAS qui a aimablement accepté de faire partie de ce jury soit particulièrement remercié.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à Monsieur P. HOREMANS, Maître Assistant à l'I.N.A. qui m'a guidé avec efficacité sur le terrain et qui a suivi avec intérêt l'ensemble de ce travail, sans ménager son temps.

Je remercie vivement Monsieur G. PEDRO qui a aimablement accepté de me donner son avis à propos des argiles.

J'adresse mes vifs remerciements à Messieurs N. FEDOROFF, Assistant au laboratoire de Pédologie de Grignon et D. RIGHI, Assistant au laboratoire de Pédologie à Poitiers. Le premier a rendu possibles les études micromorphologiques et le deuxième a aimablement accepté de discuter sur l'évolution de la matière organique vue en lames minces.

Ma reconnaissance va aussi à Monsieur P. SEGALEN, Directeur de l'ORSTOM à Bondy qui a bien voulu permettre la réali-

sation de cette thèse. A Messieurs M. PINTA, B. DABIN et R. PELLOUX qui m'ont facilité l'accès à leurs laboratoires respectifs, permettant aimablement l'exécution de la plupart des analyses par leur personnel. Que tous les techniciens de ces laboratoires en soient remerciés.

Je remercie également Mme DELAUNE, Melle FUSIL pour l'aide précieuse qu'elles m'ont apportée dans leurs domaines respectifs.

C'est grâce à l'amabilité du Service Central de Documentation de l'ORSTOM, en particulier à Messieurs F. BONNET-DUPEYRON et C.-R. HIERNAUX et au dévouement de Mme DAVID et la collaboration de Melle ROUSSEL que cette thèse a pu être présentée.

A toutes les personnes non citées nominalement et qui ont collaboré, j'exprime ma reconnaissance.

Enfin, je dédie ces pages à ma gentille compagne qui m'a constamment encouragé pendant la réalisation du travail : ma femme MARTA.

I n t r o d u c t i o n

Au cours des levers pédologiques au 100.000ème et des campagnes de terrain entreprises par P. HOREMANS et son équipe, sur la feuille d'Orléans au 100.000ème (feuilles au 50.000ème de Beaugency et de la Ferté-Saint-Aubin), dans le cadre du Service de la Carté Pédologique de France, de nombreux problèmes géopédologiques ont été soulevés.

P. HOREMANS, dans son étude pédologique des terrasses quaternaires de la Loire, a pu proposer dès 1961 une chronologie relative basée sur les paléosols. La partie la plus ancienne de cette succession de niveaux quaternaires correspondrait à un glacis polygénique qui a son point culminant à 40 m. au-dessus de la Loire et un âge très probablement ante-Mindel (GIGOUT, HOREMANS, RASPLUS - 1971). Les terrasses d'âge Riss et Wurm sont en général bien individualisées.

Le Cosson et d'autres rivières appartenant au réseau intra-sologhot ont entaillé profondément, lors des phases quaternaires de creusement, les niveaux anciens de la Loire, ainsi que leur substrat tertiaire de sables de Sologne.

Les phénomènes de solifluxion, de ruissellement et d'autres phénomènes liés à la gravité, ont modelé intensivement les versants qui sont le plus souvent masqués par des formations de transport très diverses.

Les remaniements éoliens communs à toute la région et qui se sont produits à différentes époques froides du Quaternaire, particulièrement au Wurm, ainsi que les alluvionnements successifs ont compliqué ce modelé - où les terrasses véritables en paliers ont une part modeste - et ont été plus ou moins remaniées par la somme conjuguée des autres mécanismes de formation du relief.

Dans le réseau de Sauldres, LE HOUEROU (1961) décrivait trois terrasses alluviales étagées, base de sa chronologie

relative.

Les alluvions modernes du Cosson ont été également décrites dans un travail récent (GIGOUT et al., 1971). Ces auteurs constatent l'existence de paliers qui correspondraient à des alluvions anciennes, marquées probablement au cours de phases interglaciaires, par des phénomènes de rubéfaction assez intenses. Ces terrasses ne sont conservées que sous la forme de témoins, limités et discontinus, dont le raccord nous semble possible par la conjugaison des arguments géomorphologiques et paléopédologiques.

Il nous paraît intéressant de comparer l'évolution actuelle et ancienne des sols des alluvions du Cosson, d'origine presque exclusivement solonaise, et de la Loire dont les sédiments proviennent plus ou moins directement du Massif Central, malgré les contaminations latérales de matériaux locaux.

Nous avons ainsi tenté de mettre en évidence :

. l'existence de différents niveaux de terrasses ou au moins de "paliers" quaternaires pouvant servir de repères dans la chronologie des formations et sols étudiés.

. l'intensité de l'altération et la complexité des sols, suivant l'ancienneté des dépôts.

. les types d'évolution actuelle, propriétés édaphiques et position systématique des sols.

. les analogies avec les terrasses quaternaires de la Loire.

. la distribution des sols dans le cadre géographique régional et en liaison avec les facteurs du milieu naturel modifié par l'Homme.

Première Partie

ASPECT GENERAL

Chapitre Premier

METHODES ET TECHNIQUES

1. TERRAIN.

1.1. Choix de l'implantation des profils étudiés.

La région étudiée comprend essentiellement un secteur délimité par les feuilles au 50.000ème de la Ferté-Saint-Aubin et de Beaugency, correspondant aux levers cartographiques du Service d'Etudes des Sols et de la Carte Pédologique de France. Cette zone correspond au tronçon moyen du Cosson situé principalement sur les feuilles 5-6 et 7-8 de la Ferté-Saint-Aubin. Nos observations ont été prolongées sur la feuille de Bracieux 3-4 en vue d'obtenir un certain nombre de comparaisons avec l'aval. Le profilage a été implanté en fonction des coupes, des parcelles accessibles et du réseau de sondages de reconnaissance des campagnes cartographiques précédentes (HOREMANS et al., 1968, 1969).

Nous avons établi une toposéquence de référence le long d'un transect-type du versant du Bois du Roi, à 4 Km en aval de la Ferté-Saint-Aubin, endroit où la géomorphologie révèlait assez clairement l'existence de différents niveaux et où la végétation montrait des changements significatifs dans les sols.

Cette toposéquence constitue notre système de référence pour l'interprétation de la position des autres profils étudiés en amont et en aval. Elle s'étend des alluvions modernes où s'encaisse le cours actuel du Cosson, avec des caractères d'hydromorphie assez marqués, à une terrasse élevée située à environ 16 m au-dessus, et montrant des caractères d'évolution

très accentués.

Les autres profils ont été choisis et étudiés dans la perspective de leur situation géographique et chronologique par rapport à la toposéquence-chronoséquence de référence du Bois-du-Roi.

1.2. Méthodes de profilage.

1.2.1. Description des profils.

Pour chaque sol de la toposéquence du Bois-du-Roi, une fosse pédologique a été ouverte. Pour les autres profils étudiés, nous avons profité des nombreuses sablières qui se trouvent dans la région. Ces dernières, après un rafraîchissement profond, ont été utilisées spécialement pour les descriptions des horizons profonds; les horizons de surface ont été souvent décrits dans des fosses pédologiques peu profondes ouvertes à proximité, lorsque la carrière présentait des indices de remaniement.

La description détaillée des profils utilise essentiellement les termes du Glossaire Pédologique (1969). Pour la dénomination des horizons du sol et les unités de classification, nous utilisons comme référence la Classification du CPCS (1967) et le Cours de Pédologie de l'ORSTOM (AUBERT, 1969).

1.2.2. Prélèvements.

Nous avons fait des prélèvements pour :

. la micromorphologie, non d'une façon systématique, mais pour résoudre certains problèmes particuliers : nature des bandes foncées très fines à prélèvement ordinaire difficile, nature des horizons Bh, pour caractérisation des mécanismes de la dégradation des horizons Bt et l'illuviation secondaire d'argile, le lessivage, la nature de revêtement des grains, etc ...

. les analyses chimiques.

. les analyses spéciales (morphoscopie de sables).

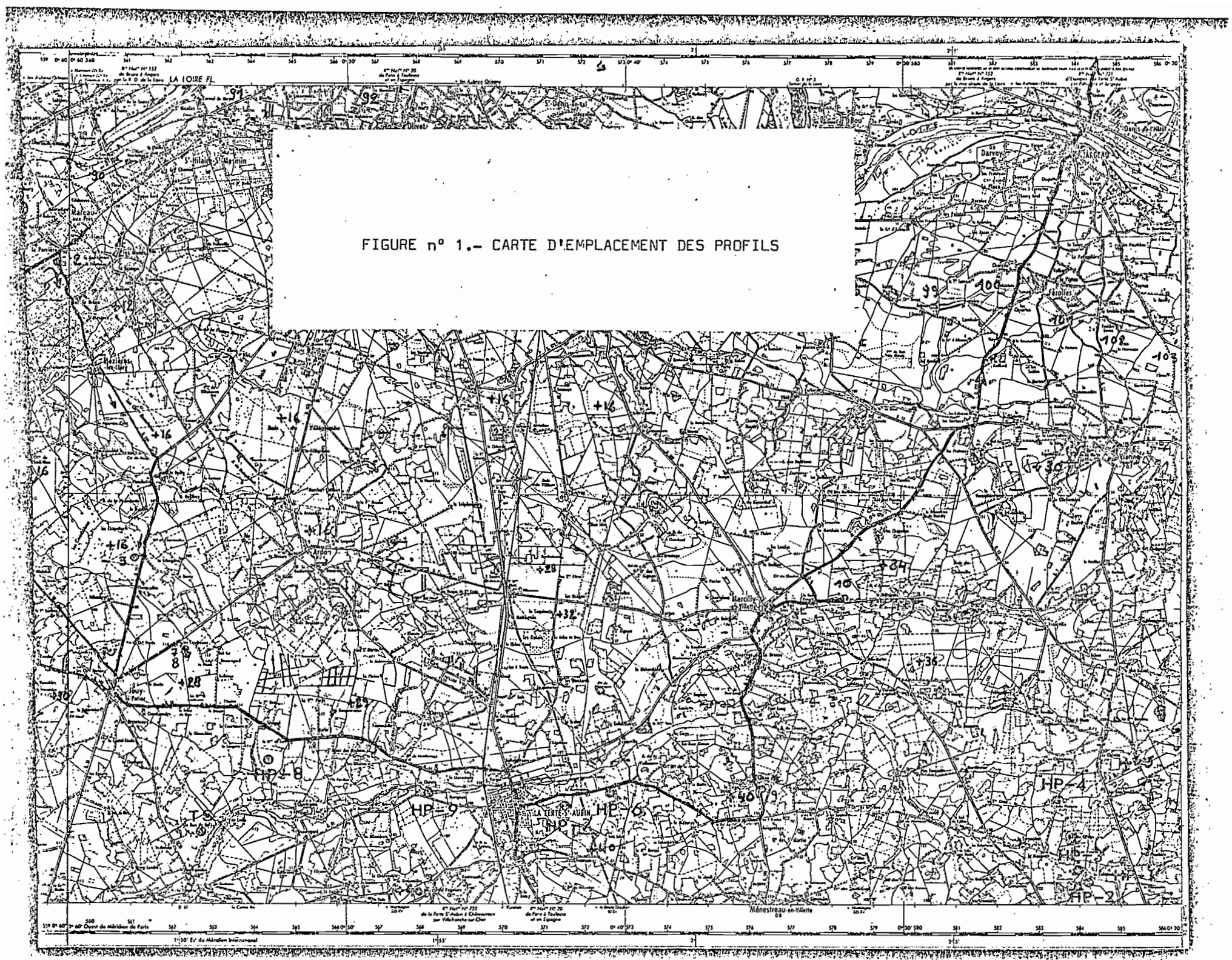


FIGURE n° 1.- CARTE D'EMPLACEMENT DES PROFILS

2. LABORATOIRE.

2.1. Analyses pédologiques courantes.

2.1.1. Granulométrie.

Déterminée par la Méthode Internationale utilisant la pipette de Robinson. Les sables ont été séparés en six fractions : 50-100/100-200/200-500/500/1000/1000-2000 microns. Les résultats sont exprimés en pourcentage de terre séchée à l'air.

A partir des résultats fournis par la granulométrie, nous avons construit les courbes de fréquence relative et les courbes cumulatives.

Les courbes de fréquence relative portent en ordonnée les effectifs de chaque classe, exprimés en % du sédiment, et en abscisse les classes granulométriques. Nous avons volontairement éliminé les limons et l'argile dans l'élaboration de ces courbes, parce que : premièrement pour la plupart des sols ils constituaient une très faible partie du sédiment, et deuxièmement, à cause d'une certaine redistribution du squelette fin et de l'argile due aux phénomènes pédologiques, que nous avons constatée pour certains sols.

2.1.2. pH.

La mesure du pH se fait sur une suspension de sol (rapport sol/solution = 1/2,5), d'abord dans l'eau distillée rebouillie, puis dans une solution KCl N.

2.1.3. Capacité d'échange (T).

Elle est déterminée par saturation avec le Calcium, en utilisant une solution de $CaCl^2$. Le Ca^{++} est dosé par complexométrie.

2.1.4. Cations échangeables et somme de bases (S).

Le déplacement des cations est réalisé avec une solution approximativement normale et neutre d'acétate d'ammonium dans l'eau. Les cations Ca^{++} et Mg^{++} sont dosés par complexométrie, en utilisant le "Complexon III" (sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique, EDTA). Na et K^{+} sont déterminés

par spectrophotométrie de flamme (émission).

2.1.5. Carbone total.

Technique inspirée de la méthode Anne adaptée à l'ORSTOM pour les analyses en série. Le carbone organique est oxydé par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique en excès. L'excès de bichromate, inutilisée dans la réaction, est dosé par le sel de Mohr.

2.1.6. Azote.

Il est déterminé par la méthode de Kjeldahl, avec les adaptations faites à l'ORSTOM pour le dosage automatique (Minéralisateur Technicon).

2.2. Analyses spéciales.

2.2.1. Humus.

Le principe de l'analyse est basé sur la solubilité des matières humiques colloïdales en milieu alcalin.

Le sol est traité d'abord par une solution d'acide phosphorique qui a pour rôle d'éliminer les cations qui fixent l'humus sur l'argile, et également de séparer la majeure partie des matières organiques légères qui ne doivent pas être en contact avec des réactifs alcalins.

Après centrifugation, la fraction lourde du sol est lavée à l'eau pour éliminer l'excès d'acide, puis traitée successivement par plusieurs solutions alcalines destinées à extraire l'humus en totalité.

On effectue deux ou trois extractions au pyrophosphate de sodium 0.1 M jusqu'à épuisement (solution relativement claire) suivies d'une ou deux extractions à la soude 0.1 N. Sur le mélange des extraits pyro, et sur le mélange des extraits soude, on sépare les fractions acides humiques et acide fulvique, et l'on dose le carbone sur chaque fraction.

2.2.2. Fer et Aluminium "libres".

Pour l'extraction des formes libres de l'aluminium, nous avons employé la méthode TAMM (tampon oxalique à pH 3.2)

agent complexant de l'aluminium. Le fer libre a été déterminé par la méthode DEB et DE ENDREDY. Ce dernier utilise aussi l'oxalate d'ammonium comme la méthode de TAMM, mais l'échantillon est soumis à l'irradiation U.V. Le dosage du fer et de l'aluminium a été fait par colorimétrie à l'autoanalyseur (DABIN, 1965).

2.2.3. Aluminium échangeable.

Il est extrait par le chlorure de potassium normal et dosé par colorimétrie à l'autoanalyseur.

2.2.4. Fer total.

Le fer total est extrait à l'acide chlorhydrique à chaud et dosé au Technicon. Il n'est pas extrait dans sa totalité, en particulier le fer des minéraux primaires intacts, mais c'est suffisant pour le but recherché.

2.2.5. Morphoscopie de sables.

Pour l'analyse morphoscopique de sables, nous nous sommes basé, pour l'essentiel, sur la méthode préconisée par A. CAILLEUX et J. TRICART, et utilisée à l'ORSTOM au Laboratoire d'Etudes géologiques. Certaines catégories ont été modifiées et leur nature sera discutée en annexe.

La morphoscopie des sables consiste essentiellement à examiner la forme et la surface de grains à la loupe binoculaire dans des conditions données, et à séparer diverses catégories de grains suivant ces caractères. Les grains de quartz étant les plus résistants à l'altération, c'est sur ceux-ci que se porte l'analyse.

2.2.6. Taux de Feldspaths.

Associé à la morphoscopie de sables, nous avons étudié le pourcentage de feldspaths.

La recherche du pourcentage de feldspaths a été faite sur un total de 100 grains qui consistaient en quartz, feldspaths et en très rares "divers" dans la taille examinée (0.4 - 0.5 mm).

La distinction est basée sur l'aspect visuel des grains sans les soumettre à des traitements chimiques, car ils étaient propres. Ces grains provenaient de l'analyse granulométrique, donc traités à l'eau oxygénée.

Les grains de feldspaths sont incolores, blancs ou pâles et se cassent suivant les clivages ; ils donnent des surfaces planes à angles nets; le quartz, par contre, a une cassure conchoïdale gauche se coupant sous des angles variés et marque le verre.

Dans certains cas, la distinction est difficile et il faut éclairer les grains sous différents angles ou bien finir par les casser. Les feldspaths, sous une pression limitée, se cassent en éclatant aisément, tandis que le quartz résiste davantage.

2.3. Minéralogie des argiles.

Pour étudier la nature minéralogique des argiles, nous avons utilisé deux méthodes : les spectres de diffraction de Rayons-X, et l'analyse thermique différentielle pour un certain nombre d'échantillons. Le nombre d'analyses étant forcément limité, nous avons choisi pour chaque profil un nombre d'échantillons suffisant pour couvrir les différentes phases sédimentaires et de pédogenèse.

L'analyse thermique différentielle s'est montrée peu efficace étant donné la complexité du mélange des minéraux argileux, donc nous avons abandonné cette méthode.

Les spectres de diffraction de Rayons-X, par contre, ont été utilisés systématiquement. Certains diagrammes sont délicats à interpréter, spécialement si la kaolinite et la chlorite sont présents.

2.4. Micromorphologie.

2.4.1. Généralités.

La technique micromorphologique consiste à tailler une lame mince dans un échantillon de sol non perturbé, consolidé par une résine, et à observer cette lame au microscope polarisant.

Les premiers travaux sont déjà anciens, et c'est KUBIENA le premier à utiliser la lame mince pour faire des interprétations pédologiques; il publie en 1938 le premier ouvrage sur la micromorphologie.

Le développement de cette technique s'est réalisé au cours de ces dernières années avec l'apparition de résines synthétiques qui permettent une consolidation rapide et efficace

des échantillons.

2.4.2. Prélèvement des échantillons.

Le prélèvement des échantillons est une opération délicate qui exige de prendre un certain nombre de précautions :

. les échantillons doivent être prélevés si possible dans une fosse pédologique récemment ouverte ou une carrière bien rafraîchie;

. l'échantillon doit être non perturbé;

. il faut connaître la position exacte de la lame mince dans le sol.

Pour le prélèvement, on utilise soit des boîtes métalliques dont les parois se déplient, avec les deux fonds amovibles, soit des boîtes en plastique, en évitant le chlorure de vinyle qui est dissout dans les résines, lors de l'imprégnation; on utilise même parfois des boîtes en carton.

On applique la boîte, une fois dégagée une surface verticale propre, on l'enfonce avec la main gauche au fur et à mesure qu'on dégage au couteau un échantillon de la taille de la boîte en grattant. Une fois la boîte bien enfoncée, on la dégage soigneusement.

2.4.3. Imprégnation.

Elle est réalisée généralement par l'extraction des échantillons séchés de leurs boîtes métalliques, lorsque celles-ci ne présentent pas de problèmes particuliers d'effritement. Après l'enlèvement, elle est mise dans des boîtes en carton doublées d'un film de polyéthylène. Quand les échantillons sont petits, des agrégats par exemple, on utilise des gobelets en étain.

L'imprégnation se fait sous vide utilisant un gros dessicateur et une trompe d'eau. Pour cette opération, on utilise des résines synthétiques, comme le Vestopal 130 H ou la Norsodyne 533; on ajoute un catalyseur et un accélérateur.

Le processus dure un jour pour l'imprégnation et environ un mois pour le durcissement.

2.4.4. Taille des lames minces.

Une fois le bloc durci, on y choisit un secteur pour fabriquer la lame et on découpe le bloc avec une scie diamantée. Ensuite, on utilise toute une série d'appareils pour réduire sa taille et son épaisseur jusqu'aux dimensions requises.

Chapitre II

FACTEURS D'EVOLUTION ET DE REPARTITION DES SOLS

1. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE.

1.1. Généralités.

En Sologne, les formations géologiques et les unités géomorphologiques quaternaires sont étroitement liées et constituent des ensembles homogènes. Les terrasses d'alluvions anciennes constituent en même temps une formation géologique (alluvions) et une forme de paysage (terrasse). Sur ces ensembles, la pédogenèse intervient en modifiant les caractères initiaux du sédiment.

Divers auteurs se sont intéressés à la Sologne, en particulier à la fin du siècle dernier : DOLLFUSS (1897), DOUVILLE (1879), GAUCHERY (1893), DE GROSSOURE (1897) et plus récemment DENIZOT (1927), VATAN (1937). Les travaux les plus récents correspondent à ceux de DENIZOT (1961), HARRAULT (1960), LE HOUEROU (1961), HOREMANS (1961), GRAS (1961), GIGOUT-HOREMANS-RASPLUS (1971). Ces derniers résument les travaux précédents en éclaircissant certains points qui restaient sujets à controverse, spécialement en ce qui concerne les "cailloutis préligériens, m3c de DENIZOT (1961).

1.2. Géologie régionale.

Les sédiments de la Sologne peuvent être considérés comme remplissant une vaste cuvette dont les bords suivent la

rive gauche de la Loire, la rive droite du Cher et le Pays Fort au pied des collines du Sancerrois. Cette cuvette s'est formée pendant l'Eocène et l'Oligocène jusqu'à l'Aquitanien où s'est déposé le "calcaire de Beauce", qui forme le plancher des Sables de Sologne dans notre zone. Postérieurement, se sont succédés les creusements et apports fluviatiles quaternaires.

Nous rencontrons ainsi :

. Calcaire de Beauce (g3). Dépôts constitués surtout de calcaires avec de la meulière, des marnes, des marnes sableuses. Cette formation affleure en bordure du Val de Loire, à l'ouest d'Orléans; en pleine Sologne, elle est recouverte d'une assise puissante de sables de Sologne, dont l'épaisseur atteint 120 m. à la Ferté-Saint-Aubin.

. Formation Sologne-Orléanais (m1). Elle est considérée par GIGOUT et al. (1971) comme un ensemble stratigraphique unique (m2 et m1 de la Carte Géologique à 1/80.000ème). Les "sables de l'Orléanais"constitueraient le faciès, au nord d'Orléans, de la partie inférieure du groupe de Sologne qui est argilo-sableux dans son ensemble. Les "sables de l'Orléanais" représenteraient la base du Burdigalien.

. Les marnes de l'Orléanais (M). Existent sous forme lenticulaire diffuse à l'intérieur des formations de l'Orléanais et de la Sologne.

. les "cailloutis préligériens" de DENIZOT (Miocène terminal, m3c de la Carte Géologique à 1/80.000ème, sont considérés par GRAS (1961) comme appartenant au Quaternaire ancien. Il l'a bien montré à Chatillon-s-Loire et Gien. GIGOUT et al. (1971) l'ont confirmé près de la Ferté Saint-Aubin.

. les terrasses anciennes de la Loire. Correspondent aux différentes appellations "a" de la Carte Géologique à 1/80.000ème qui s'étalent à différents niveaux au-dessus de la Loire.

Les alluvions quaternaires sont largement étalées avec une puissance variable ne dépassant souvent pas la dizaine de mètres. Elles forment des terrasses, des glacis polygéniques et les plaines alluviales. Ces épandages sont assez limités pour les affluents de la Loire et spécialement pour ceux du réseau intra-solonais.

1.2.1. Le Quaternaire de la Loire.

Souvent, la distinction entre les alluvions quaternaires de la Loire et la formation de Sologne se révèle diffi-

cile. Bien que les alluvions ligériennes proviennent surtout d'apports lointains longitudinaux, elles se rechargent souvent en apports latéraux d'origine locale et provenant essentiellement de la formation Sologne-Orléanais (niveaux argileux intercalaires par exemple).

La distinction a été possible en utilisant divers critères (GIGOUT et al., 1971) : la platitude de terrasses, l'existence d'une phase grossière (galets) et la présence de gros blocs caractérisent les alluvions quaternaires. La granulométrie des sables et les cortèges minéralogiques ont confirmé la parenté de toutes les alluvions quaternaires, cailloutis préligériens de G. DENIZOT compris, et ont montré en outre les particularités de la formation de la Sologne.

DENIZOT, étudiant les alluvions du Bassin de la Loire, avait déterminé quatre niveaux principaux, étagés entre la "pénéplaine" et le fleuve (DENIZOT, 1921, 1935, 1946 - GRAS, 1961), puis HOREMANS (1961) et autres (GIGOUT et al., 1971) ont postérieurement précisé ou modifié les hypothèses de DENIZOT.

L'âge de ces terrasses a été déterminé finalement grâce à des arguments paléontologiques (BOURLON, 1906-1913 et A. NOUEL, 1947). Certains repères paléoclimatiques indiquent les phases froides : blocs transportés par radeaux de glace (GRAS, 1963), polygones de toundra (HOREMANS, 1960-1961), la morphologie des petits vallons dissymétriques se raccordant à la plaine de la Loire (GIGOUT et al., 1971).

Les paléosols d'altération plus ou moins rubéfiés et dégradés indiquent au contraire les phases plus ou moins chaudes. Nous pouvons observer les niveaux suivants :

. Première terrasse, celle de Tigy, de Sully à Vienne (Fx de la Carte Géologique à 1/50.000ème). Son niveau est de 6 - 8 m au-dessus du Val. L'âge probable est Riss récent ou Wurm ancien;

. Deuxième terrasse (rive gauche), terrasse plus fragmentée de Lion, de Nées et de Grands Gauriers près de Sully. Tous les lambeaux sont à 11 - 13 m. au-dessus du Val. Age probable Riss ancien.

. La terrasse de Chateauneuf sur la rive droite (Fw de la Carte Géologique à 1/50.000ème) est bien conservée; la hauteur au-dessus du val est de 14 - 17 m; elle semble sensiblement contemporaine à la précédente (HOREMANS, 1960).

. La terrasse de Dampierre est également sur la rive droite, à une altitude relative sur le Val de 30 m. Cette terrasse, qui correspond en altitude relative à la partie moyenne

du glacis polygénique est d'âge Mindel.

. Les alluvions les plus anciennes (Fv de la Carte Géologique à 1/50.000ème), forment des lambeaux d'un plateau à l'est d'une terrasse dominant celle de Nées. A l'Est, il passe à un glacis polygénique qui atteint une hauteur maximale de 40 m. au-dessus du Val (Louan) et qui descend régulièrement jusqu'au niveau de la surface d'Olivet et d'Orléans-la-Source, analogue de la terrasse de Nées. Ce glacis se trouve interrompu par les vallées du Cosson et du Bourillon qui laissent des lambeaux-témoins qu'on observe près de la Ferté-Saint-Aubin à la Grisonière au sud du Cosson. La partie élevée (35-40 m.) est anté-Mindel; près de la Ferté, elle comporte des blocs de brèche siliceuse ("perrons") venus par "radeau de glace" de la région de Gien (GIGOUT et al., 1971).

1.2.2. Le Quaternaire de la Sologne (sensu stricto).

Au cours du Quaternaire se produit l'enfoncement progressif des vallées, Loire et affluents, par creusement de type essentiellement climatique.

En résumé, les observations faites sur les alternances climatiques du Quaternaire et les processus morphogénétiques correspondants, nous permettent de reconnaître deux séries de périodes très différentes (P. HOREMANS, comm. pers.) :

. Périodes froides :

- au début les pédogenèses froides, puis
- gélivation, solifluxion sur les versants, comblement des vallons, des phénomènes éoliens, apparition de fentes de gel;
- réagencements plus ou moins marqués par la fonte de neiges et de glaces en été, et par des débâcles pour les fleuves.

. Périodes chaudes :

- au début, fonte et écoulements importants qui déposent les alluvions véritables en niveaux stratifiés;
- creusement du lit avec maintien d'une terrasse;
- pédogenèse en phase tempérée ou chaude.

Cette variété de mécanismes de morphogenèse a déterminé la complexité des sédiments et sols quaternaires de Sologne.

Dans le Bassin du Cosson, les apports latéraux de matériaux de versants ont prédominé sur les alluvionnements longitudinaux ou les ont remaniés. L'action répétée du vent et l'intervention de l'homme ont contribué de façon décisive au modelé du paysage.

Le Cosson ayant creusé son lit dans les alluvions quaternaires les plus anciennes de la Loire, il convient de préciser les caractères géologiques et pédologiques de cette partie la plus élevée du glacis quaternaire de la Loire.

1.3. Origine des matériaux quaternaires du Bassin du Cosson.

1.3.1. La formation "Sologne-Orléanais". (m1 et m2 de la Carte Géologique à 1/80.000ème)

Formation très complexe constituée d'un mélange en toutes proportions de sables et d'argile. Le sable est souvent grossier ("gros sel"). Le quartz est largement dominant avec des grains de feldspaths et de micas en moindre proportion. La stratification est lenticulaire, avec lits obliques. Les lentilles d'argile sont fréquentes.

Dans la région étudiée, c'est le faciès sablo-argileux dépourvu de cailloux, très pauvre en limon, qui prédomine largement.

Nous avons fait un prélèvement dans un affleurement de Sologne typique pour caractériser le sédiment. Le prélèvement a été fait dans une petite sablière près de la ferme Le By (2,5 Km à l'ouest de la Ferté).

Les caractères sont les suivants :

- Matériau sablo-argileux, teneur en argile relativement importante (18 %);
- Teneur très faible en limons fins et grossiers (moins de 4 % au total);
- Sable moyen prédominant ensuite sur le sable grossier;
- Dépourvu de cailloux et de graviers;
- Courbe cumulative indiquant nettement le caractère fluviatil;
- Grains subanguleux luisants (SL) prédominants, 50 %, suivis des anguleux luisants (AL), 20 % (fraction A).
- Absence de grains éolisés;

- Taux de feldspaths qui atteint 21 %;
- Coloration panachée, à dominante ocre-rouge (5 YR);
- La montmorillonite domine les minéraux argileux, ensuite la kaolinite et finalement un peu d'illite.

Ces résultats concordent avec les caractères attribués par LE HOUEROU (1961) aux sables argileux burdigaliens en place. Les différences résident dans les types d'argile et un décalage dans la granulométrie, la fraction entre 0.5 et 1 mm étant dominante pour LE HOUEROU.

Ceci pourrait s'expliquer par le fait que cet auteur a étudié une gamme étendue de sédiments de Sologne, alors que notre étude concerne un secteur restreint. La montmorillonite présente est vraisemblablement à rapprocher de l'existence de lentilles marneuses au sein de la formation.

A la base du profil Le By, à 1,80 m de profondeur, nous avons trouvé un niveau argileux vert où la montmorillonite est largement dominante, suivie de la Kaolinite et d'un peu d'illite (le pourcentage d'argile était de 67 %).

La formation de Sologne présente d'autres faciès, à sable très grossier, gravillonnaire, argileux. Pour LE HOUEROU, la teneur en graviers et cailloux se situe entre 1 et 30 % mais peut atteindre parfois 80 %. Nous avons vu qu'au moins un certain nombre de ces niveaux caillouteux doivent être rapportés au Quaternaire.

Le matériau est très mal structuré, compact, souvent peu favorable au drainage interne, d'autant plus que le faciès est plus argileux. Sur les hauts de versants où il affleure, il détermine souvent l'existence de sols hydromorphes.

Le faciès argileux à faible profondeur provoque un engorgement de la base des profils de sols favorisant des phénomènes de dégradation des horizons Bt et en même temps constitue un piège pour l'aluminium, le fer et les bases qui migrent en profondeur.

1.3.2. Le glacis polygénique.

Le glacis polygénique présente trois niveaux sédimentaires superposés que nous allons examiner successivement de haut en bas :

- Le manteau éolisé des formations anciennes.

Cette formation recouvre les alluvions anciennes de la Loire d'une couche éolisée sablo-limoneuse, qui dépasse souvent 1 m en surface non érodée et qui est généralisée là où elle n'a pas été remaniée par solifluxion, ablation ou ruissellement. Elle sert de support au sol actuel (HOREMANS, 1961).

Il s'agit d'une couche non stratifiée à texture homogène, sableuse plus ou moins limoneuse, plus fine que celle des alluvions. Elle tranche nettement sur le substratum. Ce dépôt est d'origine périglaciaire et généralement Wurmien. Dans la fraction sableuse, on observe des grains éolisés; cette formation a été certainement remaniée par les actions d'érosion périglaciaire (solifluxion) et le transport fluviatile; les grains ronds-mats typiques constituent souvent un faible pourcentage; ceci est d'autant plus net que les "fentes en coin", qui ont constitué des pièges pour les sables soufflés, en période périglaciaire, en possèdent le taux le plus élevé de grains éoliens typiques (HOREMANS, 1960-1961).

Un prélèvement réalisé en collaboration avec P. HOREMANS à Louan, dans la terrasse-glacis de 40 m, donne les résultats suivants :

- pourcentage de grains éolisés de 75 % avec 20 % de ronds-mats typiques dans une fente en coin;
- les alluvions anciennes encaissant la fente en coin ne montrent qu'une contamination éolienne faible, due au remaniement, avec 9 % de grains éolisés et l'absence de ronds-mats typiques;
- la couverture éolisée arrive à 48 % de grains éolisés, avec moins de 12 % de ronds-mats typiques;
- la granulométrie indique une prédominance de sables moyens et grossiers.

Un certain mélange se produit à la base de cette formation. Il se manifeste par l'incorporation de galets alluviaux au sein même de la masse éolisée, constituant souvent un cailloutis de base. La proportion de graviers et de cailloux, très faible en surface lorsque la couche atteint 75 cm, devient de l'ordre de 30 % lorsqu'elle est réduite à 40 cm.

- Les alluvions anciennes du glacis polygénique.

Ces alluvions présentent toutes les valeurs granulométriques, de l'argile aux galets, et même aux blocs. Matériau

siliceux et argileux, sans calcaire, à base de quartz largement dominant, silex, feldspaths et des argiles. Ces alluvions présentent aussi une stratification lenticulaire. Une partie correspond au remaniement de la formation de Sologne de versants, dont elle peut acquérir le faciès et la composition granulométrique (ex : LOUAN).

Ces alluvions, par rapport aux alluvions des terrasses plus récentes de la Loire, sont plus argileuses dans l'ensemble, se rapprochant davantage de la formation de Sologne. Cet enrichissement en argile est surtout dû à une évolution paléopédologique, mais aussi à un remaniement de la formation de Sologne, en particulier dans les zones marginales des terrasses.

Avec P. HOREMANS, nous avons fait un prélèvement à la Papinière et un autre à Belle-Fontaine, qui constituent nos témoins du glacis.

Les caractères sont les suivants :

- matériau sablo-argileux, enrichi en graviers et petits cailloux de quartz, silex et feldspaths, dont l'ensemble peut atteindre 30 %;
- enrichi en argile par des phénomènes paléopédologiques, le taux d'argile atteint 30 % à la base;
- sables totaux qui représentent jusqu'à 90 %, sables moyens prédominants à la Papinière (50 %) et sables grossiers à Belle-Fontaine (37 %);
- pauvre en limons fins et grossiers (moins de 10 %);
- courbe cumulative indiquant un transport fluviatile;
- taux de feldspaths de l'ordre de 18 %;
- absence de grains éolisés à l'exception de quelques rares grains des catégories (EP) et (EM);
- les grains subanguleux luisants (SL) dominent avec 40-60 %, suivis des anguleux luisants (AL) avec 30-40 %; les émoussés luisants (EL) sont peu représentés avec moins de 20 % (fraction A).

P. HOREMANS (1961) a trouvé à ce niveau un taux plus élevé de feldspaths (23-24 %), et pour ce qui concerne les argiles, une prédominance nette de la kaolinite avec 7/10ème du total.

1.4. Les matériaux du Cosson.

Leur nature et leur chronologie constituent un des buts essentiels de notre étude; ces caractéristiques seront précisées par nos propres conclusions.

D'après la publication de GIGOUT et al. (1971), on distingue :

. Les sables superficiels de Sologne.

Ce sont des sables lessivés, on argileux ou pauvres en argile, connus en Sologne sous les vocables de "sables morts" et "sables à lapins". Ils proviennent de la formation de Sologne (miocène) et accessoirement des alluvions quaternaires et de la couverture éolisée par une pédogenèse lessivante suivie d'un transport. Le ruissellement, la solifluxion et le vent, par des actions répétées, ont participé partout à ce transport, pendant les périodes froides wurmiennes. Elles tapissent surtout les vallées de petites rivières avec un passage de formations de versant à des <u>alluvions franches</u>. Ces dernières forment des banquettes de quelques mètres de part et d'autre de cours d'eau. Les terrasses sont plus étendues, là où la vallée est plus large, c'est-à-dire qu'elles couvrent des surfaces plus importantes, allant de l'Est vers l'Ouest. Elles s'étalent sur le fond Miocène.

Les alluvions anciennes de la Loire autant que la couverture éolisée qui les surmontent débordent sur la formation de Sologne en apportant des cailloux et des galets qui se mêlent de "sables morts" constituant des <u>formations de pente</u> qui parfois sont difficiles à distinguer des formations alluviales du Cosson.

L'existence des alluvions anciennes du Cosson, même s'il est souvent difficile de les séparer des formations de versants, existe partout. Elles forment des bourrelets, comme à Vannes de chaque côté du Cosson (au nord, le Bois de sables, au sud, les buttes 135), ou bien des banquettes alluviales aux environs de Vannes sur Cosson et près de Chambord.

Ces alluvions fines ne trouvent pas une explication par un modelé dunaire originel à cause de la présence de gravillons en surface. Le mécanisme probable serait l'érosion différentielle du matériau de Sologne, plus sensible au ravinement que celui des terrasses alluviales.

Dans le réseau des Sauldres, LE HOUEROU (1961) a décrit des formations dunaires liées à la terrasse la plus ancienne (I). Ces formations auraient été remaniées en partie dans une phase postérieure pour enrichir de grains éoliens une deuxième terrasse.

Il est à remarquer que le Bassin du Cosson n'atteint pas en amont les affleurements d'argile à silex de la région de Gien. Contrairement aux Sauldres qui remanient abondamment les couvertures siliceuses du Sancerrois, le Cosson n'a donc pas eu la possibilité de déposer les "sables à silex" si caractéristiques du Bassin de Sauldres (Brinon, Souesmes).

A l'ouest de la Ferté, les alluvions anciennes du Cosson forment deux banquettes de "sables morts". Ceux-ci sont composés pour l'essentiel de matériaux repris de la formation de Sologne.

Les lambeaux d'alluvions plus anciennes du Cosson ont été repérés sur trois buttes : à la Goronière, à 500 m au sud-est du Chateau du Lude (emplacement du profil HP-8), à 900 m sud-est de St-Rémi-des-Madères, à Notre-Dame-de-Trays. La base du lambeau de la Goronnière et du Lude est à 105 m contre 105 m. aux Madères et 120 m à Notre-Dame de Trays. Le fond de la vallée est à environ 97 m.

1.5. Conclusions.

. Trois formations principales ont alimenté les alluvions du Cosson, qui sont, par ordre d'importance : la formation de Sologne, sablo-argileuse, miocène; la terrasse ancienne de la Loire (stratifiée, caillouteuse, enrichie en argile par des phénomènes pédogénétiques), et la couverture éolisée sablo-limoneuse sus-jacente;

. Deux d'entr'elles (les deux premières) constituent des alluvions qui montrent des courbes cumulatives typiques des formations fluviatiles;

. Ces deux formations possèdent un taux de grains subanguleux luisants (SL) prédominants d'environ 50 % dans la fraction A (800 - 1000 microns). Ce taux est plus élevé pour la formation de Sologne;

. Les parties supérieures de ces matériaux ont subi des paléo-pédogenèses lessivantes et sont donc appauvries en argile, bases, et matériaux altérables;

. La couverture éolisée comporte surtout des grains éolisés, les grains ronds-mats typiques étant en faible proportion, à l'exception de fentes en coin où leur pourcentage par rapport aux grains éolisés devient très important (HOREMANS, 1960, 1961);

. La couverture éolisée donne également une courbe cumulative qui se rapproche du type fluviatile précédent. Le faible tri éolien des formations alluviales-mères indique un remaniement surtout local.

Ainsi :

. Les phénomènes morphogénétiques sont en grande partie commandés par la solifluxion, le ruissellement et l'action répétée du vent pendant le Quaternaire;

. Les phénomènes de versant ont masqué ou remanié un peu partout les alluvions anciennes du Cosson, spécialement en amont de son cours, où la vallée est plus étroite;

. Les "sables morts" ou sables superficiels de Sologne apparaissent le plus souvent comme le résultat du remaniement des horizons supérieurs de sols très lessivés;

. L'action éolienne est présente partout dans la région étudiée.

2. LE CLIMAT.

2.1. Généralités.

Le climat de la Sologne a été étudié par une équipe appartenant au Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier dirigé par L. EMBERGER (1964). Les données climatiques correspondent principalement aux stations d'Orléans, Gien, Blois, Romorantin et Bourges qui disposaient de valeurs relevées en continuité pendant un grand nombre d'années. De ces stations, les plus proches de la zone étudiée sont celles d'Orléans et de Romorantin.

2.2. Températures.

Le régime thermique de toute la Sologne est comparable à celui qui règne sur les plaines voisines (Tableau n° I). La moyenne mensuelle des températures a été aussi enregistrée à la station de Maisonnette, sur la commune de Souvigny-en-Sologne (pendant une dizaine d'années), et ses valeurs moyennes ne diffèrent pas d'une façon appréciable des données de la station de Romorantin; mais on observe des variations importantes d'une année à l'autre.

T a b l e a u n ° I

MOYENNES MENSUELLES DES TEMPERATURES (1891-1930)

Stations \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. an.
Romorantin	3.9	4.9	7.5	10.2	14.4	17.8	19.7	19.2	16.7	11.8	6.9	4.6	11.4
Blois	3.6	4.7	7.2	10.2	14.1	17.0	19.2	18.8	16.1	11.5	6.4	4.4	11.1
Orléans	3.4	4.4	6.8	9.9	13.8	16.5	18.6	18.3	15.8	11.1	6.3	4.2	10.8
Gien	4.0	5.1	7.8	10.8	14.3	17.1	19.2	18.8	15.9	11.6	6.9	4.9	11.4
Bourges	3.4	4.6	7.4	10.4	14.6	17.5	19.6	19.1	16.4	11.6	6.8	4.3	11.3

L'amplitude thermique annuelle est de l'ordre de 15 - 16 °C.

Du point-de-vue écologique, la moyenne des températures minimums du mois le plus froid (m) et la moyenne des températures maximums (M) du mois le plus chaud sont les données thermiques plus significatives, car elles représentent des valeurs qui peuvent être limitatives pour le développement de la végétation.

Ces valeurs présentent certaines similitudes à Romorantin et à Montpellier.

T a b l e a u n ° I I

MOYENNES MENSUELLES DES MINIMUMS ET DES MAXIMUMS
(1891 - 1930)

Stations \ Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Romorantin	M	6.7	8.5	11.9	15.5	19.8	23.0	25.3	25.4	23.1	15.6	9.7	7.2
	m	0.9	1.3	3.1	4.9	9.0	12.2	14.1	13.0	10.3	8.0	4.1	2.0
Montpellier	M	11.1	12.8	15.7	18.8	23.1	27.2	30.3	29.6	26.1	20.3	15.0	12.1
	m	0.9	1.6	3.9	6.8	10.1	13.4	15.1	15.2	12.5	8.7	4.6	2.1

2.3. Précipitations.

La distribution des précipitations en Sologne est relativement ir-

régulière, comme le montrent les moyennes annuelles de quatorze stations de Sologne (1850-1930) - Tableau n° III.

T a b l e a u n ° I I I

PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES EN SOLOGNE
(1850 - 1930)

Stations	P. mm	Stations	P mm
Ardon	607	Brinon-sur-Sauldre	723
La Ferté-Saint-Aubin	638	Aubigny-sur-Nère	759
Ligny-le-Ribault	564	Vernou-en-Sologne	627
Sennely	662	Salbris	650
La Ferté-Saint-Cyr	638	Contres	576
Coullons	695	Nançay	649
Lamotte-Beuvron	597	Romorantin	603

Les stations situées dans les vallées reçoivent plutôt moins de pluie que celles des collines. Les précipitations annuelles, sont en moyenne de 600 mm dans la partie ouest de la Sologne, et de 700 mm dans la partie est, sur les contreforts du Sancerrois.

Les moyennes pluviométriques mensuelles et annuelles doivent être considérées avec soin car, d'une année à l'autre, les précipitations varient beaucoup.

La régularité des précipitations moyennes mensuelles tout au long de l'année est due à la succession d'années très diverses, et souvent même opposées. Elles laissent croire que le régime pluviométrique est régulier, du type océanique (Tableau n° IV a).

T a b l e a u n ° I V a

PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES EN mm
(1891 - 1930)

Stations \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyennes annuelles
Lamotte-Beuvron	46	44	47	52	55	58	62	46	42	70	66	62	650
Romorantin	45	41	50	53	54	54	59	46	42	67	64	55	630
Blois	52	45	59	54	57	51	51	46	41	75	74	67	678
Orléans	45	41	49	51	56	58	56	45	42	70	63	60	636
Gien	49	38	40	47	48	56	55	48	43	59	56	51	583
Bourges	59	46	51	58	57	63	60	55	51	62	63	57	672

Le tableau n°IVb montre les précipitations mensuelles et saisonnières à Romorantin pendant 2 ans (en mm) qui sont assez contrastées.

Tableau n° IVb

Mois / Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1954	36	33	71	112 16	25	30	165 24	111	41	95 36	18	44	479
1960	26	33	77	170 28	65	53	188 60	75	73	350 223	54	81	848

Les conclusions des phytosociologues montrent que :

. Il y a deux périodes défavorables aux végétaux.

- L'hiver où la température est trop basse
- L'été où il fait trop chaud et trop sec au milieu de la journée.

. Deux périodes favorables

- Le printemps,
- l'automne.

Les calculs d'évapo-transpiration montrent que le déficit estival est compensé par les réserves en eau du sol pour les plantes à enracinement profond.

2.4. Climat et Sol.

De nombreuses formules ont été proposées pour exprimer le régime hydrique du sol.

Le facteur drainage climatique, c'est-à-dire la différence entre pluviosité et évaporation exprime cet état et mesure donc l'importance du lessivage ou la tendance à la podzolisation (J. DUPUIS, 1952).

Le drainage climatique peut être calculé par la formule de AUBERT et HENIN (1945), modifiée par AUBERT et DUPUIS en 1952; cette formule donne un bilan global pour l'année :

$$D = \frac{\gamma P3}{1 + \gamma P2}$$

D = drainage calculé, en M/an
P = précipitations moyennes en M/an
γ = coefficient mesurant l'action globale du facteur évaporation du milieu considéré

γs ' exprime $\gamma = \frac{1}{0.15\ T - 0.13}$

T = Température moyenne annuelle en degrés centigrades

La perméabilité de la roche-mère, donc son aptitude pour le lessivage, est exprimée par le coefficient α qui multiplie γ. Le coefficient de perméabilité varie entre 0.5 et 2.0 (AUBERT G., 1945; M. JAMAGNE et J. HEBERT, 1964)

Argile 0.5 Limons 1.0 sables fins 1.5 Sables grossiers 2.0

Le calcul fait d'après cette formule apparaît dans le Tableau n° V. Nous avons considéré toutes les gammes de roches-mères pour inclure dans le contexte sableux général de Sologne certaines alluvions modernes riches en argile et les sols à couverture sableuse mince sur un matériau sablo-argileux. L'interprétation de ces indices est faite suivant J. DUPUIS (1952) et RIGHI (1969) :

. moins de 115 mm : tendance à la formation de sols bruns,
. 115 - 150 mm : tendance à la formation de sols bruns lessivés,
. 150 - 185 mm : tendance à la formation de sols lessivés,
. 185 - 200 mm : tendance au lessivage intense et début de podzolisation.
. plus de 200 mm : tendance à la podzolisation assez forte.

Les calculs portent sur les stations de Romorantin et d'Orléans les plus proches de la zone étudiée.

Les résultats obtenus sont les suivants (Tableau n° V), pour les deux stations.

Sur argile : sols bruns
Sur limon : Sols bruns lessivés
Sur sable fin : Sols lessivés
Sur sable grossier : Sols podzolisés (forte podzolisation).

Tableau n° V

CALCULS DU DRAINAGE CLIMATIQUE

	Romorantin	Orléans
P M	0.630	0.630
T °C	11.4	10.8
γ	0.630	0.670
D 1 (0.5)	69	75
D 2 (1.0)	126	136
D 3 (1.5)	171	183
D 4 (5.2)	210	223

Cette formule ne tient pas compte de la répartition des pluies dans l'année, ni des facteurs locaux, comme la topographie, la végétation, etc ... Les valeurs trouvées pour les sables fins et grossiers, roches-mères largement prédominantes en surface dans notre secteur indiquent une tendance accusée au lessivage et à la podzolisation. Cette tendance est largement vérifiée par les faits.

Les courbes ombrothermiques de GAUSSEN-BAGNOULS (1953-1957) poursuivent une fin analogue à celle des formules climatiques précédentes. Elles sont surtout adaptées au milieu méditerranéen et permettent de déterminer les périodes sèches, subsèches et humides au cours de l'année.

Les diagrammes montrent que les courbes de températures et de précipitations ne se recoupent jamais. On peut cependant constater qu'existent des périodes subsèches de l'ordre de 60 jours, très comparables pour les stations de Romorantin, Orléans et Gien, période qui va de la fin juin à avant la fin de septembre. Blois présente un déficit hydrique plus élevé avec une période subsèche de 100 jours. A Bourges, par contre, plus au Sud cette période n'existe plus.

Les diagrammes de GAUSSEN semblent cependant peu sensibles (M.C. GIRARD, 1968) spécialement lorsque les paramètres climatiques sont très variables d'une année à l'autre, comme c'est le cas pour la Sologne. Une période subsèche doit être interprétée comme une quasi-certitude d'existence d'une période sèche pour un certain nombre d'années. Ceci concorde avec les conclusions des phytosociologues (1964).

2.5. Conclusions.

. Le climat actuel de la Sologne en apparence est très régulier, pour ce qui concerne les précipitations moyennes annuelles, mais en fait il varie beaucoup d'une année à l'autre.

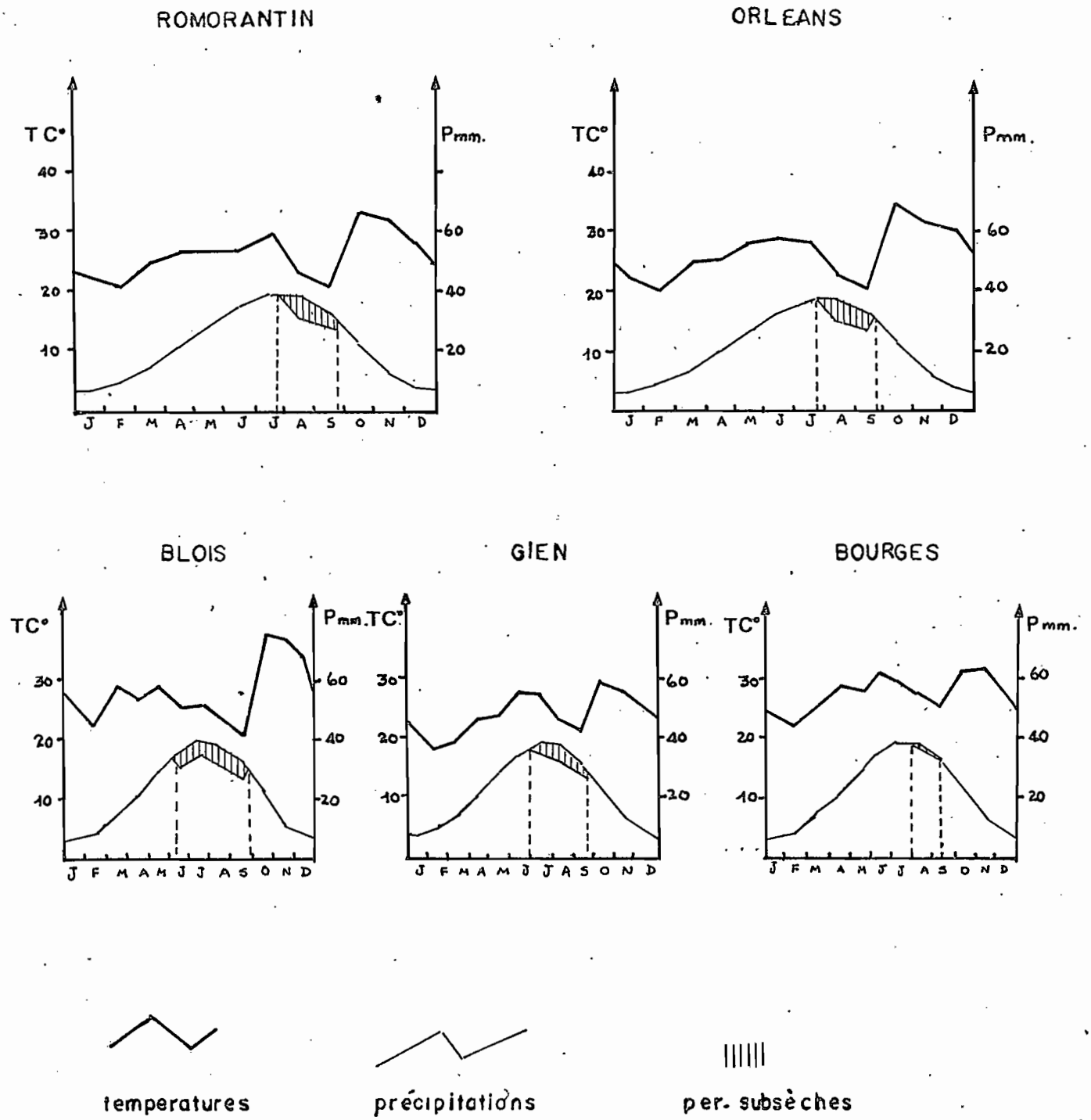
. L'amplitude thermique annuelle est de l'ordre de 15-16 °C; les températures sont moins variables, en général, d'une année à l'autre que les précipitations.

. Les formules et diagrammes utilisés pour mesurer le climat et le pédoclimat n'expriment que l'effet global pendant l'année et suivant les moyennes d'un certain nombre d'années, donc ils ne mesurent pas les irrégularités du climat solognot.

. Les valeurs de drainage climatique signalent une tendance nette du climat à la podzolisation pour les sables grossiers prédominant en Sologne.

FIGURE n° 3.-

DIAGRAMMES CLIMATIQUES DE GAUSSEN



2.6. LES PALEOCLIMATS.

Partout en Sologne, on observe des évidences de phases climatiques anciennes, différentes de la phase actuelle.

Les indices et courbes climatiques déterminés grâce aux données météorologiques caractérisent la tendance évolutive actuelle des sols.

Les sols formés sous des conditions climatiques et de végétation différentes et qui ont résisté à l'érosion sont appelés paléosols s'ils n'évoluent plus, ou sols anciens s'ils sont incorporés à un nouveau cycle pédogénétique. Les sols dont la roche-mère n'a été mise en place qu'à une date suffisamment récente pour ne subir que la phase climatique actuelle sont dits monophasés (GLANGEAUD, 1956). Pour la région étudiée, il s'agit des sols d'alluvions récentes et modernes du Cosson, les sols rajeunis par l'érosion et des colluvions déposées dans les bas de pente.

Dans certains cas, les sols anciens ont été recouverts par des dépôts plus récents d'origine éolienne, alluviale ou colluviale et ils conservent les traces de leur ancienne évolution : on parle de sols fossiles (GEZE, 1959), ce serait le cas des alluvions anciennes, fossilisées par la couverture wurmienne (HOREMANS, 1961).

Un sol qui a évolué sous l'influence de paléo-climats peut poursuivre aujourd'hui son évolution au moins dans sa partie superficielle, en fonction de la phase climatique actuelle; c'est un sol hérité (GEZE, 1959) et polyphasé (GLANGEAUD, 1956; GEZE, 1959) si les conditions actuelles sont différentes des conditions anciennes.

Les sols des alluvions anciennes du Cosson, comme de la Loire, sont manifestement polyphasés (profil HP-8) et montrent des évidences de climats plus chauds avec une altération et un lessivage marqués. Ces sols évoluent dans leur partie superficielle en suivant les conditions actuelles de pédogenèse; les horizons du sol actuel sont ainsi superposés ou même confondus avec les horizons anciens.

3. LA VEGETATION.

3.1. Considérations générales.

La végétation de la Sologne est très complexe, en fonction notamment de la grande variété des sols, en liaison avec les différences de texture, de richesse en bases, d'humidité, d'évolution protohistorique, etc . De plus, comme nous le verrons plus loin, cette végétation a été constamment modifiée par l'Homme depuis les périodes protohistoriques.

De nombreuses études ont été consacrées à la végétation de la Sologne. Parmi les plus importantes, nous citons : ALLORGE et GAUME (1925), DUCHAUFOUR (1948), EMBERGER et al (1964), POISSONET (1968). De plus, les travaux palynologiques de N. PLANCHAIS (1971) apportent des renseignements précieux sur l'histoire de la végétation post-wurmienne de notre région

Nous empruntons à la Notice détaillée de la Carte Phyto-écologique de la Sologne (EMBERGER et al., 1964), la liste des principales unités phyto-écologiques cartographiées.

1. Prés de fauche et de pâture.
2. Cultures et friches.
3. Forêts et landes.
4. Groupes écologiques des eaux (pour mémoire).

1. Prés de fauche et de pâture.

a. Prés sur sol marécageux
(avec Carex, Iris, etc ...).

b. Prés sur sol asphyxique
(avec Deschampsia caespitosa, Molinie coerulea, etc ...)

c. Prés sur sol humide
(avec Juncus sp., Cirsium arvense).

d. Divers prés sur sols frais, sain ou sec
(avec Trifolium sp., Centaurea sp., Festuca rubra, etc ...).

2. Cultures et friches.

a. Cultures et friches sur sol asphyxique
(avec Bidens sp., etc ...)

b. Cultures et friches sur sol humide
(avec Gnafalium sp., Polygonum persicaria, etc . .)

c. Cultures et friches sur sol frais
(avec Cirsium arvense, Lotus sp., Sonchus sp., etc ...).

d. Cultures et friches sur sol sain
(avec Anthoxanthum aristatum, Holcus sp., etc ...)

e. Cultures et friches sur sol sec
(avec Aira praecox, Corynephorus canescens, Helianthemum guttatum, Rumex acetosella, etc ...)

3. Forêts et landes.

a. Aulnaies sur sol asphyxique
(avec Hydrocotyle vulgaris, Iris pseudoacorus, Lycopus europeus, Lythrum salicaria, etc ...).

b. Forêts pénéclimaciques sur sol sain, frais ou humide
(avec Carpinus betulus, Crylus avellana, Crataegus monogyna, etc ...

c. Landes tourbeuses.
(avec Cirsium tuberosum, Salix repens, Spagnhum sp., etc ...)

d. Landes et forêts dégradées sur sol asphyxique ou humide
(avec Erica tetralix, Genista anglica, Molinia coerulea, etc .)

e. Forêts et anciennes friches sur sol humide
(avec Salix sp., Centaurea sp., Juncus sp., etc ...).

f Forêts sur sol frais
(avec Lonicera périclymenum, Populus tremula, Potentilla tormentilla, Rhamnus frangula, Sorbus torminalis, etc ...)

g. Forêts claires sur sol sain
(avec Deschampsia flexuosa, Teucrium scorodonia, Veronica officinalis, etc ...).

h. Landes et forêts claires sur sol sec
(avec Cladonia sp., Helianthemum sp., Rumex acetosella, etc ...).

i. Landes sur sol à tendance podzolique
(Bruyères plus ou moins dominantes).

j. Forêts et landes sur sol bien drainé, mais alimenté en eau en profondeur
(Fougère Aigle caractéristique).

3.2. La végétation, le sol et l'Homme.

La végétation est un facteur essentiel de la pédogenèse, en particulier sous le climat atlantique ligérien de la Sologne actuelle (DUCHAUFOUR, 1948). Les modifications post-glaciaires et surtout historiques du couvert végétal ont eu une grosse répercussion sur la plupart des profils de la ré-

gion. Ces modifications récentes sont dues à la fois aux oscillations climatiques holocènes, bien enregistrées par la végétation, et à l'action de l'Homme.

Depuis le Néolithique, l'occupation du sol s'est traduite, en Sologne, par des phases répétées de cultures, de friches de landes, de forêts, naturelles ou installées par l'Homme (reboisements récents généralisés).

La tendance au lessivage observée sous la Chênaie atlantique en milieux sableux ou sablo-limoneux (DUCHAUFOUR, 1948) n'est pas contrariée dans les cultures ni dans les friches essentiellement herbacées qui suivent leur abandon. L'humus est alors activé par le travail du sol et les amendements : on observe simplement des phases cultivées sur sol brunifié à mull-moder.

Par contre, l'invasion des Ericacées dans les cultures abandonnées, dans les coupes à blanc de la Chênaie et en sous-strate dans les plantations de Résineux provoque l'apparition d'un mor responsable d'une podzolisation secondaire rapide (podzol humique de bruyère) (DUCHAUFOUR, Ph., 1948, 1950, 1953, 1954 - EDELMAN, 1960).

On constate très fréquemment la remise en culture de tels podzols secondaires. On observe une phase cultivée de podzol caractérisée par un horizon Ap. Ensuite, l'humus évolue progressivement vers un mull, les grains de sable deviennent vêtus et le caractère cendreux de l'horizon A s'estompe (HP-7 Le Vinauger). L'horizon Bh lui-même perd sa compacité, est activé biologiquement et plus ou moins resaturé. L'analyse montre néanmoins la persistance de caractères "spodiques" (Le Vinauger), on a alors un sol podzolique anthropomorphe (CPCS, 1968).

De véritables "post-podzols" (AMERYCKX, 1960) sont même observés localement, au voisinage immédiat de cette zone. Fréquemment, ces sols podzoliques anthropomorphes sont recolonisés par les landes à Bruyères : une néopodzolisation sous mor se manifeste alors en surface sous la forme d'un micropodzol humique net d'environ 10-15 cm. La base de l'horizon Ap reste parfaitement reconnaissable, de même que les restes de l'horizon Bh de l'ancienne phase podzolique.

Un exemple typique de ce sol complexe a été observé aux environs de Préfontaine, sur sables de Sologne, immédiatement au nord de notre secteur (HOREMANS, P. et al., campagne cartographique 1968).

La plupart des podzols humiques que nous avons observés semblent plus ou moins avoir été affectés par des variations récentes du couvert végétal dues à l'Homme.

La végétation influence donc considérablement l'évolution du sol, surtout en tant que génératrice de l'humus.

Par ailleurs, la nature de la végétation dépend des facteurs du

milieu ambiant, et particulièrement des facteurs édaphologiques. Selon POISSONET (1968), la végétation est l'instrument idéal pour enregistrer les variations de facteurs écologiques.

Certaines plantes caractéristiques, ou mieux certaines associations, sont utilisables avec prudence et dans un cadre régional comme réactifs de certains caractères de sols.

Au cours de la cartographie pédologique régionale (Orléans, 1/100.000ème), les divers degrés d'hydromorphie ont pu être rattachés à la nature du couvert végétal, en accord avec DUCHAUFOUR (1948).

Néanmoins, il existe une véritable inertie des phénomènes pédologiques qui n'enregistrent pas immédiatement une modification, même notable, du couvert végétal.

Nous avons observé des landes à Ericacées denses mais récentes, qui ont entraîné une podzolisation très limitée (PH-8).

Les spécialistes (EMBERGER et al., 1964), (POISSONET, J., 1968) qui ont étudié récemment l'évolution des associations végétales dans une zone de 1000 ha en Sologne ont déterminé trois types d'évolution (à partir de 1812) :

. Une évolution vers le climax, qui affecte un tiers de la surface;

. Un état statique ou d'évolution nulle qui représente aussi un tiers;

. Une évolution régressive (ou artificialisation), qui affecte un peu plus d'un tiers de la surface (35 %).

Les landes sont les formations végétales qui ont subi la plus forte évolution régressive, les prés sont restés stables et les forêts feuillues et terres cultivées ont subi en proportions égales les trois types d'évolution.

Notre toposéquence de référence constitue un bon exemple de relations entre la végétation et le sol qui la supportent. Les conditions hydriques et la roche-mère jouent un rôle très important.

Les alluvions modernes limono-argileuses du Cosson (HP-20), situées en position basse, portent une végétation qui caractérise les milieux asphyxiques et marécageux. La nappe phréatique est très élevée presque toute l'année et il y a un engorgement presque permanent du profil, parfois submergé pendant une bonne période de l'année.

Nous avons observé les espèces suivantes : Phragmites communis, Iris pseudacorus, Lysimachia vulgaris, Carex riparia, et autres espèces franchement hygrophiles.

Les alluvions récentes (PH-19) temporairement engorgées avec un pseudo-gley typique portent une lande à Molinie caractéristique et extrêmement dense, avec quelques Erica-scoparia. Le milieu est trop humide pour permettre un développement notable de Calluna vulgaris et surtout Erica cinerea.

Le profil HP-18 occupe le palier suivant et correspond à une chênaie hygrophile sur sol podzolique à pseudo-gley. Le drainage interne est imparfait (milieu frais), on observe les caractères à pseudo-gley à partir de 30 cm.

Nous avons noté les espèces caractéristiques : Rhamnus-frangula et quelques touffes de Molinia coerulea, avec : Quercus sp., Rubus sp., Agrostis sp., Polytrichum formosum, Dicranum scoparium, Leucobryum glaucum, etc...

Le profil suivant, HP-17, sur une véritable terrasse du Cosson, correspond à un stade très dégradé de la Chênaie primitive. Le sol est sec, très sableux, caillouteux, acide. Nous observons : Erica cinerea, Calluna vulgaris, qui sont largement prédominants avec Sarothamnus scoparius, Quercus pedunculata, Deschampsia flexuosa, diverses espèces d'Agrostis, Polytrichum formosum, Cladonia sp., Dicranum scoparium. Nous observons la persistance de quelques espèces qui constituent les reliques de la Chênaie acidophile, par exemple Dicranum-scoparium; Polytrichum formosum, etc...; ils sont cependant en régression nette devant la concurrence des Ericacées.

Les autres profils examinés correspondent en général à la Chênaie acidophile plus ou moins dégradée avec l'invasion, d'intensité variable, des Ericacées, en particulier d'Erica cinerea et de Calluna vulgaris. La forêt devient très clairsemée; souvent les Graminées (Agrostis sp.) colonisent elles aussi les espaces vides où l'homme a fait la culture. Dans d'autres cas, il y a eu introduction par l'Homme de Résineux (HP-1, La Scierie) qui modifient le milieu primitif avec l'introduction des Ericacées en sous-bois.

4. L'HOMME.

L'influence de l'Homme souvent indirecte, en tant que facteur pédogénétique, est déjà clairement apparue en ce qui concerne l'évolution du tapis végétal en Sologne (EMBERGER et al., 1969).

Pour beaucoup d'auteurs, l'Homme est le responsable essentiel de la dégradation des associations primaires en climat atlantique, provoquant par son action destructrice l'apparition de séries régressives d'associations, entraînant à leur tour une modification à l'évolution des sols (DUCHAUFOUR, Ph., 1948, 1950, 1953, 1954). L'action humaine n'est pas toujours destructrice, ainsi les travaux de la sylviculture destinés à sauvegarder l'équilibre de la forêt, et le remplacement d'un vieux peuplement par un jeune peuvent être positifs. La mise en culture de sols acides, lessivés ou podzolisés, avec l'apport d'engrais et de fumure pendant des années, contribuent

certainement à l'amélioration de ces sols par élévation du pH et par changement favorable des caractères physico-chimiques (voir profils HP-1, HP-6, etc ....).

Cependant l'action de l'Homme, et particulièrement celle exercée au cours des périodes historiques, avant l'avènement de la culture ou de la sylviculture rationnelles a été presque toujours désastreuse.

La dénudation du sol accompagnée de l'augmentation de l'insolation, entraîne une évolution immédiate favorable à l'activité biologique, le pH remonte, la matière organique décroît en surface par minéralisation de l'humus (DUCHAUFOUR, Ph. - 1953). Si les conditions sont favorables pour assurer au milieu forestier sa stabilité, les semis se réinstallent, et la forêt retrouve son état primitif. Si l'équilibre est instable (climat ou roche-mère), comme c'est le cas généralisé en Sologne pour les "sables morts"; à cette phase favorable, succède une période de diminution de l'activité bactérienne, de tassement du sol, d'acidification superficielle de l'humus, suivis d'une recrudescence des phénomènes de lessivage et de podzolisation avec l'apparition des Ericacées.

L'Homme n'est pas la cause unique de ce phénomène mais constitue la cause occasionnelle qui provoque le déclenchement de l'évolution secondaire défavorable des associations et des sols forestiers, et aussi une cause accélératrice quand cette évolution est déjà commencée (DUCHAUFOUR, 1948). Cette action est particulièrement efficace quand les conditions d'équilibre de la forêt sont très instables, comme c'est le cas sur roche-mère très sableuse, quartzeuse, filtrante.

Les travaux de pédologues belges en Flandre sablonneuse (AMERYCKX, 1960) ont établi une chronobioséquence par laquelle auraient passé la plupart des sols de cette région, à condition d'être suffisamment évolués. L'Homme intervient après le stade du prépodzol, par destruction de la forêt. Ses méthodes de culture primitive favorisent l'extension des landes. Une fois les sols épuisés par la culture, il les abandonne au pâturage. Le sol évolue au stade suivant de podzol. A une époque postérieure, la culture reprend pendant des siècles. L'incorporation d'engrais, la fumure, le béchage profond modifient le sol; une couche humifère épaisse se forme en surface. L'horizon B du podzol se fragmente, nous passons au stade de post-podzol.

En Sologne, les populations se sont succédées dans le temps avec des phases successives de culture et de décadence; il convient de donner un bref résumé historique sur l'utilisation du sol (d'après les travaux de phytosociologues du C.E.P.E. : EMBERGER et al., 1964 - POISSONET, 1968).

. Les forêts couvraient pratiquement toute la Sologne avant l'arrivée de l'Homme; les marécages, par contre, occupaient une surface négligeable.

. Au cours de périodes préhistoriques, l'occupation humaine de la Sologne est faible. Au Paléolithique, ils étaient surtout des chasseurs et ont laissé peu de traces.

. Vers l'année 5.000 avant J.C., une fois le climat réchauffé, la Sologne a été plus ou moins recouverte de bouleaux, d'ormes, de tilleuls, d'aulnes, de noisetiers et de chênes; postérieurement au Gâtinais, le charme s'installe également.

. Au Néolithique (6.000-2.000 ans avant J.C.) commencent les premiers défrichements; c'est à l'âge du fer (500-50 ans avant J.C.) qu'apparaissent des traces abondantes de l'action de l'Homme, sous la forme de tumulus laissés par les Celtes.

. Au cours de la période historique, les Gaulois ont bien habité la Sologne dans de véritables villages, ils ont continué le défrichement; les Romains ont organisé la région en construisant des routes.

. Au Moyen-Age se poursuit l'installation de nouvelles fermes. A cette époque, il n'y avait que quelques forêts de feuillus importantes, mais pas nombreuses; le reste du pays était couvert de terres cultivées, de landes et de petits boqueteaux. Pendant la Guerre de Cent Ans, de 1337 à 1435, les cultures furent abandonnées.

. L'apogée agricole de la Sologne se situe à la fin du XVème siècle et au début du XVIème où la surface cultivée avait atteint 61 %.

Le XVIIIème siècle se signale par la décadence agricole de la Sologne. Les cultures ne représentent que 19 %, tandis que la surface occupée par les bruyères, pâtis et étangs arrive à 60 %.

. L'alternance des cultures et des bruyères devient courante.

. La fin du XVIIIème siècle et le XIXème siècle sont marqués par une reprise d'intérêt pour la région, avec de nombreux travaux d'assainissement et l'introduction de résineux. En particulier au milieu du XIXème siècle, le gouvernement fait un effort considérable dans ce sens, ayant pour but non seulement de développer la Sologne, mais de réduire le chômage considérable. De cette époque date l'amélioration des voies fluviales qui devaient permettre l'apport des amendements calcaires venant de l'est du pays.

. Actuellement, on observe une tendance à la reconstitution de la forêt feuillue.

Donc, partout où l'Homme est intervenu avec des périodes de cultures intercalées de périodes d'abandon, on observe une tendance accentuée à la dégradation, et d'autant plus accentuée que ces périodes ont été plus répétées et que la roche-mère est plus pauvre. L'Homme ayant voulu tirer parti de ces sols appauvris a accentué le phénomène avec l'implantation de résineux qui aggravent le mal; les sols finissant par être envahis par la lande à Callune.

Nous pouvons conclure avec POISSONET (1968), que toute la Sologne a été perturbée par l'Homme et que chaque parcelle a une histoire presque bi-

millénaire, qui a vu se succéder des forêts, des landes, des friches, des cultures dans un ordre très variable entraînant des modifications très profondes des milieux naturels.

5. LE TEMPS.

Il vient d'être évoqué à propos des paléoclimats. Le facteur temps est capital dans l'évolution des sols et influe sur l'intensité avec laquelle se manifestent les phénomènes de pédogenèse.

Pour les sols qui n'ont subi qu'un cycle évolutif simple, la reconstitution des phases est possible, avec une approximation suffisante. Pour les sols qui ont été affectés par plusieurs cycles évolutifs, le problème est plus délicat.

De nombreuses méthodes d'approche sont utilisées pour résoudre ces problèmes. Aucune d'entre elles n'est décisive, mais la confrontation possible de résultats même incomplets fournit cependant une approximation acceptable.

Certaines de ces ~~ces~~ méthodes sont assez spécialisées et exigent une préparation et des moyens techniques délicats.

La stratification des associations polliniques permet de reconstituer les périodes climatiques du Quaternaire, surtout récent.

Citons les autres méthodes paléontologiques et particulièrement l'archéologie préhistorique et protohistorique, très utile lorsque les vestiges ostéologiques ont disparu, en milieu acide.

L'intérêt considérable de la radio-chronologie absolue (C14) est à noter, particulièrement dans le Postglaciaire. De nombreux horizons Bh de podzols ont ainsi pu être datés, par exemple dans les landes (DELIBRIAS G., DUTIL P., JUSTE C. - 1966).

Pour des raisons d'ordre matériel, nous n'avons pas utilisé ces méthodes. Toutefois, nous avons tenté de reconstituer la chronologie relative des phénomènes quaternaires de notre région, en utilisant surtout les critères sédimentologiques et pédologiques.

Pour un profil donné, nous pouvons obtenir une chronologie relative des phénomènes par référence aux :

. discontinuités lithologiques;

. processus pédogénétiques eux-mêmes dont

- certains se succèdent normalement dans le temps (ex. : altération-

lessivage-dégradation);

- certains ne peuvent pas se produire simultanément dans les mêmes conditions et sont séparés dans le temps (ex. : sol lessivé du type des sols tropicaux - podzol).

Dans le paysage : les systèmes de terrasses étagées constituent un repérage chronologique; en principe, les terrasses les plus hautes sont les plus anciennes, de même que pour les paliers étagés ou les relais de formations de pente.

Conclusion

On choisit une toposéquence nette où la géomorphologie est "parlante". Cette toposéquence équivaut en fait à une chronoséquence qui nous permet un essai de datation relative de sols complexes. Un sol ainsi repéré dans le temps devient à son tour un outil de datation. Ce raisonnement doit être utilisé avec prudence, en particulier en Sologne, surtout si la géomorphologie n'est pas nette.

Deuxième Partie

PRESENTATION DES PROFILS ETUDIES

Chapitre Premier

TOPOSEQUENCE DE REFERENCE BOIS DU ROI-BRIOU DU LUDE

Les profils correspondant à cette toposéquence s'étagent à partir des alluvions modernes du Cosson jusqu'à une terrasse ancienne située à 16 - 18 m au-dessus du lit actuel, avec toute une série de paliers intermédiaires.

Le caractère hydromorphe décroît au fur et à mesure qu'on monte dans le paysage à l'exception des zones restreintes en position de talus qui soulignent le passage d'un palier à l'autre; par contre, le caractère podzolique s'installe définitivement à partir du niveau de + 5 m. Le profil HP-8 représente l'intergrade où les caractères hydromorphe et podzolique se manifestent avec des intensités comparables.

Du point-de-vue granulométrique, la toposéquence choisie représente une série de paliers, soit de véritables terrasses du Cosson (profils HP-8, HP-17),stratifiées, plus ou moins caillouteuses et graveleuses, soit de paliers où les apports latéraux et les remaniements estompent en partie les caractères de terrasse véritable.

Les profils situés dans les positions basses du paysage exhibent les caractères hydromorphes (profils HP-20, HP-19, HP-18), à cause de leur position topographique, du caractère plus fin des matériaux du sol ou par des phénomènes pédologiques qui ont entraîné la formation d'horizons Bt argilliques progressivement colmatés avec la formation d'une véritable nappe perchée.

La végétation varie suivant les conditions de la station, en particulier les conditions d'humidité des profils. La vé-

gétation caractéristiques des sols marécageux très humides s'installe sur les alluvions modernes du Cosson (profil HP-20), avec joncs, Carex, aulnes, etc ... La lande à Molinie occupe les milieux asphyxiques des alluvions récentes (profil HP-19), et la forêt feuillue, humide, assez dégradée occupe les milieux podzoliques hydromorphes. Enfin, dans les milieux plus secs des véritables terrasses, c'est la forêt atlantique plus ou moins dégradée qui prédomine.

La colonisation par les landes sèches à Erica et Calluna est assez intense et variable suivant l'intensité de la dégradation de la forêt.

Du niveau le plus élevé jusqu'au bord du Cosson, nous avons les profils suivants :

HP- 8 (+ 16 m) : Sol podzolique modal - profil complexe, couverture sablo-limoneuse éolisée, wurmienne, en surface, paléosol sablo-argileux en profondeur.

HP-17 (+ 10 m) : Sol podzolique anthropomorphe - profil complexe, sablo-limoneux (caillouteux) en surface, sablo-graveleux, riche en cailloux en profondeur.

HP-18 (+ 5-6 m) : Sol podzolique hydromorphe - profil complexe, caractère hydromorphe en profondeur, podzolisation en surface; texture sablo-limoneuse en surface et sablo-argileuse en profondeur.

HP-19 (+ 1-2 m) : Sol hydromorphe à pseudo-gley - texture sablo-limoneuse en surface, sablo-argileuse en profondeur; caractère hydromorphe marqué dès la surface.

HP-20 (0 - 1 m) : Sol hydromorphe à gley à hydromull acide (moyennement organique), texture limono-argileuse; engorgement permanent en profondeur.

1. PROFIL HP-8 - LE BRIOU DU LUDE.

Localisation : carte La Ferté-Saint-Aubin 5-6 à 1/25.000ème, x = 564,2; y = 303,4.

Végétation : Chênaie dégradée, Quercus pedunculata, Quercus sessiliflora, Calluna vulgaris, Erica cinerea, Pteridium aquilinum, Teucrium scorodonia, Agrostis vulgaris.

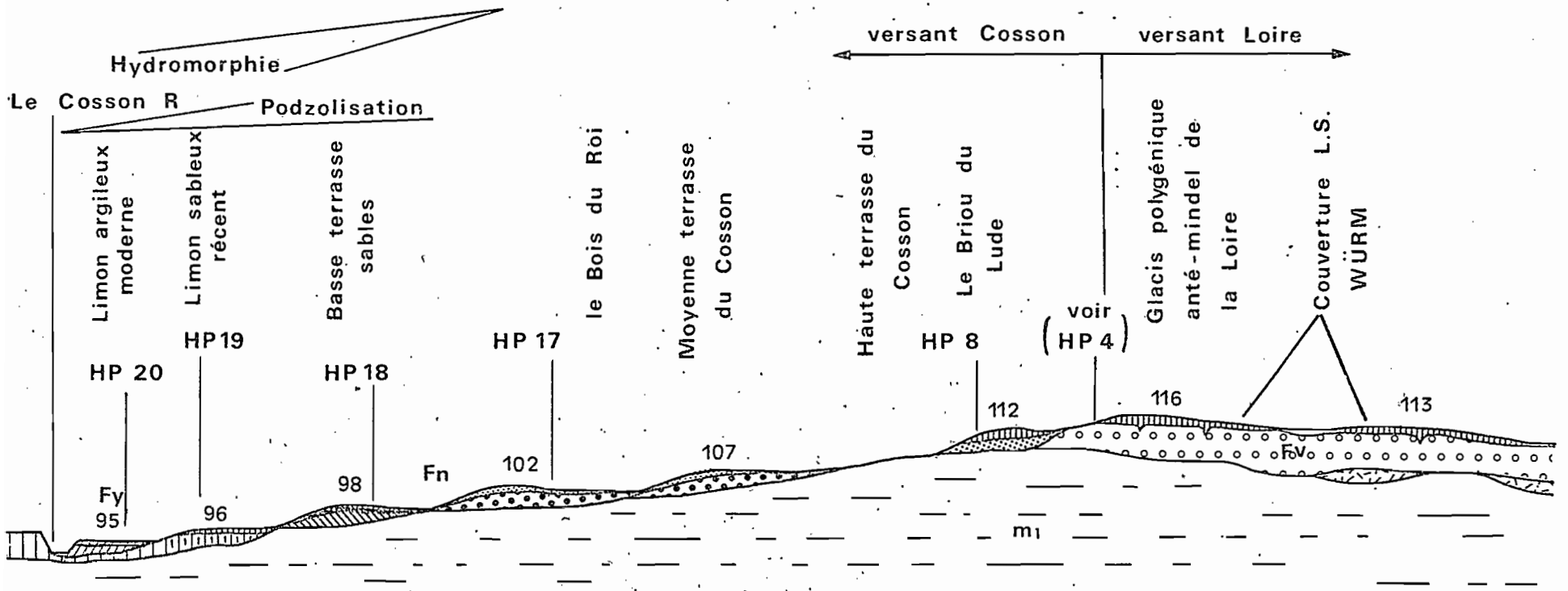
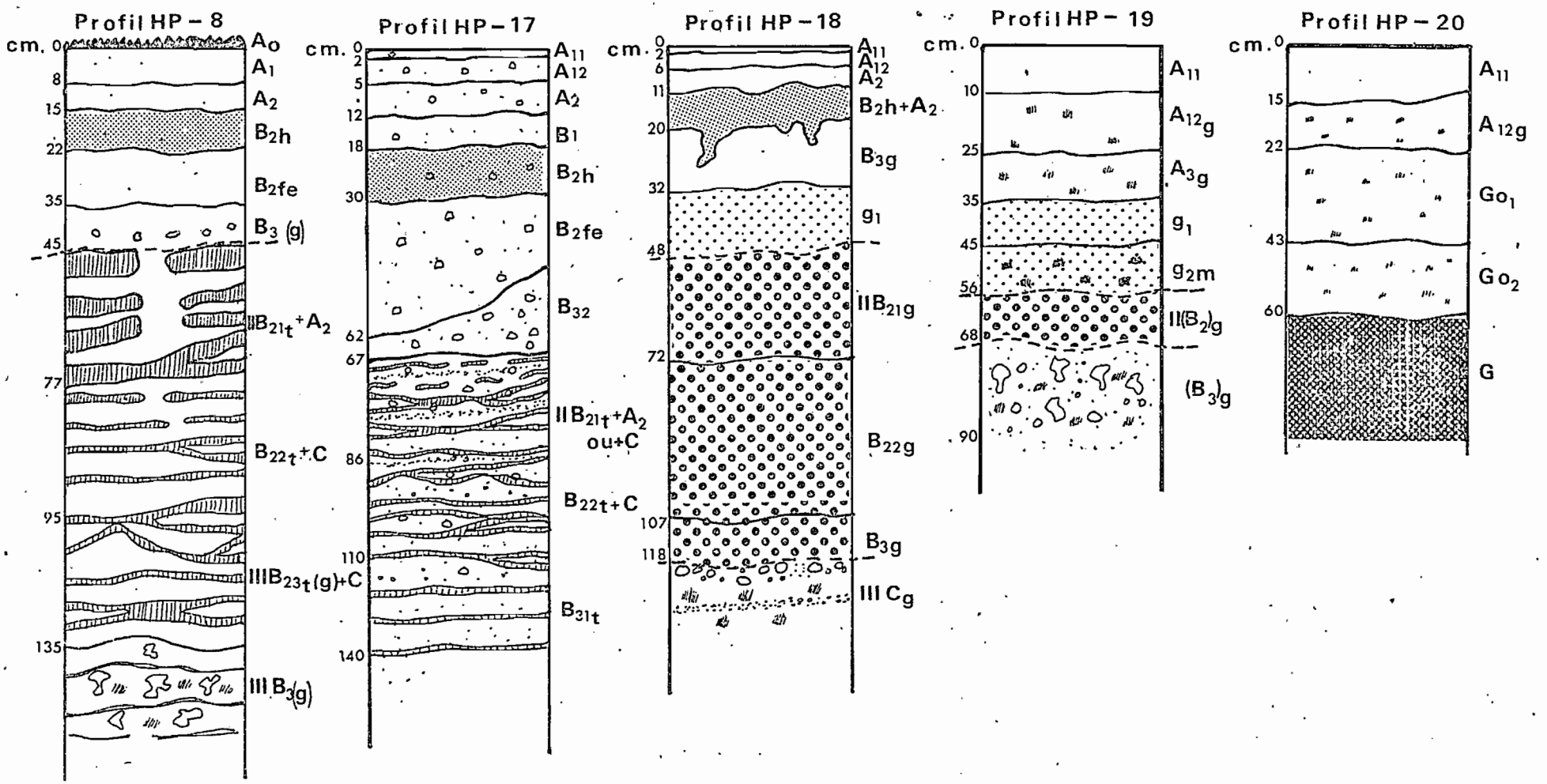


FIGURE n° 4.- TOPOSEQUENCE DU BOIS DU ROI

Schèma Géologique et de répartition des sols

FIGURE n° 5.- SCHEMA DES PROFILS

TOPOSEQUENCE DE REFERENCE BOIS DU ROI - BRIOU DU LUDE



Géomorphologie : terrasse horizontale à subhorizontale.

Altitude : 112 m,+ 16 m au-dessus du Cosson.

Matériau du sol: Complexe; terrasse ancienne sablo-argileuse recouverte par un matériau éolisé remanié.

Drainage : Bon.

Classification : Sol podzolique modal.

1.1. Description du profil.

4 - 0 cm A0	: Horizon organique - nombreuses racines ligneuses et débris végétaux en cours de décomposition - brun très foncé à noir (10 2/2-2/1).
0 - 8 cm A1	: Brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) - assez humifère - sablo-limoneux - à grains de quartz nus - structure particulaire - très friable - quelques graviers de quartz - nombreuses racines, fines, chevelu dense - limite tranchée irrégulière.
8 - 15 cm A2	: Brun-gris (10 YR 4/2) - horizon masqué par la pénétration de l'humus provenant des horizons supérieurs - sablo-limoneux - quelques graviers de 0,2-2 cm - structure particulaire - très friable, racines fines peu nombreuses - limite inférieure distincte et régulière.
15 - 22 cm B2h	: Brun jaunâtre foncé 10 YR 4/4) - légèrement plus argileux que le A2 - plus tassé et moins poreux - légèrement consistant - sans structure - racines fines et moyennes - limite inférieure nette et régulière.
22 - 35 cm B2fe	: Brun jaunâtre à brun jaunâtre foncé (10 YR 5/6 - 4/4) - sablo-limoneux - légèrement consistant - structure particulaire - quelques graviers fins - racines fines à moyennes - quelques taches à la base très peu contrastées et nettes - limite nette et régulière.

35 - 45 cm B3 (g)	: Brun jaunâtre (10 YR 5/6) - horizon qui a les mêmes caractères que le précédent, mais qui, à cause d'un tassement et de l'existence d'un horizon argillique en-dessous, présente des taches d'hydromorphie peu nombreuses, peu contrastées, brun foncé - limite inférieure tranchée, régulière.
45 - 77 cm II B21t + A2	: Horizon complexe - Bt morcelé - présentant des bandes sablo-argileuses assez épaisses - compactes, très consistances, enrichies en fer - rouge-jaunâtre (5 YR 5/8), les glosses sont sablo-argileuses avec une teneur plus faible en argile que les bandes, moins consistante, présentant quelques taches orangées - la structure est particulaire à massive - quelques taches plus claires sont dépourvues d'argile et de fer - limite graduelle et régulière.
77 - 95 cm II B22t + C	: Horizon qui diffère du précédent car les bandes sont plus nombreuses et plus fines et que les interbandes pauvres en argile sont plus importantes - les interbandes ont une couleur jaune brunâtre - sableux, légèrement argileux- quelques taches très friables et plus claires, très pauvres en argile (moins de 5 %) - limite inférieure nette et régulière.
95 - 135 cm III B23t (g)	: Horizon sablo-argileux dans l'ensemble - rouge jaunâtre (5 YR 5/10) - avec des bandes très fines horizontales, subhorizontales et entrecroisées - les bandes vont de 0,5 à 5 cm, occupant plus de 50 % de l'horizon - l'argile est concentrée dans ces bandes - structure massive - limite inférieure graduelle et régulière.
135 - 150 cm III B3 (g)	: Horizon similaire au précédent, mais les bandes se font moins nombreuses (moins de 30 %) et apparaissent des podes dégradées - l'hydromorphie est plus apparente.

1.2. Micromorphologie.

Squelette. Le squelette est sableux dans l'ensemble, avec prédominance des sables moyens et grossiers, et une grande pauvreté en limons. Les bandes argilliques sont enrichies en argile. La nature minéralogique est assez homogène en ce qui concerne les fractions grossières, le quartz, largement prédominant, est suivi de feldspaths.

Plasma. Le plasma présente une grande différence avec celui observé dans les profils, Le By, La Scierie, etc... Le sol, dans l'ensemble, est plus riche en plasma, qui est mieux réparti et assez coloré par le fer diffus. La distribution relative est granulaire pour les horizons du sol actuel et pour les parties dégradées des horizonsB2t du paléosol; dans les bandes, elle devient intertextique, et pour les interbandes présente un stade intermédiaire. Les horizons argilliques plus profons étant plus riches en plasma, sont de type intertextique. Il faut remarquer qu'une partie du plasma est bien répartie avec le squelette fin, ce qui lui confère cet aspect intertextique plus développé.

Assemblage plasmique. L'assemblage squelsepique est dominant, avec de gros cutanes de grains libres autour des grains du squelette; ceux-ci deviennent plus fins dans les interbandes et disparaissent dans les plages dégradées qui présentent un assemblage asepique.

Structure de base. Dans ce profil, en général, l'équilibre entre le plasma et le squelette est meilleur que dans les autres profils examinés; en profondeur, nous trouvons une "densification" plasmique. C'est dans les bandes, à l'intérieur des horizons B2t, que se produit la concentration plasmique. Les grosses bandes de l'horizon B21t du paléosol présentent une distribution litée en ce qui concerne le plasma. Les petites discontinuités lithologiques sont nombreuses et favorisent le dépôt de l'argile et du fer.

Matière organique. Les horizons du sol actuel n'ont pas été échantillonnés, et à partir des horizons B2t du paléosol, nous n'observons pas une quantité appréciable de matière organique.

Vides. Le système des vides est essentiellement formé à base de vides d'entassement simples; les vides normaux et les fentes font défaut, même dans les parties plus ou moins compactes des horizons argilliques. Ceci est dû au caractère apédique du matériau qui n'a pas de véritables agrégats limités par des surfaces naturelles tapissées par des cutanes.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. La présence de cutanes d'illuviation d'argile est le caractère distinctif des horizons argilliques. Les cutanes d'illuviation, argilanes et ferri-argilanes, sont assez nombreux, en particulier les premiers, qui sont assez continus, fortement biréfringents en LP, d'une couleur jaune-orange pour les argilanes, très colorés par le fer et lités pour les ferri-argilanes. Ils constituent de gros cutanes de grains libres qui parfois sont si épais qu'ils colmatent les espaces intergranulaires. Ils se distribuent d'une façon préférentielle dans les bandes où le squelette est plus fin, mais ils sont aussi plus ou moins généralisés. Souvent, ils sont complètement masqués par le fer qui leur donne une coloration très rouge, avec la perte de la biréfringence.

Glébules. Ils sont représentés surtout par des dépôts de fer associés aux vides et aux cutanes; les nodules ferriques typiques sont absents.

Structure primaire. Le matériau du sol dans tout le profil est apédique et il n'y a pas de véritables agrégats, même dans les horizons argilliques.

I n t e r p r é t a t i o n

Le sol étudié semble s'être développé sous l'effet d'un cycle pédogénétique de lessivage ancien. Ceci se manifeste par la présence de grosses cutanes que la couverture sablo-limoneuse aurait été incapable d'apporter. Cette phase de pédogenèse aurait aussi affecté la mobilité du fer avec la formation de cutanes composées, certaines d'entr'elles étant très riches en fer. Les discontinuités lithologiques nuancées déterminent la zone de dépôt pour l'argile et le fer migrant en profondeur. Le caractère lité ou lamellé des cutanes indique une accumulation successive et périodique de l'argile sous l'influence de la pédogenèse (DE CONINCK-HERBILLON, 1969; BREWER-HALDANE, 1957).

La dégradation des horizons argilliques supérieurs se traduit par la migration, en fer et latéralement, du fer qui s'accumule dans les bandes encore intactes, leur conférant une coloration rougeâtre. La migration du fer semble accompagnée par celle de l'aluminium qui tend à s'accumuler dans les bandes et qui sera confirmée par les analyses chimiques.

Les zones dégradées sont dépourvues de plasma et l'assemblage devient granulaire. La dégradation cependant semble moins avancée que pour les autres profils examinés, le blanchiment étant moins intense et l'horizon B2t supérieur moins morce-

lé. L'argile d'illuviation secondaire n'a pas été repérée, mais elle doit se retrouver à la base du profil.

1.3. Sédimentologie.

1.3.1. Granulométrie.

L'analyse granulométrique, tableaux n° VI et n° VII confirme les observations sur le terrain et nous signale deux principaux types de matériaux distincts correspondant à deux phases sédimentaires majeures, qui donnent : un matériau sablo-limoneux enrichi en graviers et petits cailloux, qui constitue la couverture de surface; et un autre stratifié essentiellement sableux, qui a été enrichi en argile par lessivage, et qui constitue le substrat. Ce dernier est lui-même complexe.

L'examen du rapport SF/SG (sable fin/sable grossier) nous indique pour la phase sédimentaire fluviatile constituant le substrat, un rapport inférieur à 15/85 et pour la deuxième phase un autre de l'ordre de 25/75 à 27/73, c'est-à-dire une augmentation en sable fin.

Le pourcentage de limons est plus considérable pour la couverture de surface, supérieur à 14 % et pouvant atteindre 18 %. Pour la première formation, celui-ci ne dépasse pas 6 %.

Le taux d'argile est d'interprétation plus délicate, parce que les phénomènes pédologiques ont modifié le contenu initial en argile du sédiment par migration dans le profil.

Les courbes de fréquence relative construites pour les différents niveaux présentent des caractères très semblables entr'elles. Les courbes (8.7), (8.8) et (8.11) appartenant à la première formation possèdent une fréquence maximale très élevée pour la fraction sable moyen qui dépasse 58 %. La courbe (8.3) qui représente la deuxième formation appartient à la même famille générale, présente une fréquence maximale pour la même fraction, mais ce maximum ne dépasse guère 47 %; ce sédiment est moins classé.

Les courbes cumulatives présentent le même comportement; celles qui correspondent à la première formation sont presque juxtaposées. On observe également que celles-ci sont plus redressées par rapport à la courbe (8.3); la médiane se situe entre 265 et 267 microns et a une valeur de Qdφinférieure à 0.47 pour les premières et de 225 microns et 0.67 pour la courbe (8.3).

1.3.2. Morphoscopie de sables.

La morphoscopie des sables confirme encore les résultats de la granulométrie en ce qui concerne la séparation des deux phases sédimentaires. La deuxième formation, représentée par la couverture sablo-limoneuse, présente une contamination éolienne faible, réduite aux grains les plus grossiers, avec un pourcentage assez bas de grains éolisés (moins de 16 %). La première formation ne présente pas de grains éolisés, sauf à la limite de l'autre formation.

Les grains appartenant aux catégories des subanguleux luisants (SL) sont prédominants dans les deux formations et légèrement plus abondants dans le substratum.

La catégorie des grains anguleux luisants (AL) est la deuxième en importance et elle est sensiblement égale pour les deux formations.

Les grains émoussés luisants (EL) sont peu représentés, avec un maximum de 24 %, ce qui indique que ceux-ci ont été usés par une action fluviatile assez faible, mais non négligeable, comme le démontre le pourcentage élevé des grains (SL).

1.3.3. Taux de feldspaths.

Les feldspaths sont plus abondants dans le substrat (27 à 29 %) et moins abondants dans la couverture sablo-limoneuse et dans l'horizon B2t dégradé du paléosol, qui en possède moins de 20 %. Ceci peut s'expliquer, soit parce que la couverture était au départ plus pauvre en feldspaths, soit parce que la podzolisation, très agressive vis-à-vis des silicates, a accéléré leur disparition. La dégradation à la partie supérieure du paléosol aurait les mêmes effets.

Les orthoclases représentent de l'ordre de 60-70 % des feldspaths, avec une forte prédominance de l'orthose, un peu de microcline et quelques plagioclases très altérés (LE HOUEROU, 1961).

1.3.4. Conclusions.

Deux phases sédimentaires majeures ont été séparées grâce aux données de la granulométrie, de la morphoscopie et à l'étude du taux de feldspaths :

. Une phase d'apport essentiellement fluviatile, dépourvue de graviers et de cailloux, sableuse relativement riche en

Tableau n° VI

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-8 "Le Briou du Lude"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Analyse granulométrique %									Refus %
			Argile µ	Limon µ			Sables µ				Total	
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000		
8.1	A_o	4-0										
8.2	A_1	0-8	1.25	7.63	6.34	6.76	12.80	35.20	16.70	4.24	75.70	4.75
8.3	A_2	8-15	3.33	7.50	7.36	7.40	14.04	38.00	15.82	4.56	79.82	7.76
8.4	B_2h	15-22	5.38	10.10	7.16	6.60	12.62	35.42	16.36	4.66	75.66	8.00
8.5	B_2fe	22-35	5.39	10.22	6.76	6.96	13.58	36.28	15.40	4.56	76.78	4.15
8.6	bandes	45-77	15.47	4.53	1.36	2.14	7.80	53.00	12.24	2.00	77.18	-
8.7	II $B_{21}t + A_2$ glosses	45-77	11.00	3.33	1.16	1.80	6.24	54.30	18.02	2.04	82.40	-
8.8	int.bandes	77-95	4.62	2.78	0.86	1.72	11.96	52.70	21.88	2.18	90.44	-
8.9	II $B_{22}t + C$ bandes	77-95	13.65	3.20	0.96	1.52	8.04	43.14	23.14	3.56	79.42	-
8.10	III $B_{23}t$ (g)+C	95-135	14.00	1.20	0.76	0.96	2.24	27.24	45.70	6.66	82.80	-
8.11	III B_3 (g)	135-150+	6.13	2.27	0.64	1.24	3.94	67.42	16.52	0.46	89.58	-

Tableau n° VII

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-8 "Le Briou du Lude"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Total	Sables % (total sables = 100 %)					SF/SG
				50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	
8.1	A_o	4-0							
8.2	A_1	0-8	75.70	8.92	16.90	46.49	22.06	5.60	26/74
8.3	A_2	8-15	79.82	9.27	17.58	47.60	19.81	5.71	27/73
8.4	B_2h	15-22	75.66	8.72	16.67	46.81	21.62	6.15	25/75
8.5	B_2fe	22-35	76.78	9.06	17.68	47.25	20.05	5.93	27/73
8.6	II $B_{21}t + A_2$ bandes	45-77	77.18	2.77	10.10	68.67	15.85	2.59	13/87
8.7	II $B_{21}t + A_2$ glosses	45-77	82.40	2.18	7.57	65.89	21.86	2.47	8/92
8.8	int. bandes	77.95	90.44	1.90	13.22	58.27	24.19	2.41	15/85
8.9	II $B_{22}t$ + C bandes	77-95	79.42	1.91	10.12	54.34	29.13	4.48	12/88
8.10	III $B_{23}t$ (g) + C	95-135	82.80	1.15	2.70	32.89	55.19	8.04	4/96
8.11	III B_3t (g)	135-150+	89.58	1.38	4.39	75.26	18.44	0.51	6/94

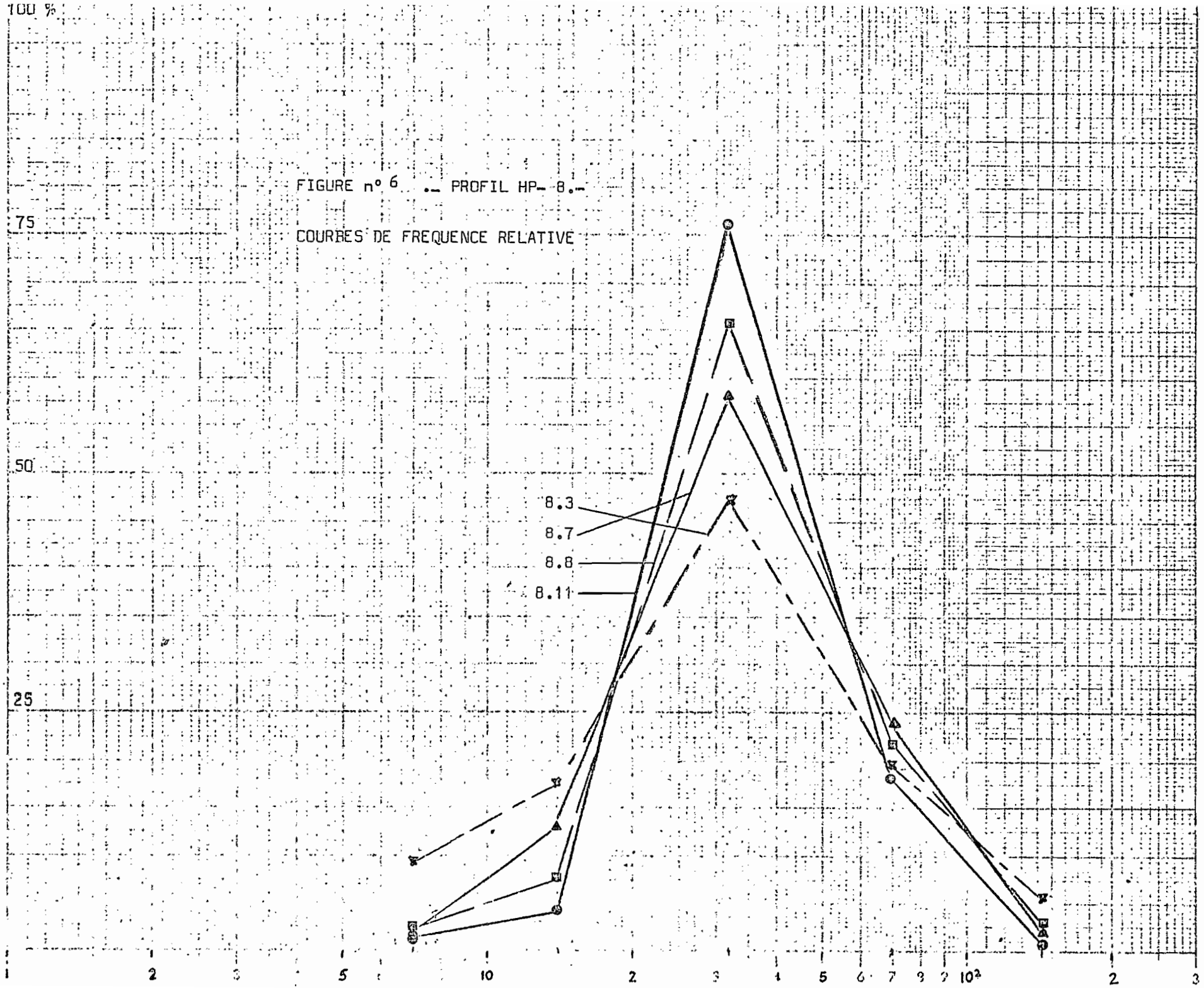
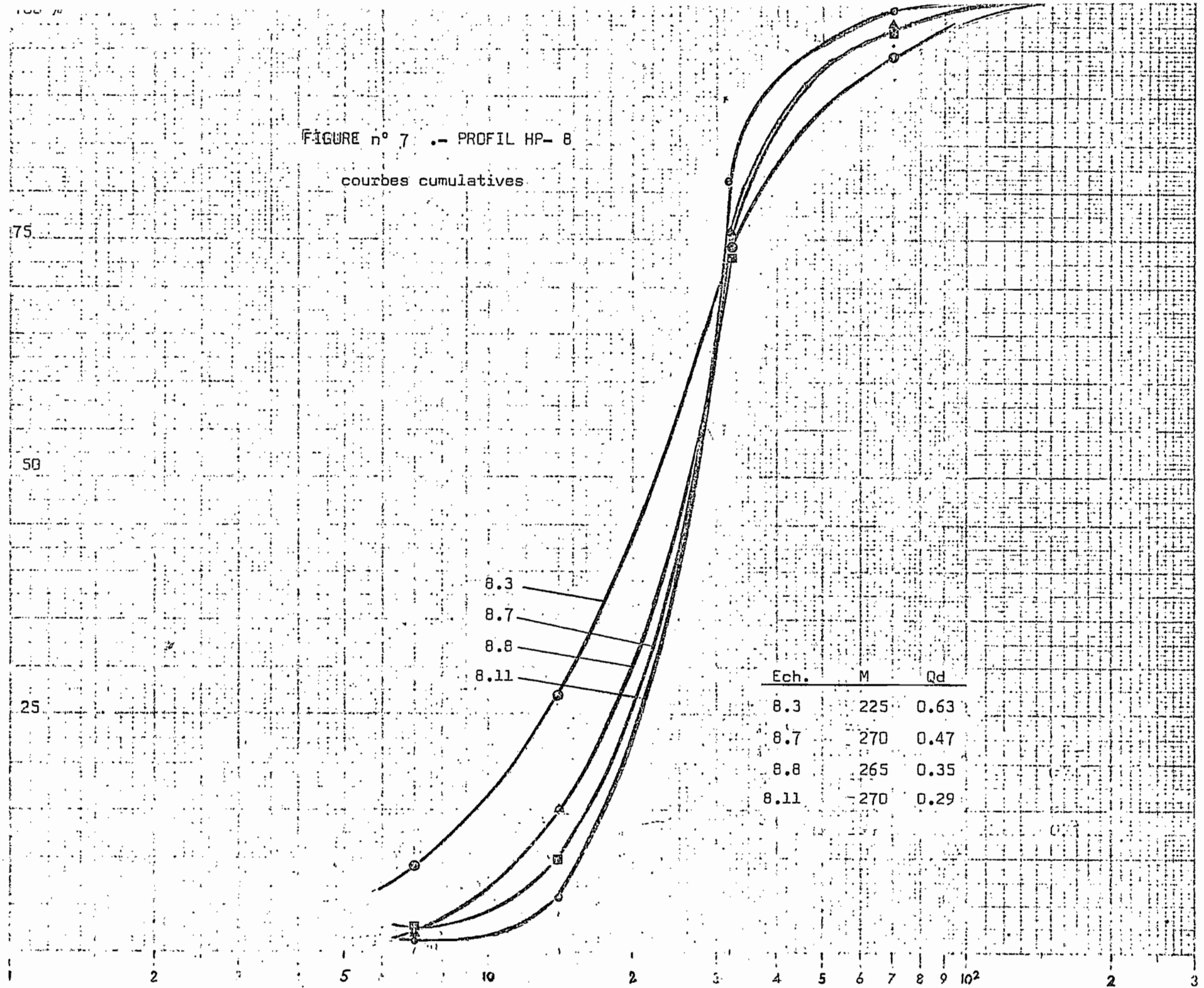


FIGURE n° 6 .- PROFIL HP- 8.-
COURBES DE FREQUENCE RELATIVE
100 %
75
50
25
8.3
8.7
8.8
8.11
1
2
3
5
10
2
3
4
5
6
7
8
9
10²
2
3

FIGURE n° 7 .- PROFIL HP- 8

courbes cumulatives



Ech.	M	Qd
8.3	225	0.63
8.7	270	0.47
8.8	265	0.35
8.11	270	0.29

Tableau n° VIII MORPHOSCOPIE DES SABLES

Profil HP-8 "Le Briou du Lude"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Q/F	%								
				AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
8.1	A_o	4-0										
8.2	A_1	0-8	81/19	21	48	15	-	4	1	6	2	3
				64	34	2	-	-	-	-	-	-
8.3	A_2	8-15	81/19	28	60	6	-	-	-	-	-	6
				46	54	-	-	-	-	-	-	-
8.4	B_2h	15-22	83/17	32	56	4	-	2	-	-	-	6
				50	48	-	-	2	-	-	-	-
8.5	B_2fe	22-35	90/10	34	52	8	-	2	-	-	-	4
				62	34	2	-	-	-	-	-	2
8.6	II $B_{21}t + A_2$ bandes	45-77	80/20	31	52	12	-	-	1	-	2	2
				52	44	4	-	-	-	-	-	-
8.7	II $B_{21}t + A_2$ glosses	45-77	85/15	20	62	16	-	-	-	-	-	2
				76	24	-	-	-	-	-	-	-
8.8	II $B_{22}t + A_2$ int. bandes	77-95	82/18	26	64	10	-	-	-	-	-	-
				64	34	2	-	-	-	-	-	-
8.9	II $B_{22}t + A_2$ bandes	77-95	72/28	36	56	8	-	-	-	-	-	-
				64	36	-	-	-	-	-	-	-
8.10	III $B_{31}t$ (g)	95-135	71/29	14	62	24	-	-	-	-	-	-
				48	50	2	-	-	-	-	-	-
8.11	III $B_{32}t$ (g)	135-150	73/27	21	58	21	-	-	-	-	-	-
				46	54	-	-	-	-	-	-	-

feldspaths, présentant une fréquence maximale pour la fraction sable moyen et une médiane d'environ 266 microns; enfin un rapport SF/SG inférieur à 15/85.

. Une phase sablo-limoneuse faiblement éolisée, rechargée en graviers et petits cailloux par remaniement et qui recouvre la précédente, avec une médiane de 225 microns, moins riche en feldspaths, moins classée, avec aussi une fréquence maximale pour la fraction sable moyen : le rapport SF/SG étant supérieur à 25/75.

1.4. Analyses chimiques.

1.4.1. pH.

Il est très acide dans tout le profil, variant entre 4,0 et 4,2 pour les horizons A, et entre 4,3 et 4,4 pour les horizons B du sol actuel. On retrouve là le profil habituel de pH caractéristique des sols podzoliques. Il est seulement assez atténué. Dans le substrat, horizons B2t du paléosol, le pH atteint la valeur de 4,1. La différence entre le pH eau et KCl est assez élevée pour l'horizon A2.

1.4.2. Capacité d'échange.

Elle est très variable dans le profil; très élevée pour l'horizon A0 avec 50 mé grâce à la richesse en matière organique, elle descend ensuite à moins de 6 mé; on observe une légère remontée dans les bandes argilliques de l'horizon Bt du paléosol et dans l'horizon A1 du sol podzolique.

1.4.3. Taux de saturation.

Le sol est très désaturé, en particulier dans le paléosol où le taux de saturation est inférieur à 20 %. On note une légère remontée vers la base du profil et en surface, grâce aux bases apportées par la litière.

1.4.4. Cations échangeables.

L'hydrogène et l'aluminium sont certainement les cations qui dominent largement le complexe d'échange, en particulier dans l'horizon B2h et dans les bandes de l'horizon B21t du paléosol. Le calcium domine sur l'aluminium dans les horizons A grâce au jeu de la remontée biologique.

1.4.5. Carbone total.

Il diminue progressivement en profondeur à partir de l'horizon A1; l'horizon A0 en contient 221 ‰ (38 % MO) et les horizons B, 4.6 ‰ (0.8 % MO).

1.4.6. Azote.

Diminution graduelle en profondeur mais plus progressive que celle du carbone. Le rapport C/N est de 28 pour l'horizon A0, de 22-23 pour les horizons A1 et A2 et moins de 20 pour les horizons B; il correspond bien au caractère de mor-moder que nous avons déjà signalé pour la matière organique de cet horizon.

1.4.7. Humus.

Les matières organiques humifiées ont un comportement différent de celui de la matière organique totale. En surface, elles constituent une faible partie de la matière organique totale. Par contre, à partir de l'horizon A1 elles deviennent très importantes. Les acides fulviques produits en quantité considérable dans l'horizon A0 vont s'accumuler de préférence dans les horizons B2h et B2fe où ils sont trois fois plus abondants que les acides humiques, ceux-ci par contre prédominent dans l'horizon A1. L'horizon A2 est appauvri en humus mais contient encore une quantité relativement importante de matière organique. L'horizon B2h est enrichi en particulier en acides fulviques.

Au niveau des bandes argilliques de l'horizon B21t du paléosol, la matière organique humifiée est presque exclusivement sous la forme d'acides fulviques, les acides humiques sont rares à partir de l'horizon B3.

On constate donc une faible polymérisation des composés humiques.

Le fait de trouver des acides organiques au niveau de l'horizon B21t nous révèle la facilité et la portée de la migration en profondeur et renforce l'hypothèse de l'intervention de la podzolisation de surface dans la dégradation des horizons argilliques.

1.4.8. Fer et Aluminium.

Les taux maximaux d'aluminium libre se situent dans les horizons B2h du sol actuel et dans les bandes argilliques des horizons Bt (0.180 et 0.552 % de Al_2O_3 libre).

Tableau n° XIX

ANALYSES CHIMIQUES

Profil HP-8 "Le Briou du Lude"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Matières organiques		Matières humiques ‰ C		
			C‰	MO%	MHT	AH	AF
8.1	A_o	4-0	221.	38.1	2.77	0.86	1.91
8.2	A_1	0-8	27.7	4.76	4.22	2.32	1.90
8.3	A_2	8-15	9.33	1.60	2.17	1.09	1.08
8.4	B_2h	15-22	7.19	1.23	2.40	0.52	1.88
8.5	B_2fe	22-35	4.59	0.78	1.36	0.01	1.35
8.6	bandes II $B_{21}t+A_2$	45-77	1.35	0.23	0.37	0	0.37
8.7	glosses	45-77	1.98	0.34	0.83	0	0.83
8.8	int.bandes II $B_{22}t+A_2$	77-95	0.70	0.12	0.01	0	0.01

Tableau n° XIX suite

Ech.	Horizons	Azote		Bases échangeables mé/100 g				S	T	S/T %
		N‰	C/N	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+			
8.1	A_o	8.00	27.6	6.34	1.42	0.97	0.14	8.27	50.3	18.
8.2	A_1	1.21	22.9	1.49	1.12	0.15	0.02	2.78	9.00	31.
8.3	A_2	.426	21.9	0.22	0.15	0.09	0.01	0.47	4.75	10.
8.4	B_2h	.390	18.4	0.22	0.08	0.09	0.01	0.40	5.75	7.
8.5	B_2fe	.287	16.0	0.07	0.08	0.08	0.01	0.24	4.35	6.
8.6	bandes II $B_{21}t+A_2$	.147	12.4	0.37	0.15	0.15	0.01	0.68	8.50	8.
8.7	glosses	.200	9.9	0.78	0.05	0.11	0.09	0.98	5.75	17.
8.8	int.bandes II $B_{22}t+A_2$	.053	13.2	0.55	0.39	0.06	0.02	1.02	3.00	34.

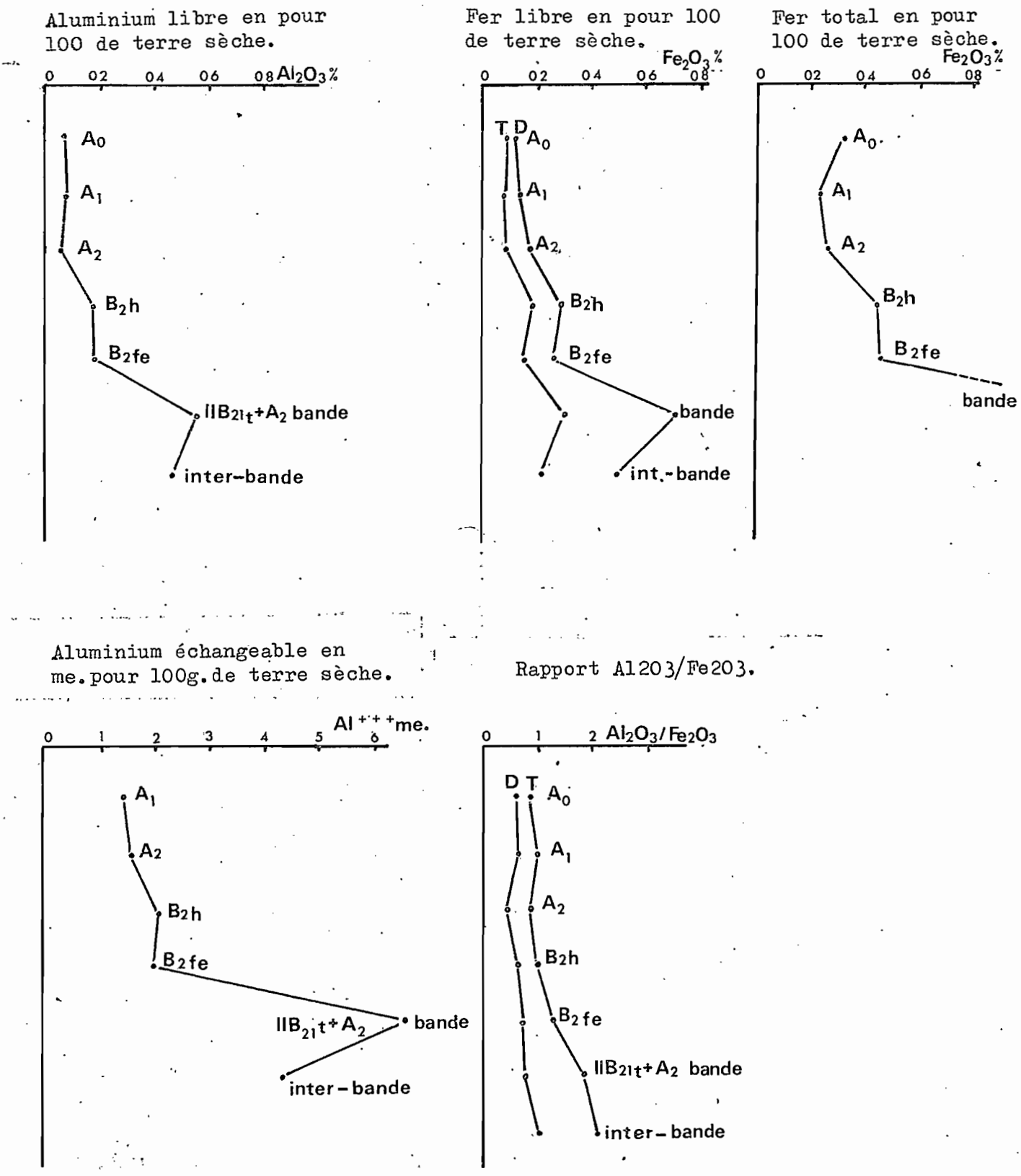


FIGURE n° 8 .- PROFIL HP- 8 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

L'aluminium échangeable suit le même comportement que celui de l'aluminium libre. Les horizons qui présentent les taux les plus élevés sont le B2h et les bandes des horizons Bt.

Le fer libre aussi s'accumule dans les mêmes horizons.

Le fer total diminue graduellement en profondeur jusqu'aux bandes des horizons argilliques où sa teneur redevient très élevée; les horizons A étant nettement appauvris en fer.

La migration du fer semble plus importante que celle de l'aluminium.

Les rapports Al_2O_3/Fe_2O_3 augmentent régulièrement en profondeur, mais ne dépassent pas l'unité (fer déterminé par la méthode Deb) ou à peine, à partir du B2h, pour atteindre 2 dans le paléosol (fer déterminé par la méthode de DE ENDREDY.).

Pour le sol actuel, le fer et l'aluminium montrent une certaine migration. Le fer libre, cependant, paraît plus mobile que l'aluminium; la couverture sablo-limoneuse qui repose sur le paléosol sablo-argileux provoque le développement d'une hydromorphie temporaire à la base qui, bien que peu accusée, favorise la migration du fer. Par ailleurs, l'aluminium qui a migré est plus facilement fixé ensuite par certaines argiles (Vermiculite Al.).

L'accumulation de l'aluminium dans les bandes argilliques du paléosol semble provenir en grande partie de la dégradation de ces bandes; elle peut aussi être due à la podzolisation du matériau de surface.

La ségrégation du fer dans le paléosol a été assez forte, imprimant au profil une coloration rougeâtre intense.

1.5. Minéralogie des argiles.

L'examen des diagrammes de rayons-X montre une distribution des argiles dans le profil similaire à celle des autres profils examinés, soumis en surface à la podzolisation, mais l'évolution est plus atténuée en liaison avec une intensité de podzolisation moindre. En surface, nous trouvons encore une quantité appréciable d'illite qui dans la plupart des autres profils a presque complètement disparu. La kaolinite domine largement, suivie de l'illite, un peu de vermiculite, avec possibilité d'amorphes et une quantité importante de quartz fin.

Dans les horizons Bt du paléosol, c'est la montmorillonite qui domine, ensuite la kaolinite, on observe des interstratifiés illite-montmorillonite et finalement de l'illite, le quartz fin est peu abondant. La proportion des minéraux argileux est d'environ 40-50 % pour la montmorillonite, 35 à 45 % pour la kaolinite et de 15 à 25 % pour l'illite.

A la base du profil, le milieu est plus confiné et c'est la montmorillonite qui domine, suivie par la kaolinite et en dernier lieu par l'illite.

Interprétation et conclusions.

Le profil est complexe, il se trouve dans la position la plus haute du paysage, correspondant au Bassin du Cosson, à quelques 14-16 m au-dessus de la rivière et représentant la terrasse la plus ancienne du Cosson.

Une première phase sédimentaire correspond à une terrasse fluviatile devenue très rubéfiée (couleurs dominantes 5 YR) ultérieurement, caractérisée à la fois par cette rubéfaction et par le lessivage en bandes, suivant les discontinuités lithologiques mineures.

Cette terrasse ancienne a été fossilisée postérieurement pendant le Wurm par une couverture sablo-limoneuse faiblement éolisée, remaniée, qui sert de support au sol actuel. Le tout repose sur la formation de Sologne (Miocène).

Les principaux caractères de la pédogenèse eu profil sont les suivants :

1°. Paléopédogenèse.

Elle est essentiellement caractérisée par le lessivage en bandes, avec une rubéfaction très marquée (probablement de type fersiallitique). Les bandes argilliques se caractérisent par des ferri-argilanes de grains libres épais, très colorés, qui dénotent un lessivage assez intense. La nature et le rapport entre les différents types de minéraux argileux nous indiquent que les conditions d'évolution du paléosol n'ont pas été trop agressives; la quantité assez élevée de montmorillonite nous fait rapprocher cette évolution de la fersiallitisation.

2°. Phases actuelles.

L'évolution pédologique actuelle se développe essentiellement dans la couverture sablo-limoneuse et dans les parties supérieures du paléosol; nous observons ainsi les phases pédologiques suivantes :

. Dégradation des horizons B2t en bandes, qui par analogie avec les terrasses anciennes de la Loire, est probablement antérieure à la mise en place de la couverture. Cette évolution se poursuit actuellement en étant favorisée par la podzolisation, nous la considèrerons comme une phase actuelle.

. Podzolisation, phénomène qui dans ce profil ne semble pas avoir été affecté directement par l'homme, par une phase culturale, comme pour la plupart des sols examinés.

a. Dégradation des horizons Bt.

La dégradation des horizons Bt est caractérisée par :

- sur le plan morphologique, formation de langues de dégradation qui recoupent les bandes argilliques et dont la progression se trouve favorisée par les discontinuités lithologiques;

- libération et migration du fer et de l'aluminium qui s'accumulent dans les bandes intactes;

- du point-de-vue de l'altération des argiles, nous n'avons pas observé de vermiculite au niveau des bandes intactes; il est possible que le fer très abondant ait un rôle protecteur sur les argiles;

- la fragmentation du quartz reste, elle aussi, très limitée.

b. Podzolisation.

La podzolisation est caractérisée dans le profil par :

- sur la plan morphologique, faible expression des horizons : des horizons A peu développés, A2 en particulier est mince et non cendreux; l'horizon B2h est aussi mince;

- migration limitée mais nette de l'aluminium, qui s'accumule dans le B2h sous la forme libre et échangeable;

- le fer s'accumule dans l'horizon B2h et B2fe;

- production abondante des acides fulviques qui s'accumulent dans le B2h; ils dominent les acides humiques dans tout le profil, donc faible tendance à la polymérisation des composés humiques;

- évolution des minéraux argileux relativement faible, donnant naissance à un peu de vermiculite;

- fragmentation du quartz assez forte.

Il est à remarquer dans ce profil que l'accumulation du fer et de l'aluminium dans les bandes résiduelles des horizons Bt est plus considérable que dans l'horizon B2h du sol podzolique. Il nous semble que, au fer et à l'aluminium libérés par dégradation des bandes argilliques, s'ajoutent ceux qui proviennent de la phase superficielle de podzolisation, les acides ful-

viques sont encore présents au niveau des horizons B3 du sol podzolique; la migration du fer et surtout de l'aluminium serait ainsi possible sous forme complexée par la matière organique.

2. PROFIL HP-17 - LE BOIS DU ROI.

Localisation : carte La Ferté-Saint-Aubin 5-6 à 1/25.000ème, x = 562,5; y = 302,0.

Végétation : landes sèches; Erica cinerea, Calluna vulgaris (Quercus pedunculata), Sarothamnus scoparius, Deschampsia flexuosa, Agrostis sp., Polytrichum formosum, Dicranum scoparium, etc .

Géomorphologie : terrasse horizontale à subhorizontale.

Altitude : 102 m, 6-7 m au-dessus du Cosson.

Matériau du sol : complexe, des dépôts fluviatiles sablo-graveleux recouverts par des sédiments éolisés remaniés.

Drainage : bon.

Classification : sol podzolique anthropomorphe.

2.1. Description du profil.

0 - 2 cm A 11	: Brun très foncé (10 YR 2/2) - sablo-limoneux à sableux, riche en débris de racines de bruyère non décomposés - nombreux grains de quartz nus.
2 - 5 cm A 12	: Brun-gris très foncé à brun très foncé (10 YR 3-4/2) humifère - sablo-limoneux à sableux - graviers peu abondants - quartz et silex, plus ou moins arrondis - structure particulaire - nombreuses racines fines et moyennes à chevelu abondant - limite inférieure nette et irrégulière.
5 - 12 cm A 2	: Brun grisâtre foncé (10 YR 4/2) - gris clair sec - sablo-limoneux - graviers et gravillons peu abondants, même nature - structure particulaire - très friable - racines peu nombreuses, pas de chevelu - limite inférieure nette et régulière.

12 - 18 cm B 1	: Brun jaunâtre foncé (10 YR 3-4/4 - quelques taches plus foncées d'infiltration d'humus, irrégulières et à limites nettes - sablo-limoneux - graviers et gravillons peu abondants (10 %) - structure particulaire - quelques racines moyennes, pas de chevelu - quelques cailloux de silex - limite inférieure nette et régulière.
18 - 30 cm B2h	: Brun foncé (7,5 YR 4/4) - sablo-limoneux - graviers peu abondants de quartz - quelques silex - structure particulaire - assez consistant - quelques taches diffuses plus foncées, peu contrastées - quelques racines moyennes, pas de chevelu - limite inférieure nette en consistance.
30 - 45 cm B2fe	: Brun foncé (7,5 YR 4/4) - sablo-limoneux - structure particulaire - moins consistant que l'horizon précédent - quelques graviers et cailloux de silex et de quartz - limite inférieure nette ondulée.
45 - 67 cm B3	: Jaune brunâtre (10 YR 6/6) - sablo-graveleux - cailloux abondants (environ 30 %) - silex - meuble - présente des taches plus foncées, peu contrastées et peu nettes et de petites taches plus claires déferrifiées - racines rares - limite inférieure nette et irrégulière.
67 - 86 cm II B21t + A2 ou + C	: Jaune brunâtre (10 YR 7/8) - sablo-graveleux - stratifié avec des lits de graviers de quartz lavés - cailloux abondants de silex (moins de 30 %) - l'horizon présente des bandes plus foncées irrégulières, discontinues, qui représentent de l'ordre de 15 à 20 % de l'horizon - meuble dans l'ensemble, légèrement plus consistant dans les bandes - limite inférieure graduelle.
86 - 110 cm II B22t + C	: Jaune brunâtre (10 YR 7/8) - mêmes caractères que l'horizon précédent, les bandes deviennent plus importantes et elles sont plus ou moins continues, elles représentent 20 à 30 % de l'horizon - le matériau entre les bandes semble assez dégradé - limite graduelle.

110 - 140 cm II B31t	: Jaune brunâtre (10 YR 7/8) - les bandes sont brun jaunâtre orangé - sablo-graveleux dans l'ensemble avec des lits de graviers de quartz lavés - cailloux de silex abondants (moins de 30 %) - meuble dans les interbandes, assez consistant dans les bandes - la matrix, sableuse dans les bandes, est plus fine que dans les interbandes qui souvent sont soulignées par les lits de graviers.

2.2. Sédimentologie.

2.2.1. Granulométrie.

Sur le plan granulométrique, le profil est complexe, développé sur des sédiments variés. Stratifié, sablo-caillouteux-graveleux à la base; non stratifié, moins caillouteux, sablo-limoneux en surface.

Nous avons distingué deux phases sédimentaires majeures :

- Phase I : (0-67 cm). Sablo-limoneuse (à sableuse), avec un taux de sables de 75-81 %, les sables moyens et grossiers sont assez équilibrés et constituent 60 % de la fraction sableuse. Le taux de cailloux et de graviers est de l'ordre de 10 %, répartis dans la masse de l'horizon. Le rapport SF/SG se situe entre 11/89 et 13/87, à la limite inférieure ils sont plus faibles.

- Phase II : (67-140 cm). Sablo-graveleuse, très caillouteuse (de l'ordre de 30 % des cailloux), stratifiée; des strates essentiellement graveleuses alternent avec des strates essentiellement sableuses. Les sables constituent 95 % de la terre fine, les limons constituent à peine 2 % et l'argile 3 %, qui proviennent du lessivage. Les rapports SF/SG sont inférieurs à 4/96.

Les courbes de fréquence relative expriment mieux que les courbes cumulatives l'hétérogénéité du matériau.

En surface, en général, les sables moyens et grossiers s'équilibrent; en profondeur, ce sont les sables grossiers et très grossiers qui tendent à prédominer.

Tableau n ° XI

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-17 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Analyse Granulométrique %									Refus %
			Argile µ	Limon µ			Sables µ					
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	Total	
17.1	A_{11}	0-2										
17.2	A_{12}	2-5	3.44	6.74	8.04	3.42	5.96	28.50	29.16	13.76	80.80	31.32
17.3	A_2	5-12	3.79	6.62	7.50	3.24	5.56	29.20	28.84	12.64	79.48	33.11
17.4	B_1	12-18	4.62	7.25	8.15	4.15	6.45	29.60	28.85	11.55	80.60	-
17.5	B_2h	18-32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46.35
17.6	B_2fe	32-45	7.37	9.82	6.40	2.20	4.00	29.10	26.90	12.90	75.10	54.55
17.7	B_3	45-67	2.66	1.61	0.30	0.30	1.90	22.96	41.30	28.44	94.90	68.15
17.8	II $B_{21}t$ +A2	67-86	3.05	1.51	0.14	0.36	3.60	45.02	35.04	11.28	95.30	12.20
17.9	II $B_{22}t$ +C	86-110	2.98	1.02	0.06	0.20	1.76	32.62	43.72	17.44	95.74	51.24
17.10	II $B_{31}t$	110-140+	2.60	0.95	0.16	0.40	2.96	36.50	39.96	16.24	96.06	65.79

Tableau n° XII

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-17 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Total	Sables % (total sables = 100 %)					SF/SG
				50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	
17.1	A_{11}	0-2							
17.2	A_{12}	2-5	80.80	4.23	7.37	35.27	36.08	17.02	12/88
17.3	A_2	5-12	79.48	4.07	6.99	36.73	36.28	15.90	11/89
17.4	B_1	12-18	80.60	5.14	8.00	36.72	35.79	14.33	13/87
17.5	B_2h	18-30							
17.6	B_2fe	30-45	75.10	2.92	5.32	38.74	35.81	17.17	8/82
17.7	B_3	45-67	94.90	0.31	2.00	24.19	43.51	29.96	2/98
17.8	II $B_{21}t + A_2$ ou + C	67-86	95.30	0.37	3.77	47.24	36.76	11.83	4/96
17.9	II $B_{22}t$ + C	86-110	95.74	0.20	1.83	34.07	45.66	18.21	2/98
17.10	II $B_{31}t$	110-140+	96.06	0.41	3.08	37.99	41.59	16.90	3/97

FIGURE n° 9 .- PROFIL HP- 17.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

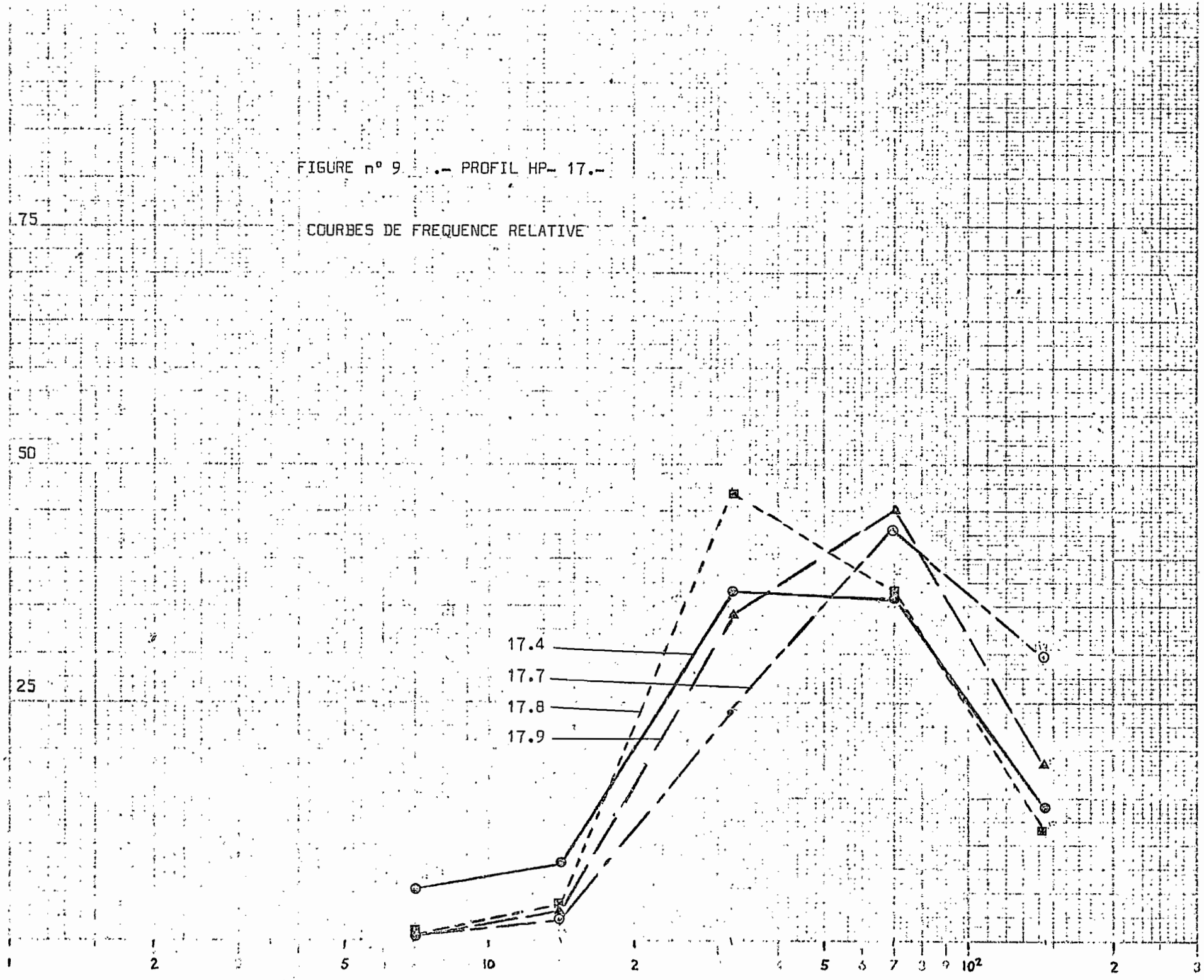
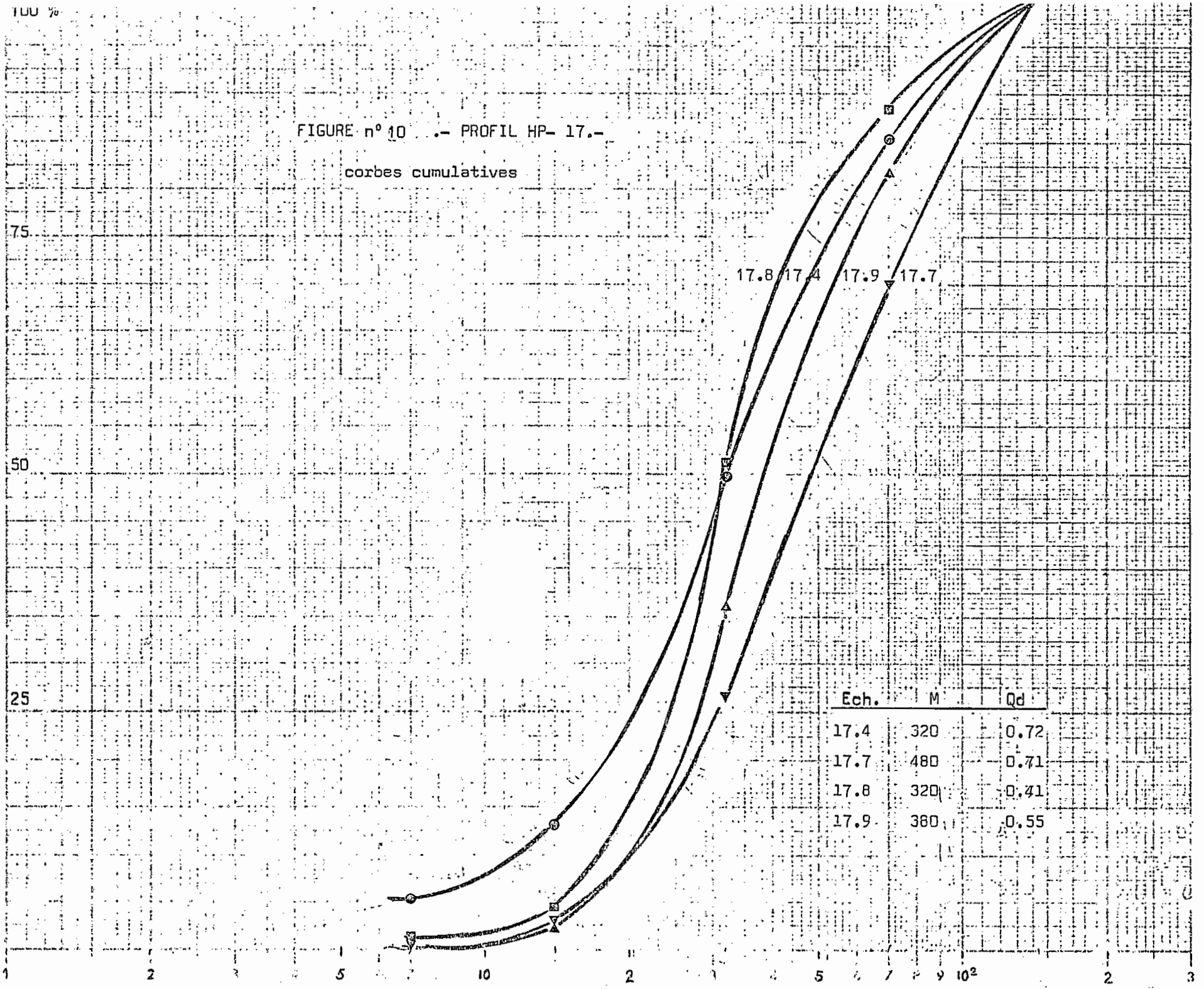


FIGURE n° 10 .- PROFIL HP- 17.-

corbes cumulatives



Ech.	M	Qd
17.4	320	0.72
17.7	480	0.71
17.8	320	0.41
17.9	380	0.55

Tableau n° XIII MORSPHOSCOPIE DES SABLES

Profil HP-17 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Q/F	%								
				AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	GM	RM
17.1	A_{11}	0-5	83/17	18	36	18	6	-	2	4	2	14
17.2	A_{12}			31	29	7	5	15	-	4	-	9
17.3	A_2	5-12	85/15	22	30	8	6	8	6	-	1	18
				40	34	6	2	16	-	-	-	2
17.4	B_1	12-18	85/15	30	30	10	10	6	2	-	-	10
				42	44	4	2	4	2	2	-	2
17.5	B_2h	18-30										
17.6	B_2fe	30-45	78/22	14	46	10	6	6	2	-	-	16
				42	36	4	4	10	2	-	-	2
17.7	B_3	45-67	78/22	20	56	8	-	2	2	-	1	10
				20	50	18	-	2	-	-	1	8
17.8	II $B_{21}t + A_2$ ou $+C$	67-86	70/30	38	38	8	-	2	4	-	-	10
				44	40	6	4	4	-	-	-	2
17.9	II $B_{22}t + C$	86-110	83/17	22	60	4	-	6	-	-	-	8
				34	48	2	-	2	-	-	-	4
17.10	II $B_{31}t$	110-140	82/18	22	26	14	4	8	2	10	4	10
				44	40	2	-	6	-	6	4	4

Les courbes cumulatives ont toutes un aspect fluviatile, les valeurs de Qdφ sont cependant variables, 0,41-0,71 pour la phase profonde et 0,72 pour la phase superficielle.

Les médianes sont aussi variables et comprises entre 320 et 480 microns.

2.2.2. Morphoscopie des sables.

L'action éolienne se manifeste dans tout le profil, ceci se traduit par une relative abondance de grains ronds ovoïdes-mats typiques et de grains éolisés; cette action est surtout exprimée dans les grains appartenant à la fraction A (0,8-1 mm), mais aussi, quoique avec moindre intensité, sur les grains de la fraction B (0,4-0,5 mm).

Le taux de grains ronds-ovoïdes-mats typiques (fraction A) est de l'ordre de 10-19 % et celui des grains éolisés de 14-20 % pour la phase I et de 8-14 % et 5-24 % pour la phase II respectivement. Ces proportions sont très élevées pour la Sologne.

Les grains anguleux luisants dominent souvent dans la fraction B. Les grains émoussés luisants sont peu représentés dans les deux phases et pour les deux fractions, en particulier pour les grains de 0,4 à 0,5 mm.

2.2.3. Taux des feldspaths.

Pour la phase I, le taux des feldspaths est nettement inférieur à celui des sédiments de la phase II, 16 % et 22 % respectivement. Ceci n'est pas concluant du fait que nous avons constaté que dans le sol podzolisé de surface il se produit une fragmentation du quartz et des feldspaths. Ceux-ci échapperaient aussi au comptage qui a été fait pour les grains de 0,4 à 0,5 mm.

2.2.4. Conclusions.

Nous pouvons conclure à l'existence de deux phases sédimentaires, la phase superficielle sablo-limoneuse un peu éolisée remaniée, et une phase profonde, essentiellement fluviatile, qui a remanié des sédiments éolisés anciens, stratifiée, sablo-graveleuse, caillouteuse. Cette succession sédimentaire a été constatée dans les autres profils examinés, à l'exception des cailloux.

2.3. Analyses chimiques.

2.3.1. pH.

Il est très acide dans tout le profil, légère tendance à l'acidification dans l'horizon A2 du sol podzolique et en profondeur dans le paléosol. En surface, en général, il est plus élevé par action anthropique (4,8);

2.3.2. Capacité d'échange (T).

Elle est assez élevée dans les horizons A -ceci est dû essentiellement à la richesse en matière organique - et très basse en profondeur où elle est inférieure à 4 mé.

2.3.3. Taux de saturation.

La désaturation du profil s'accentue à partir de l'horizon A2; les horizons de surface présentent une valeur voisine de 30-40 %, le A2 de 14 % et plus faible en profondeur.

2.3.4. Bases échangeables.

Le calcium en particulier et le magnésium contribuent en surface à augmenter le taux de saturation, cependant l'hydrogène reste largement dominant. A partir de l'horizon A2, l'aluminium échangeable devient assez important, constituant le tiers du complexe absorbant.

2.3.5. Carbone total.

Assez haut dans les horizons A humifères, diminue graduellement à partir de l'horizon A2.

2.3.6. Azote.

Il présente le même type de distribution que celle du carbone mais il tend à augmenter par rapport à celui-ci en profondeur. Le rapport C/N en surface est de 28, caractérisant un moder; il se maintient à 20 environ dans les horizons A, pour descendre au-dessous dans les horizons B du sol actuel.

Tableau n° XIV — ANALYSES CHIMIQUES

Profil HP-17 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Matières Organiques		Matières humiques ‰C		
			C‰	MO%	MIT	AH	AF
17.1	A_{11}	0-2	92.7	16.0	5.45	1.78	3.67
17.2	A_{12}	2-5	21.3	3.66	5.24	2.13	3.11
17.3	A_2	5-12	8.66	1.48	1.30	0.35	0.95
17.4	B_1	12-18	6.46	1.10	1.22	0.01	1.21
17.5	B_2h	18-30	4.77	0.82	-	-	-
17.6	B_2fe	30-45	2.05	0.35	0.75	0	0.75

Tableau n° XIV suite

Ech.	Horizons	Azote		Bases échangeables mé/100 g				S	T	S/T %
		N‰	C/N	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}			
17.1	A_{11}	3.37	27.5	4.32	1.42	0.58	0.04	6.36	20.8	31.
17.2	A_{12}	.923	23.1	1.34	0.75	0.15	0.02	2.26	6.00	38.
17.3	A_2	.430	20.1	0.30	0.07	0.06	0.01	0.44	3.25	14.
17.4	B_1	.410	15.8	0.07	0.08	0.07	0.01	0.23	3.25	7.
17.5	B_2h	.373	12.8	0.07	0.05	0.05	0.01	0.18	3.00	6.
17.6	B_2fe	.200	10.3	0.05	0.05	0.04	0.01	0.15	2.75	5.

Tableau n° XV

ANALYSES CHIMIQUES

Profil HP-17 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	pH		Al^{+++} mé/100 g	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
			H_2O	KCl							
17.1	A_{11}	0-2	4.8	3.8	0.09	0.080	0.38	0.20	0.080	0.40	1.00
17.2	A_{12}	2-5	4.8	3.6	0.50	0.072	0.40	0.20	0.084	0.36	0.85
17.3	A_2	5-12	4.4	3.6	0.97	0.100	0.44	0.24	0.100	0.41	1.00
17.4	B_1	12-18	4.5	3.8	1.08	0.108	0.56	0.32	0.152	0.33	0.71
17.5	B_2h	18-30	-	-	-	0.130	0.76	0.48	0.180	0.27	0.72
17.6	B_2fe	30-45	4.5	4.2	1.28	0.160	0.76	0.40	0.172	0.40	0.93
17.7	B_3	45-67	4.5	4.2							
17.8	II $B_{21}t$ + A_2 ou+C	67-86	4.4	4.2							
17.9	II $B_{22}t$ + C	86-110	4.5	4.2							
17.10	II $B_{31}t$	110-140+	4.3	4.3							

(1)- TAMM (2)- DEB (3)- DE ENDREDY (4)- (1)/(2) (5)- (1)/(3)

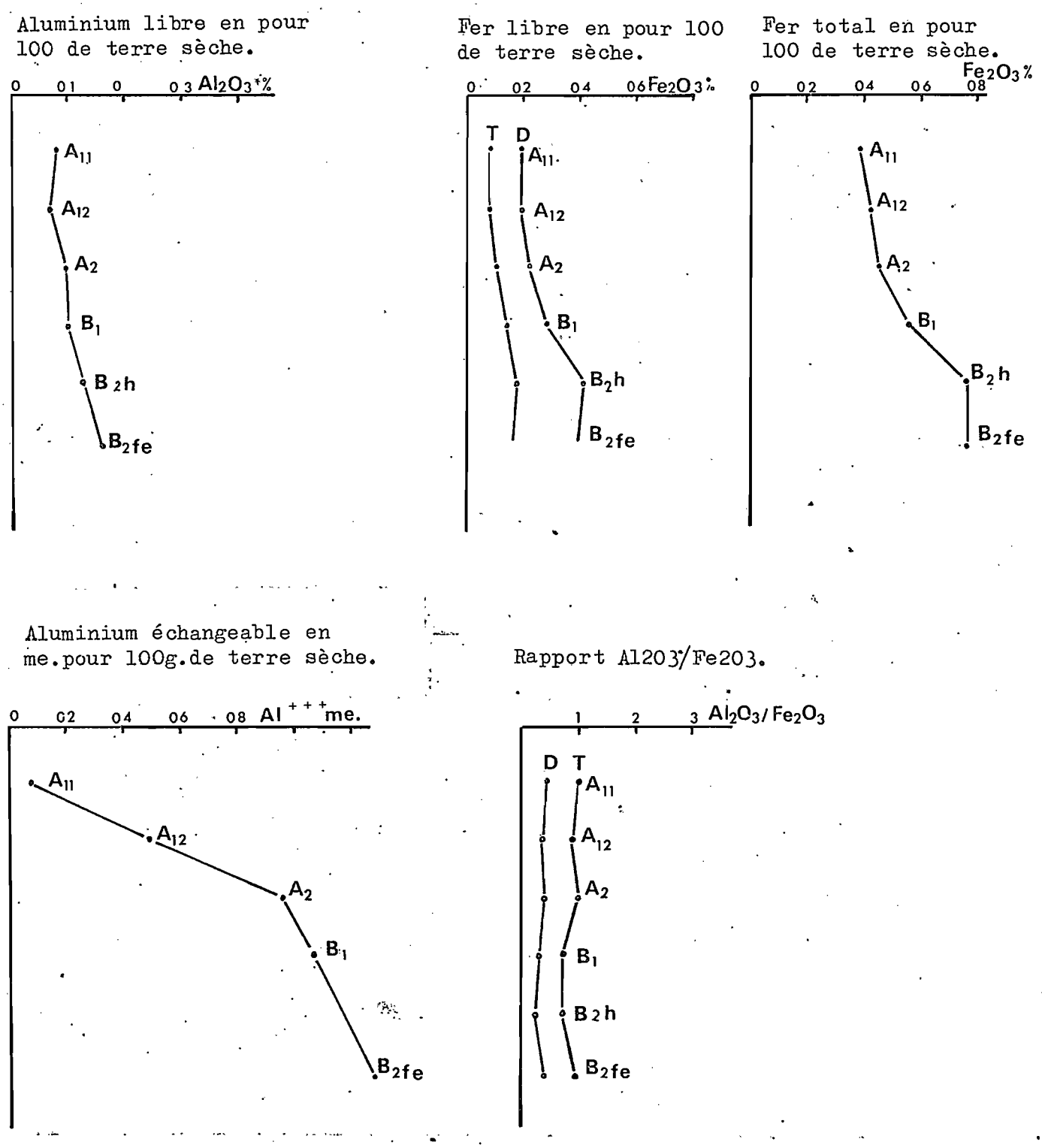


FIGURE n°11 .- PROFIL HP- 17 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al203/Fe203.

2.3.7. Humus.

Les acides fulviques dominent les acides humiques dans tout le profil avec une tendance à s'accumuler dans les horizons B. La fraction non humifiée de la matière organique totale est encore importante au niveau de l'horizon B1, ce qui peut s'expliquer s'il y a eu une action de brassage biologique ou anthropique assez importante dans les horizons de surface; par ailleurs, cette action se reflète aussi du point de vue morphologique. La tendance à la polymérisation des composés humiques reste très faible.

2.3.8. Fer et Aluminium.

Nous constatons une certaine migration de l'aluminium et du fer libre en profondeur, relativement faible par rapport à la production non négligeable des acides fulviques susceptibles de former des complexes avec le fer et l'aluminium. L'action anthropique n'est pas hors de cause dans ce comportement. Le fer libre présente une accumulation dans l'horizon B2h. Le fer libre constitue une partie assez faible du fer total et sa courbe a le même comportement que celle du fer libre.

Les rapports Al_2O_3/Fe_2O_3 restent inférieurs à 1 dans tout le profil, la courbe qui exprime ce rapport en fonction de la profondeur est presque une droite.

L'aluminium échangeable augmente progressivement en profondeur.

Le comportement du fer et de l'aluminium nous indique une faible tendance à la mobilisation de ces éléments; l'aluminium paraît capable d'une migration plus importante sous la forme complexée avec la matière organique, présente une certaine mobilité et une accumulation progressive avec la profondeur. La présence des bruyères en surface et le rapport C/N élevé indiquent une tendance nette dans le sens de la podzolisation; l'influence de l'homme et le caractère limoneux du matériau ont retardé l'expression morphologique accusée du phénomène.

2.4. Minéralogie des argiles.

Dans l'ensemble du profil, on observe la même tendance que dans les autres profils des sols podzolisés des moyennes terrasses.

En surface, apparition de la vermiculite -Al qui devient dominante, par évolution à partir de l'illite d'héritage, en passant par les interstratifiés illite-vermiculite; ensuite

la kaolinite qui est aussi héritée; finalement, des traces d'illite et une quantité très importante de quartz fin.

En profondeur, dans le substrat (paléosol), la kaolinite domine, suivie de l'illite qui est subordonnée et qui n'a pas évolué; on observe aussi des minéraux qui gonflent mal à 17 Å et des pics peu nets vers 14 A qui pourraient correspondre, soit à la montmorillonite mal cristallisée, soit à des interstratifiés illite-montmorillonite. Le quartz fin est peu représenté, les conditions géochimiques sont moins agressives qu'en surface.

Interprétation et conclusions.

Le profil est complexe, avec une roche-mère hétérogène :

Une première phase sédimentaire correspond à une terrasse fluviatile stratifiée, sablo-graveleuse, riche en cailloux. Cette phase est caractérisée sur le plan pédologique par le lessivage et la formation des horizons Bt en bandes, suivant le plus souvent les discontinuités lithologiques.

Une deuxième phase sédimentaire apporte un matériau sablo-limoneux faiblement éolisé, remanié (rechargé en cailloux); cette couverture sert de support au sol actuel caractérisé par la podzolisation.

Cependant, l'homme est intervenu sur le sol au stade de podzol. Une phase culturale a modifié profondément les caractères du sol, en particulier ceux des horizons de surface. L'horizon "spodique" assez épais correspondant à cette première phase de podzolisation est réactivé du point de vue biologique, la matière organique devient plus évoluée, avec un bas rapport C/N dans l'horizon B2h, et le sol moins acide. Le sol est postérieurement abandonné et les landes envahissent les espaces vides, landes à Callune et à Ericacées. Cette végétation à caractère acidifiant entraîne une nouvelle phase de podzolisation, ses caractères s'ajoutent aux précédents. Ceci confère au profil une apparence de sol ocre-podzolique; les horizons du sol podzolique correspondant à la nouvelle phase de podzolisation sont faiblement exprimés. Sur le plan de l'évolution minéralogique, elle est assez poussée, avec disparition de l'illite par transformation en vermiculite-Al, le quartz fin est très abondant; cette inertie des phénomènes correspond à la première phase de podzolisation, la phase actuelle est en fait moins avancée pour une transformation si forte.

Les principaux caractères de pédogenèse de ce profil sont les suivants :

1°. Paléopédogénèse.

Première phase sédimentaire; il s'agit du lessivage en bandes typiques des sols sableux; les bandes sont très fines, anastomosées, horizontales à subhorizontales.

2°. Phase actuelle.

La phase actuelle est essentiellement dans la partie supérieure du sol, la podzolisation. Elle a été plus ou moins intense suivant la période. Une première période de podzolisation a été interrompue par l'action de l'homme; postérieurement, elle a repris sous l'influence d'une végétation de lande.

La dégradation des bandes des horizons Bt reste très limitée aux premières bandes au sommet de l'horizon.

Nous avons déjà analysé, sur le plan morphologique, certains aspects de la podzolisation limitée par l'action de l'homme; celle-ci entraîne aussi des modifications physico-chimiques.

Les principaux caractères sont les suivants :

. Les pH sont relativement élevés en surface, environ 5, malgré la production considérable d'acides fulviques qui domine très largement les acides humiques;

. Nous constatons une distribution du fer et de l'aluminium libre qui augmente progressivement vers la base des horizons B;

. La matière organique assez élevée dans les premiers cm diminue progressivement en profondeur;

. Les acides fulviques s'accumulent dans les horizons B sans que l'on observe une tendance nette à leur polymérisation en composés humiques;

. L'évolution des minéraux argileux et la transformation de l'illite dans le sens de la vermiculite-Al, la montmorillonite disparaît;

. Forte fragmentation du quartz;

3. PROFIL HP-18 - LE BOIS DU ROI.

Localisation : carte La Ferté-Saint-Aubin à 1/25.000ème, x = 562,7; y = 301,8.

Végétation : Chênaie hygrophile : Quercus sp., Rhamnus frangula, Lonicera periclymenum (arbuste), Molinie coerulea, Quercus sp., Rubens sp., Polytrichum formosum, Dicranum scoparium, Leucobryum glaucum (mousse).

Géomorphologie : Moyenne terrasse, position subhorizontale, dans l'ensemble du paysage versant nord du Cosson.

Altitude : 98 m., approx. + 5 m au-dessus du Cosson.

Matériau du sol: alluvions sablo-limoneuses.

Drainage : déficient.

Classification : Sol podzolique hydromorphe.

3.1. Description du profil.

0 - 2 cm
A 11 : Brun très foncé de type intermédiaire entre hydro-moder et hydromor - très humifère - matière organique moyennement décomposée et de nombreuses racines de mousses décelables - nombreux grains de quartz nus- limite tranchée et irrégulière.

2 - 6 cm
A 12 : Brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) - humifère - sablo-limoneux - à sables moyens et grossiers - structure particulaire - friable - nombreuses racines à tendance horizontale à la limite de l'horizon - limite irrégulière et nette.

6 - 11 cm
A 2 : Brun grisâtre (10 YR 5/2) - plus clair sec - très irrégulier en épaisseur - sablo-limoneux - structure particulaire à tendance cendreuse - quelques taches de couleur brunâtre à limites peu contrastées et peu nettes d'infiltration d'humus - nombreuses racines moyennes réparties dans la masse - friable - limite assez nette en consistance et pas en couleur.

11 - 20 cm A2 + B2h	: Brun grisâtre un peu violacé (10 YR 5/2) - sablo-limoneux - taches brunâtres foncées, peu nombreuses, à limites nettes et contrastées - assez consistant par rapport à l'horizon précédent - racines moyennes - limite inférieure nette et irrégulière.
20 - 32 cm B3g	: Gris brunâtre clair-gris clair (10 YR 6-7/2) à taches ocre - horizon de pseudo-gley - pénétration irrégulière de l'humus - les taches représentent 10 % de l'horizon - sablo-limoneux - structure massive - consistant - quelques graviers - rares racines moyennes - limite graduelle et régulière.
32 - 48 cm gl	: Horizon semblable au précédent mais sans pénétration de l'humus - les caractères de pseudo-gley sont plus marqués - même couleur de fond, mais les taches sont plus étendues et plus contrastées, et représentent 15-20 % de l'horizon - limite inférieure nette et régulière.
48 - 72 cm II B21g	: Gris (5 Y 5/1) à taches rouge grisâtre (5 YR 4/8) - pseudogley très marqué - taches à limites très nettes et contrastées de forme irrégulière qui représentent 20-30 % de l'horizon - sablo-argileux - structure massive - très consistant - rares racines moyennes - limite graduelle régulière.
72 - 107 cm II B22g	: Gris verdâtre (5 GY 5/1) à taches rouille qui représentent 30-40 % de l'horizon - semblable au précédent - sablo-argileux - structure massive - compacte - à la base de l'horizon prédomine la coloration ocre - limite nette et régulière.
107 - 118 II B3g	: couleurs semblables à celles du précédent, moins argileux - horizon de pseudo-gley - taches brun ocre représentant 20-30 % de l'horizon - moins consistant que le précédent - limite nette et régulière; cailloutis de base formé essentiellement de silex et de quartz.
118 - 130 cm III Cg	: sablo-graveleux - stratifié - brun jaunâtre à taches ocre d'hydromorphie constituant 10 % de l'horizon - peu consistant dans les strates graveleuses, assez consistant dans les parties ocre moins grossières.

3.2. Sédimentologie.

3.2.1. Granulométrie.

Nous avons déterminé trois phases sédimentaires "majeures" qui sont étroitement apparentées et appartiennent à la même famille sédimentologique (pics de fréquence maximale semblables).Le profil est assez homogène dans l'ensemble, plus riche en limons en surface et en argile en profondeur.

- Phase I : (0-48 cm). Sablo-limoneuse, avec un taux de sables de 67-72 % avec une prédominance des sables moyens et grossiers. Les limons fins et grossiers sont assez équilibrés, le taux est de 18-26 %. L'argile constitue moins de 5 %. Le contenu en graviers est très faible. Les rapports SF/SG sont de l'ordre de 18/82 et 20/80.

- Phase II : (48-118 cm). Sablo-argileuse, avec un taux de sables entre 66 et 79 % et une prédominance des sables moyens et grossiers. Le taux de limons est inférieur à 13 % et l'argile varie entre 12 et 20 %.

  a. Mêmes caractères généraux, taux d'argile de 18-22 %, de limons entre 9 et 13 %; les rapports SF/SG varient entre 9/91 et 12/88;

  b. Mêmes caractères généraux, taux d'argile et de limons plus faible, 12 % pour l'argile et 5 % pour les limons. Le rapport SF/SG est de 15/85.

- Phase III: (118-130 cm). Séparée des antérieures par un cailloutis de base; elle est stratifiée avec des lits de graviers et de cailloux, très sableuse dans l'ensemble avec une prédominance des sables moyens et grossiers. Le rapport SF/SG est de 4/96.

L'examen des courbes cumulatives nous montre une grande homogénéité pour les différentes courbes qui ont la même tendance. Les médianes varient entre 0,28 et 0,31 mm. La courbe qui représente la phase I a une valeur Qdφ plus élevée (0,61). Les autres courbes ont des valeurs de Qdφ inférieures à 0,48 et sont donc plus redressées.

Les courbes de fréquence relative ont toutes un pic de fréquence maximale pour la fraction sable moyen voisin de 45 %;

Tableau n° XVI

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-18 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Analyse Granulométrique %									Refus %
			Argile µ	Limon µ		Sables µ						
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	Total	
18.1	A_{11}	0-2										
18.2	A_{12}	2-6	4.58	9.87	8.72	4.26	8.02	31.84	21.24	4.50	69.86	tr.
18.3	A_2	6-11	4.97	9.65	10.40	4.75	8.25	30.95	22.80	5.35	72.10	6.57
18.4	$A_2 + B_2h$	11-20	4.20	11.52	11.10	4.60	8.40	31.40	21.95	6.10	72.45	8.02
18.5	B_3g	20-32	4.12	12.72	11.00	4.45	8.15	30.00	21.55	7.15	71.30	10.15
18.6	g_1	32-48	6.13	14.00	11.75	5.50	7.75	29.60	19.25	4.65	66.75	3.98
18.7	II B_{21} g	48-72	20.22	8.30	5.05	2.75	4.95	29.95	24.90	3.65	66.20	tr.
18.8	B_{22} g	72-107	17.75	5.25	3.40	2.45	4.35	32.15	28.70	4.45	72.10	tr.
18.9	B_2 g	107-118	12.14	1.76	3.30	3.40	8.12	38.70	25.40	3.74	79.36	6.02
18.10	III C g	118-130+	5.43	1.84	0.66	0.84	2.74	42.28	32.38	12.80	91.04	32.33

Tableau n° XVII

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-18 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Total	Sables % (total sables = 100 %)					SF/SG
				50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	
18.1	A_{11}	0-2							
18.2	A_{12}	2-6	69.86	6.09	11.48	45.57	30.40	6.44	18/82
18.3	A_2	6-11	72.10	6.58	11.44	42.92	31.62	7.42	18/82
18.4	$A_2 + B_2h$	11-20	72.45	6.34	11.59	43.34	30.29	8.41	18/82
18.5	B_3g	20-32	71.30	6.24	11.43	42.07	30.22	10.02	18/82
18.6	g_1	32-48	66.75	8.23	11.61	44.34	28.83	6.96	20/80
18.7	II $B_{21}g$	48-72	66.20	4.15	7.47	45.24	37.61	5.51	12/88
18.8	$B_{22}g$	72-107	72.10	3.39	6.03	44.59	39.80	6.17	9/91
18.9	B_3g	107-118	79.36	4.28	10.32	48.76	32.00	4.71	15/85
18.10	III C g	118-130+	91.04	0.92	3.00	46.44	35.56	14.05	4/96

FIGURE n° 12 .- PROFIL HP- 18.-

COURBES DE FREQUENCE RALATIVE

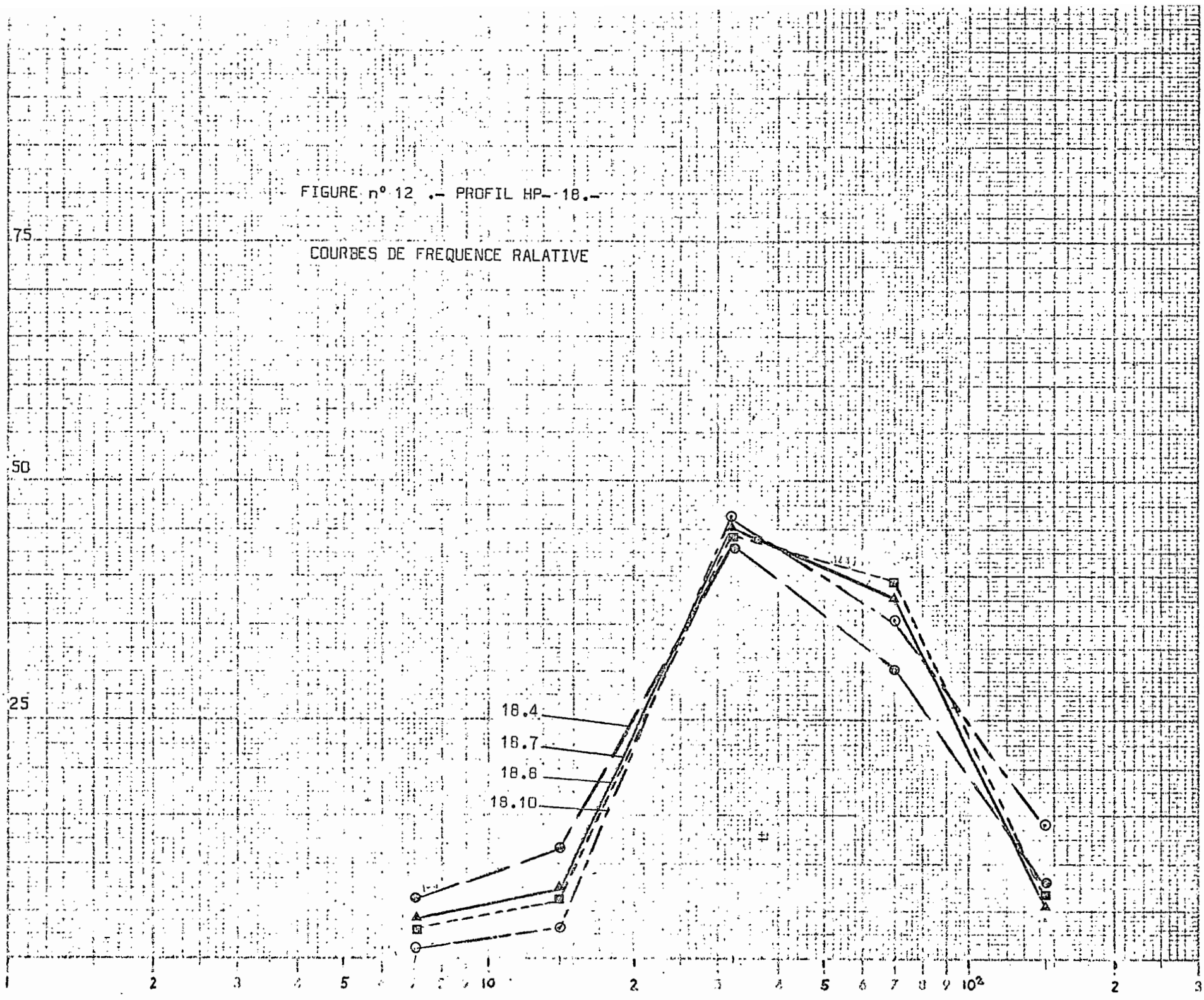
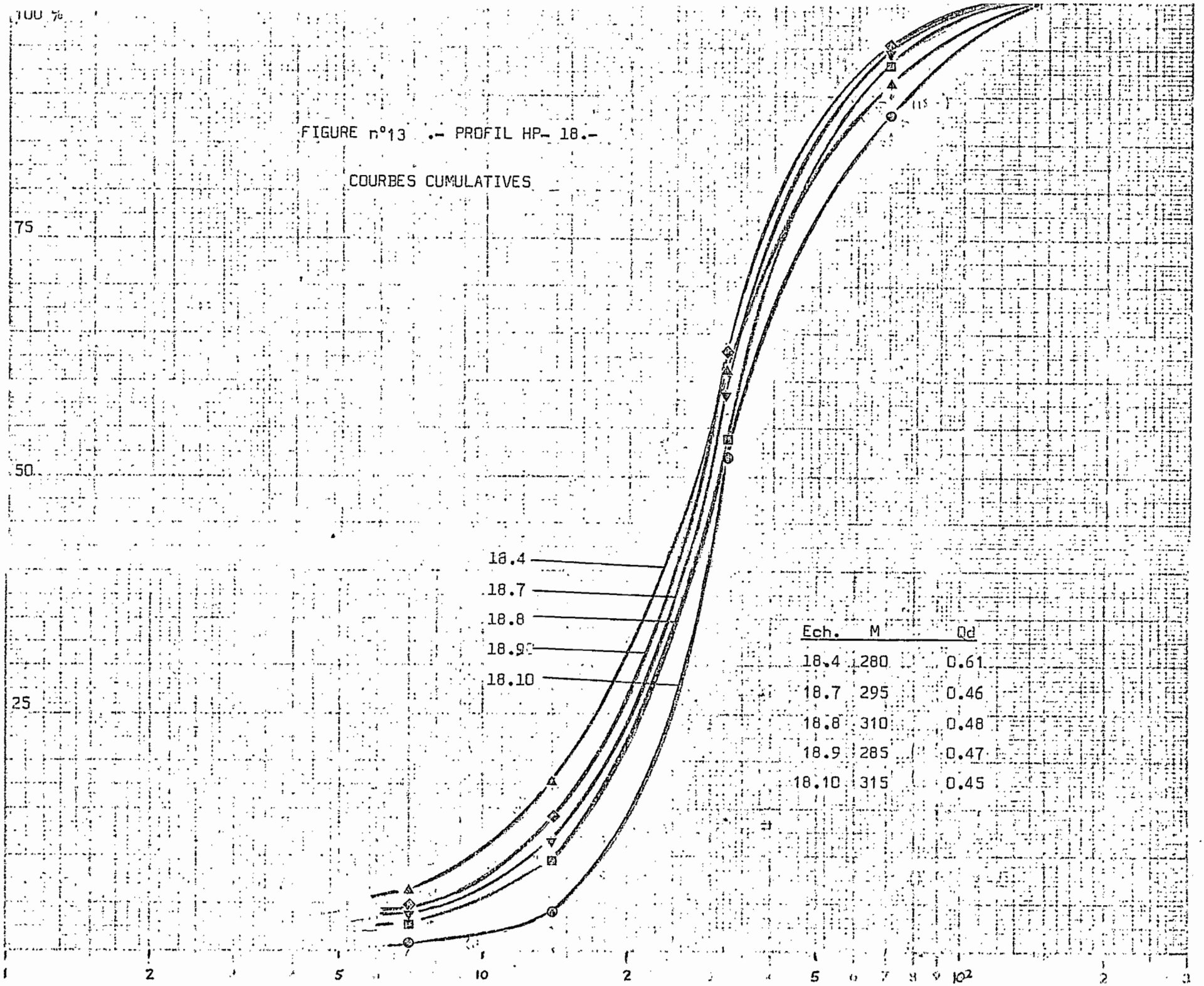


FIGURE n°13 .- PROFIL HP- 18.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd
18.4	280	0.61
18.7	295	0.46
18.8	310	0.48
18.9	285	0.47
18.10	315	0.45

Tableau n° XVIII MORSPHOSCOPIE DES SABLES

Ech.	Horizons	Prof. cm	Q/F	%								
				Al	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
18.1	A_{11}	0-2										
18.2	A_{11}	2-6	79/21	10	50	6	8	8	-	6	2	10
				37	31	13	2	11	4	2	-	-
18.3	A_2	6-11	81/19	22	38	6	2	14	4	2	2	10
				34	32	12	-	-	-	4	2	2
18.4	$A_2 + B_2h$	11-20	87/13	32	40	8	-	8	4	-	-	8
				36	42	6	4	8	-	-	-	4
18.5	B_3g	20-32	84/16	26	46	6	-	8	-	2	2	10
				26	54	8	4	2	2	-	2	2
18.6	g_1	32-48	89/11	14	30	10	-	26	-	18	-	2
				16	42	18	-	20	-	-	4	-
18.7	II $B_{21}g$	48-72	82/18	14	50	8	2	8	2	6	-	10
				26	52	12	-	2	-	2	-	6
18.8	$B_{22}g$	72-107	85/15	24	48	2	-	8	2	8	4	4
				30	50	12	-	8	-	-	-	-
18.9	B_3g	107-118	83/17	24	50	4	-	4	-	4	6	8
				28	56	10	2	4	-	-	-	-
18.10	III C g	118-130+	78/22	20	36	10	-	6	-	12	2	14
				24	44	12	-	6	-	2	2	6

une deuxième élévation se produit pour la fraction sable grossier, qui cependant ne dépasse pas 40 % et qui est plus atténuée pour la courbe 18.4 (phase I).

3.2.2. Morphoscopie des sables.

L'étude morphoscopique des sables nous révèle une action éolienne généralisée à tout le profil qui se manifeste par un taux des grains éolisés et ronds ovoïdes-mats typiques assez important, régulier dans tout le profil.

. Le taux des grains ronds ovoïdes-mats varie entre 2 % (un seul horizon) et 16 %; les grains éolisés entre 12 et 44 % (fraction A). A l'intérieur des grains éolisés, ceux appartenant aux émoussés picotés (EP) sont les plus abondants;

. Les grains subanguleux luisants (SL) constituent la catégorie la plus importante pour les deux fractions, 30-50 % pour la fraction A et 31-56 % pour la fraction B;

. Les anguleux luisants (AL) sont assez nombreux dans la catégorie B (16-37 %) et moins bien représentés dans la catégorie A (10-32 %);

. Les grains émoussés luisants (EL) sont moins abondants dans les deux fractions, le taux est inférieur à 18 %, avec des valeurs oscillant autour de 4 %.

3.2.3. Taux des feldspaths.

Le taux des feldspaths est assez variable dans le profil et confirme la parenté des phases sédimentaires. Il varie entre 11 et 22 %. Les valeurs les plus basses correspondent aux horizons B2h et gl. Le taux maximum est à la base du profil dans la partie stratifiée, donc dans des conditions géochimiques moins agressives.

3.2.4. Conclusions.

Dans le profil examiné, les phases sédimentaires sont étroitement apparentées comme le montrent les courbes granulométriques. La séparation est fondée surtout sur les critères du rapport SF/SG, de l'éventuelle recharge en graviers et cailloux et des variations du taux des limons. Celle des teneurs en argile doit être interprétée avec réserve à cause du lessivage possible de cet élément.

La morphoscopie des sables et le taux de feldspaths reflètent bien l'homogénéité déjà signalée par les courbes granulométriques. L'action éolienne est généralisée à tout le profil et le taux de feldspaths présente plus de variations à l'intérieur de chaque phase sédimentaire qu'entre elles.

Les sédiments correspondent bien aux "Sables de Sologne" (pics de fréquence maximale pour la fraction sable moyen).

3.3. Analyses chimiques.

3.3.1. pH.

Les pH sont acides dans tout le profil, inférieurs à 5 en surface; ils se situent entre 5 et 6 dans les horizons intermédiaires pour monter au-dessus de 6 dans les horizons B2g à la base du profil où l'on observe une accumulation des bases;

3.3.2. Capacité d'échange (T).

Elle est assez élevée dans les horizons riches en matière organique et en argile.

3.3.3. Taux de saturation.

Le taux de saturation est relativement élevé dans les horizons de surface, par le jeu de la remontée biologique (42 %), il descend dans les horizons de type podzolique pour monter à 60 % au niveau des horizons de pseudo-gley;

3.3.4. Bases échangeables.

Dans les horizons de surface, c'est l'ion hydrogène qui domine le complexe; le calcium, en particulier, est relativement abondant dans l'horizon Ao (remontée biologique des bases); l'aluminium échangeable monte dans l'horizon A2; les bases tendent à s'accumuler dans les niveaux plus argileux et confinés à la base du profil avec une conséquente élévation du pH et du taux de saturation;

3.3.5. Carbone total.

Son taux est élevé dans l'horizon A 11 (12,4 %, exprimé en matière organique) pour descendre ensuite graduellement; dans l'horizon II B21g, il est déjà très faible (0,3 % de matière organique); l'analyse ne fait pas ressortir l'existence de taches d'accumulation humique dans l'horizon de 11 à 20 cm. Ce caractère anormal est probablement la conséquence du travail du sol réalisé il y a quelques années.

Tableau n°XIX ANALYSES CHIMIQUES

Profil HP-18 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Matières Organiques		Matières humiques ‰C		
			C‰	M.O%	MHT	AH	AF
18.1	A_{11}	0-2	72.2	12.4	6.04	2.02	4.02
18.2	A_{12}	2-6	43.5	7.48	5.59	2.09	3.10
18.3	A_2	6-11	19.6	3.37	2.94	1.23	1.71
18.4	$A_2 + B_2h$	11-20	9.38	1.61	2.01	0.81	1.20
18.5	B_3g	20-32	3.45	0.59	0.76	0.01	0.75
18.6	g_1	32-48	1.88	0.32	0.56	0	0.56
18.7	II B_{21} g	48-72	1.79	0.30	0.37	0	0.37

Tableau n°XIX suite

Ech.	Horizons	Azote		Bases échangeables mé/100g				S	T	S/T%
		N ‰	C/N	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+			
18.1	A_{11}	3.17	22.8	4.85	1.27	0.76	0.08	6.96	16.5	42.
18.2	A_{12}	2.05	21.2	0.97	0.22	0.32	0.04	1.55	10.5	15.
18.3	A_2	.840	23.3	0.52	0.08	0.09	0.02	0.71	5.50	13.
18.4	$A_2 + B_2h$	.503	17.7	0.37	0.15	0.09	0.02	0.63	4.00	16.
18.5	B_3g	.197	17.5	1.27	0.07	0.05	0.06	1.45	2.25	64.
18.6	g_1	.157	12.0	1.64	0.31	0.04	0.06	2.05	2.25	91.
18.7	II B_{21} g	.207	8.6	7.64	2.50	0.19	0.42	10.75	12.75	84.

Tableau n° XX

ANALYSES CHIMIQUES

Profil HP-18 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	pH		Al^{+++} mé/100 g	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 % (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 % (5)
			H_2O	KCl							
18.1	A_{11}	0-2	4.9	3.9	0.11	0.060	0.24	0.15	0.092	0.40	0.65
18.2	A_{12}	2-6	4.3	3.2	0.57	0.060	0.22	0.12	0.088	0.50	0.68
18.3	A_2	6-11	4.3	3.2	1.15	0.060	0.24	0.15	0.080	0.50	0.75
18.4	$A_2 + B_2h$	11-20	4.8	3.8	0.78	0.080	0.28	0.19	0.112	0.42	0.71
18.5	B_3g	20-32	5.8	5.1	0.03	0.080	0.40	0.21	0.144	0.38	0.55
18.6	g_1	32-48	5.9	5.2							
18.7	II B_{21} g	48-72	5.3	3.9							
18.8	B_{22} g	72-107	6.0	4.5							
18.9	B_3 g	107-118	6.8	5.2							
18.10	III C g	118-130	6.4	5.0							

(1)- TAMM (2)- DEB (3)- DE ENDREDY (4)- (1)/(2) (5)- (1)/(3)

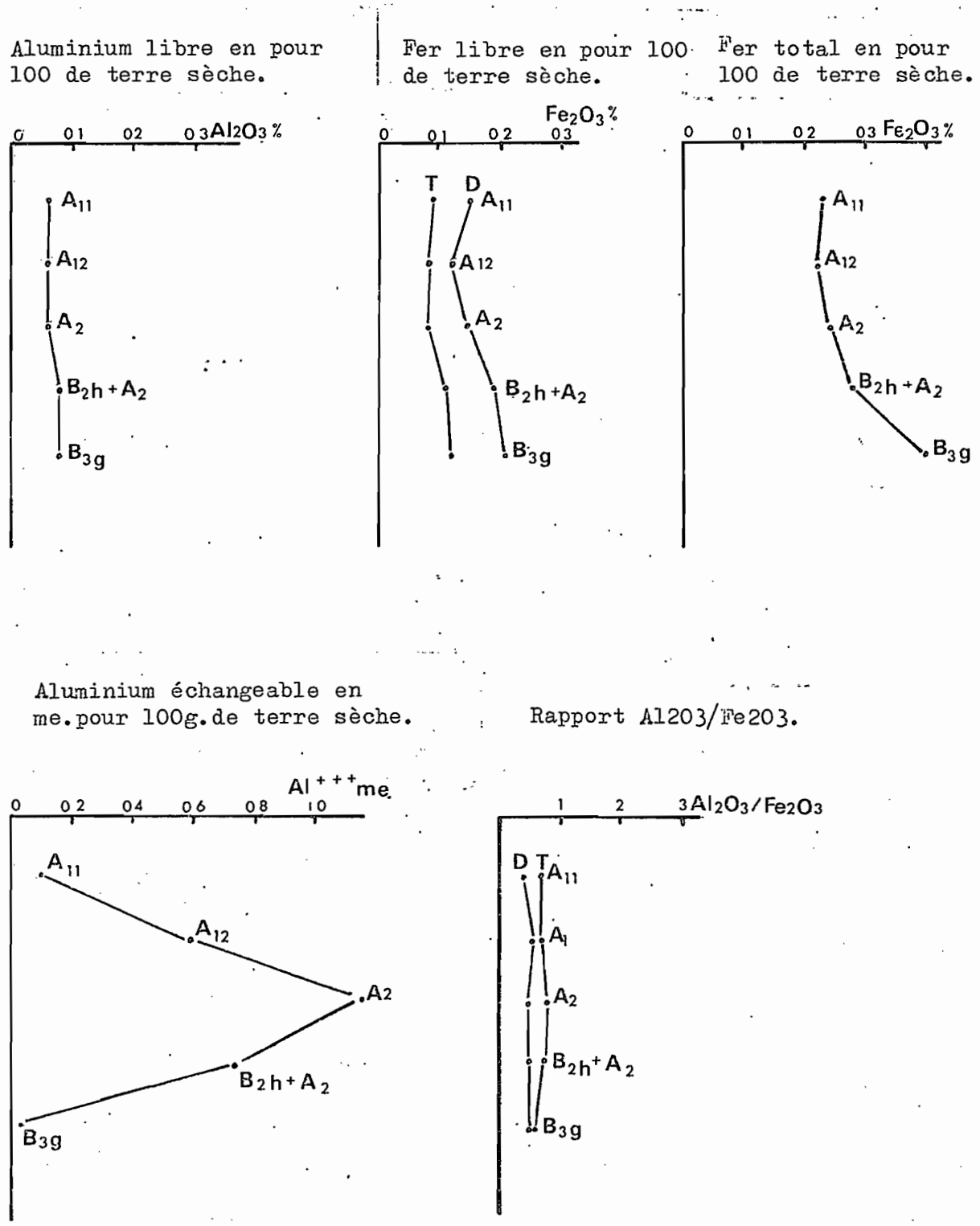


FIGURE n° 14 .- PROFIL HP- 18 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

3.3.6. Azote.

Il y a diminution en profondeur, mais plus progressivement que le carbone. Le rapport C/N est d'environ 21-23 en surface, caractérisant un moder ou un humus intermédiaire entre moder et mor, pour descendre à 17 dans les horizons B et au-dessous en profondeur.

3.3.7. Humus.

Dans les horizons de surface, il y a une production très importante d'acides fulviques, qui dans l'horizon A 11 sont deux fois plus abondants que les acides humiques; cette prédominance se maintient dans le profil; dans l'horizon B3g, ils constituent presque exclusivement la fraction humifiée de la matière organique, la tendance à la polymérisation des composés humiques est très faible. Cela confirme les observations morphologiques concernant les taches dendroïdes de l'horizon B3g qui correspondent à la podzolisation et non à l'hydromorphie.

3.3.8. Fer et Aluminium.

L'aluminium libre dont la teneur reste limitée ne migre pas d'une façon appréciable dans le profil; une légère accumulation se produit au niveau des horizons B2h et B3g. L'aluminium échangeable s'accumule également dans le B2h et surtout dans l'horizon A2. Le fer, par contre, étant donné les caractères d'hydromorphie assez marqués, présente une mobilité accrue en profondeur. Les rapports Al_2O_3/Fe_2O_3, par les deux méthodes de détermination du fer, sont inférieurs à 1.

Nous pouvons conclure que ces différents caractères prouvent que dans ce sol la podzolisation reste faible.

3.4. Minéralogie des argiles.

L'évolution minéralogique des argiles correspond en surface à celle d'une podzolisation relativement faible et confirme la dynamique pédogénétique du profil. En surface, la kaolinite est prédominante, suivie de la vermiculite-Al, subordonnée, avec des traces de montmorillonite. On observe également une quantité appréciable de quartz fin.

En profondeur, la montmorillonite devient largement prédominante, ensuite viennent la kaolinite, et finalement l'illite; le quartz fin est négligeable.

Malgré une faible manifestation de la podzolisation, du point de vue morphologique et chimique, nous retrouvons encore l'évolution des argiles, constatée dans les sols plus fortement podzolisés, caractérisés sur le plan minéralogique par l'évolution des illites en interstratifiés illite-vermiculite, puis en vermiculite-Al et avec fragmentation des quartz.

L'illite et la kaolinite sont certainement héritées et la montmorillonite également; les diagrammes de rayons-X montrent un minéral très bien cristallisé.

Interprétation et conclusions.

L'évolution pédologique du profil est relativement simple. Sur une roche-mère sédimentaire hétérogène se produit le lessivage avec la formation d'un horizon B dans le matériau sous-jacent qui se colmate ainsi progressivement. Cette double discontinuité lithologique et pédologique favorise le développement de conditions d'hydromorphie temporaire par formation d'une nappe perchée en saison humide.

L'acidification progressive du milieu entraîne la podzolisation en surface, quoiqu'il n'y ait pas formation d'un véritable mor, on observe une production abondante d'acides fulviques susceptibles de complexer le fer et l'aluminium et de les entraîner en profondeur.

Sur le plan morphologique, la podzolisation reste assez superficielle et l'expression des horizons est faible.

Les horizons A humifères sont peu développés, le A2 n'est visible d'une façon nette qu'à sec et il est pénétré d'humus sous forme de taches. L'horizon B2h est très mince, assez clair, d'une couleur gris violacé avec une accumulation faible de fer et d'aluminium libre; l'accumulation de l'humus est irrégulière et sous forme de taches. L'horizon B3g est encore assez riche en acides fulviques mais constitue en même temps un horizon où se produit une précipitation du fer entraîné par la matière organique sous forme de taches rouille très irrégulières, anastomosées, dendroïdes et de taches brunâtres plus riches en humus. A ce niveau, l'hydromorphie commence à intervenir.

Au-dessous, nous observons l'horizon à pseudo-gley typique avec la formation des nodules ferrugineux; la couleur de fond de l'horizon est très blanchie, ce qui révèle une circulation latérale de l'eau et une redistribution marquée du fer.

L'évolution des minéraux en surface est indicatrice de la podzolisation, avec l'apparition de la vermiculite-Al; le quartz pour sa part se fragmente, donnant aux rayons-X des pics très développés.

Ce sol est à la fois hydromorphe et faiblement podzolique. A la fois par suite de son cadre géographique et de la végétation et par suite de l'absence d'un sous-groupe podzolique dans le groupe des sols à pseudogley, nous sommes amené à le classer comme Sol Podzolique à pseudo-gley, comme il a été indiqué précédemment.

4. PROFIL HP-19 - LE BOIS DU ROI.

Localisation	: Carte de La Ferté-Saint-Aubin 5/6 à 1/25.000ème, x = 562,8; y = 301,8.
Végétation	: Lande humide à Molinie.
Géomorphologie	: Terrasse récente, position horizontale.
Altitude	: 95-96 m; + 1-2m au-dessus du Cosson.
Matériau du sol	: alluvions récentes sablo-limoneuses du Cosson.
Drainage	: mauvais.
Classification	: Sol hydromorphe à pseudo-gley.

4.1. Description du profil.

0 - 10 cm A 11	: Brun foncé - matière organique décelable type hydromull acide à hydromoder, sous Molinie - sablo-limoneux - très humifère - structure particulaire ou très faiblement agrégée - racines fasciculées de Molinie extrêmement denses, moyennes à fines, conférant une structure faiblement développée à tendance grumeleuse à l'horizon - racines d'arbres peu abondantes, moyennes, subhorizontales - quelques graviers - quelques éléments irréguliers plus clairs, paraissant dus aux remontées mécaniques et biologiques des horizons inférieurs, clairs - grains plutôt nus - quelques nodules ferrugineux indurés (1 % et manchons radiculaires) - fragile - friable - non adhésif - très bonne porosité - activité biologique moyenne (quelques gros lombrics) - limite régulière distincte.

10 - 25 cm A 12g	: Brun - moins organique - diminution de racines - racines des arbres traçantes à la base - sablo-limoneux - structure particulaire, moins "aérée" - plus compactée - porosité bonne - taches ferrugineuses ocre très peu consolidées, taille 3-4 mm, forme allongée à limites nettes - 5 % de nodules plus solides - quelques cailloux arrondis de quartz - limite inférieure régulière nette.
25 - 35 cm A3g	: Beige foncé à plages plus humifères et taches de rouille - texture identique - structure particulaire - quelques grains à peu près nus - plus compact mais meuble - porosité bonne mais moins que celle de l'horizon A12g - quelques graviers de quartz, racines fines à moyennes, subverticales, venant du niveau traçant supérieur - quelques racines traçantes - taches ocre à limites peu nettes, forme allongée (manchons) - taille de 5-6 cm, 10-20 %, non indurées - quelques concrétions - porosité bonne - limite subrégulière distincte.
35 - 45 cm g1	: Beige pâle, très décoloré à taches de rouille - sableux-limoneux, moins graveleux que précédemment - structure particulaire plus compacte que dans l'horizon A3g - porosité bonne à assez bonne - pas de cailloux - très peu de racines fines à très fines, verticales - taches de rouille plus vives qu'au-dessus, à l'intérieur un peu indurées, 20-25 %, forme subcirculaire, plus massives, 8-10 cm à limites nettes, nodules consolidés, noirs, cimentés, entourés d'une gangue brune, fine, moins consolidée - 15 mm ovales, moins de 5 % - limite inférieure régulière assez nette (2-3 cm), marquée par l'alignement des premiers gros nodules durs et noirs de l'horizon suivant;
45 - 56 cm g2m	: Horizon moins décoloré, gris beige à taches rouille et nodules noirs indurés abondants (presque "turf"), nodules non jointifs et ne formant pas une vraie cuirasse - sablo-limoneux - structure particulaire plus compacte - porosité moyenne à bonne, liée aux interstices et à des canalicules - quelques quartz et silex, les taches rouille ont des limites très nettes, couleur très vive, for-

	: mes variées, 20 mm, plus indurées, 30 % - les nodules noirs sont durs, friables, ovoïdes, pelliculaires, liserés, ocre vif, peu consolidés, très nets et réguliers, limite nette 0,5-3 cm, plus de 10 %, souvent liés aux graviers - limite inférieure tranchée un peu onduleuse avec des quartz et des silex.
56 - 68 cm II (B2)g	: Gris fer à taches rouille foncé, surtout en leur centre - sablo-argileux - structure massive à l'état humide avec amorce de fentes de retrait verticales suivant les faces grises - pas d'évidence de cutanes de grains ou de fissures - peu friable - adhésif - porosité faible - malléable à l'état humide - taches rouille de couleur vive, de forme très irrégulière, anastomosées à limites tranchées - les nodules noirs friables au centre suivant un réseau assez fin (50 %), pas de gros nodules noirs - pas de racines - quelques cailloux de quartz et de silex, surtout à la base - limite inférieure très nette, mécanique un peu onduleuse;
68 - 90 cm II (B3)g	: Gris fer - plus foncé que le précédent - à taches rouille moins abondantes (30 %) - sablo-argileux - quelques cailloux de quartz et silex - presque aussi massif et compact que le précédent - plus poreux - quelques nodules noirs de "turf", peu consolidés - la base devient très caillouteuse - pas d'évidence de stratification - pas de racines.

4.2. Sédimentologie.

4.2.1. Granulométrie.

L'analyse granulométrique nous confirme les observations faites sur le terrain; nous avons précisé l'existence de deux phases sédimentologiques "majeures", l'une à la base sablo-argileuse à argilo-sableuse recouverte par une autre sablo-limoneuse; le tout repose sur un substrat sablo-caillouteux.

Les critères sédimentologiques fondés sur la construction de courbes de fréquence relatives et cumulatives, en excluant les limons et l'argile, sont moins valables. Les premières correspondent bien à la famille sédimentaire de "Sables de Sologne" (pic de préférence maximal pour les sables moyens).

- P h a s e I : (0-56 cm). Sablo-limoneuse, avec un taux de sables de 58-66 % et une prédominance des sables moyens. Le pourcentage de limons grossiers varie entre 9 et 12 % et celui de limons fins de 13 à 16 %. Le taux d'argile est assez stable, se situant autour de 11 %; on observe également quelques rares graviers. Les rapports SF/SG varient entre 20/80 et 24/76.

- P h a s e II : (56-68 cm). Sablo-argileuse (argilo-sableuse). Le taux des sables est de 56 % avec une prédominance nette des sables moyens. Le taux des limons est plus faible (12 %) et les graviers sont légèrement plus abondants. Le rapport SF/SG du squelette sableux est de 29/71.

4.2.2. Morphoscopie des sables.

Pour la couverture de surface, l'action éolienne est très faible, comme dans tout le profil, nettement moins éolinique, le HP-18 proche. Dans ce sol, elle n'est plus nette qu'à partir de 25 cm.

Le taux des grains ronds ovoïdes-mats typiques est plus ou moins équilibré avec celui des grains éolisés (4-10 % pour les premiers et 8-14 % pour les seconds).

L'action éolienne se manifeste peu dans la fraction B (0,4-0,5 mm).

Le taux des grains subanguleux luisants (SL) est assez élevé dans tout le profil, variant de 38 à 54 % pour la fraction A et de 32 à 54 % pour la fraction B.

Les grains anguleux luisants (AL) sont assez importants pour la phase superficielle (22-38 %) pour la fraction A et de 36-48 % pour la fraction B; dans les phases profondes, le taux diminue en faveur des (EL).

Les grains émoussés luisants (EL) sont en général peu abondants, en profondeur ils dépassent à peine 20 %.

4.2.3. Taux des feldspaths.

Il est plus élevé pour les phases profondes (24-25 %) que pour la phase superficielle (14-20 %).

Tableau n° XXI

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-19 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Analyse Granulométrique %									Refus %
			Argile µ	Limon µ		Sables µ						
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	total	
19.1	A_{11}	0-10	10.72	16.42	9.75	4.75	7.25	24.75	20.50	3.65	60.90	tr.
19.2	A_{12} g	10-25	12.85	16.42	10.90	5.20	8.15	24.90	16.45	2.90	57.60	1.02
19.3	A_3 g	25-35	11.22	15.80	10.60	4.60	7.90	22.90	18.65	6.10	60.15	2.33
19.4	g_1	35-45	10.95	16.40	11.70	5.40	8.95	24.30	17.10	4.90	60.65	3.82
19.5	g_2m	45-56	10.82	13.40	8.60	4.75	9.10	26.00	19.60	6.15	65.60	2.49
19.6	II (B_2)g	56-68	28.32	7.75	4.38	4.66	11.40	25.40	10.62	3.76	55.84	6.69
19.7	II (B_3) g	68-90+	32.98	5.78	2.70	3.36	8.96	26.40	11.58	4.96	55.26	3.42

Tableau n° XXII

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-19 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Total	Sables % (total sables = 100 %)					SF/SG
				50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	
19.1	A_{11}	0-10	60.90	7.79	11.90	40.64	33.66	5.99	20/80
19.2	$A_{12}g$	10-25	57.60	9.02	13.91	43.22	28.55	5.03	23/77
19.3	A_3g	25-35	60.15	7.64	13.13	38.07	31.00	10.14	21/79
19.4	g_1	35-45	60.65	8.90	14.75	40.06	28.19	8.07	24/76
19.5	g_2m	45-56	65.60	7.24	13.87	39.63	29.87	9.37	21/79
19.6	II (B_2) g	56-68	55.84	8.34	20.41	45.48	19.01	6.73	29/71
19.7	(B_3) g	68-90+	55.26	6.08	16.21	47.77	20.95	8.97	22/78

FIGURE n° 15 .- PROFIL HP- 19.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

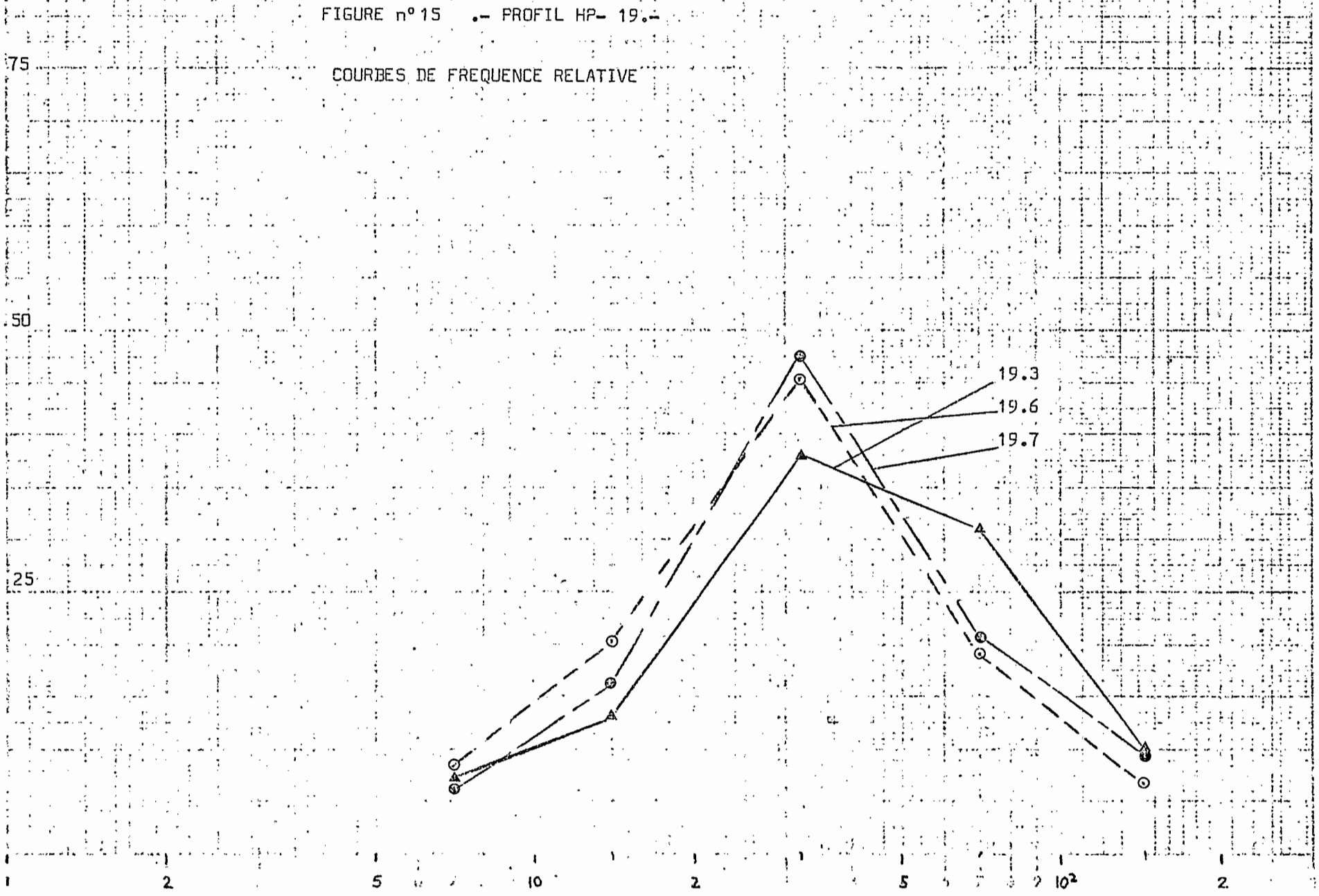
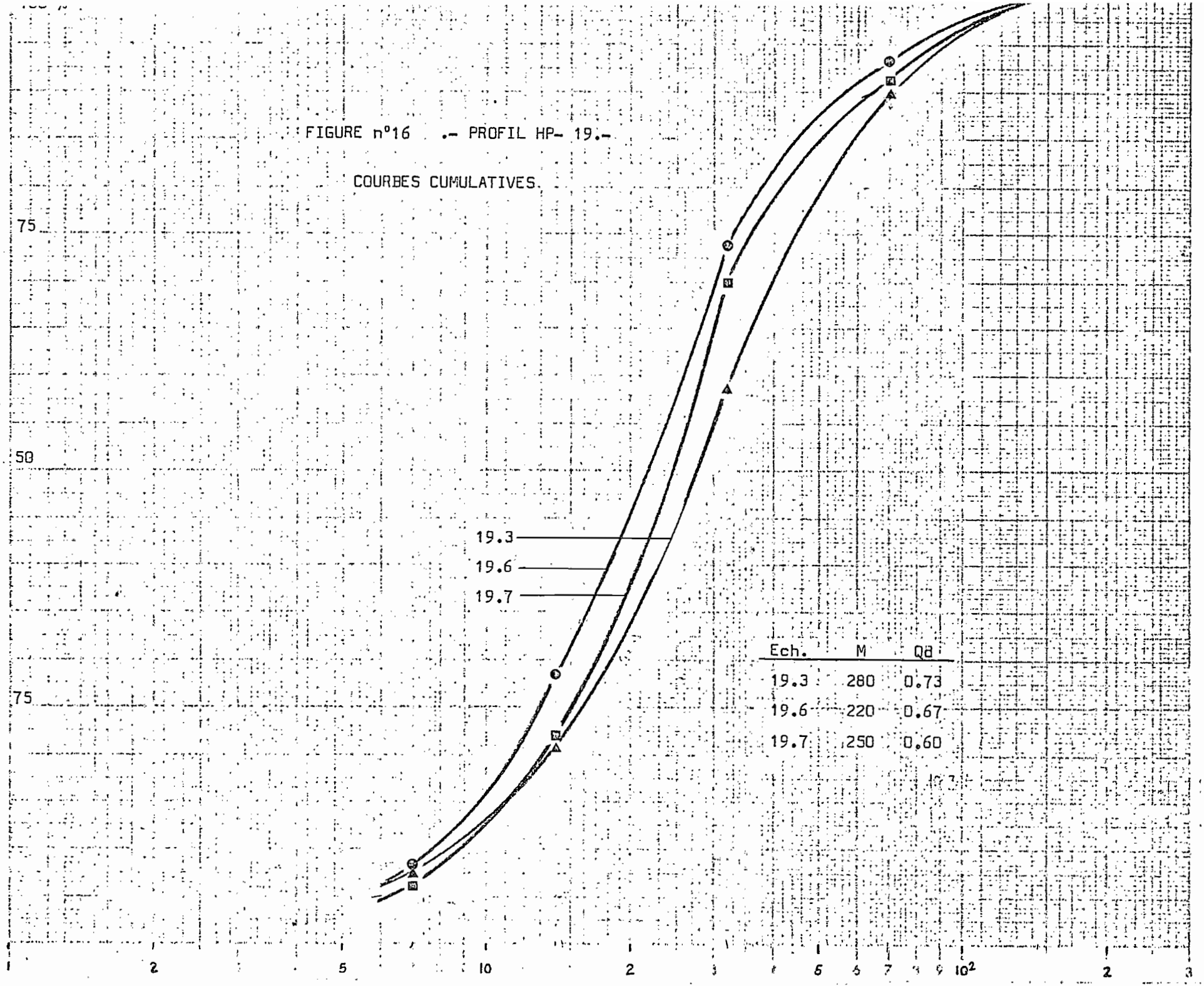


FIGURE n°16 .- PROFIL HP- 19.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd
19.3	280	0.73
19.6	220	0.67
19.7	250	0.60

Tableau n°XXIII MORPHOSCOPIE DES SABLES

Profil HP-19 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
19.1	A_{11}	0-10	80/20	38	42	6	-	2	-	4	-	8
				48	38	10	-	-	-	4	-	-
19.2	$A_{12}g$	10-25	86/14	26	46	16	2	-	-	6	-	4
				38	48	14	-	-	-	-	-	-
19.3	A_3g	25-35	84/16	22	54	6	-	6	2	2	-	8
				44	36	10	-	6	-	4	-	-
19.4	g_1	35-45	85/15	32	38	4	-	6	6	4	6	4
				36	54	4	-	4	-	-	-	2
19.5	g_2m	45-56	80/20	28	48	10	-	6	-	-	2	6
				40	44	10	-	6	-	-	-	-
19.6	II $(B_2)g$	56-68	76/24	18	38	22	-	4	-	4	-	14
				30	32	16	-	4	-	-	2	6
19.7	$(B_3)g$	68-90+	75/25	16	48	20	-	2	-	6	2	6
				28	54	16	-	2	-	-	-	-

4.2.4. Conclusions.

Ce profil qui correspond aux alluvions récentes du Cosson est beaucoup plus riche en limons et en argile que les sols observés jusqu'à présent. La richesse en argile des horizons ne paraît pas due à une action d'illuviation. Cet horizon correspond aux alluvions plus fines déposées par la rivière. Les conditions hydromorphes à la base et le milieu relativement confiné peuvent favoriser une certaine néoformation d'argile qui s'ajouterait à celle d'origine sédimentaire.

Le squelette sableux a une origine semblable aux Sables de Sologne.

4.3. Analyses chimiques.

4.3.1. pH.

Acide dans tout le profil, inférieur à 5, à l'exception de la base du profil où l'accumulation des bases favorise une remontée du pH (5,6);

4.3.2. Capacité d'échange (T).

La capacité d'échange est assez élevée dans les horizons de surface et dans les horizons II (B2) g, plus riches en argile;

4.3.3. Taux de saturation.

Il augmente en profondeur pour atteindre 90 % dans les horizons II (B2) g; malgré ceci, le pH reste très acide; en surface il est de l'ordre de 22 %.

4.3.4. Bases échangeables.

Dans les horizons de surface, c'est le cation hydrogène qui domine le complexe d'échange, le calcium est aussi relativement abondant; en profondeur, dans les niveaux plus argileux des horizons (B2) g, se produit une accumulation des bases, calcium en particulier, qui dominent le complexe d'échange.

4.3.5. Carbone total.

Diminution graduelle en profondeur, dans l'horizon A11; le contenu de carbone exprimé en matière organique est de 3 %;

4.3.6. Azote.

On note la même tendance que pour le carbone total. Le rapport C/N est assez bas dans tout le profil (12-13), ce qui révèle une matière organique assez évoluée de type hydromull acide.

4.3.7. Humus.

La fraction humifiée constitue une faible partie de la matière organique totale. Les acides fulviques prédominent dans tout le profil, mais on observe aussi une certaine quantité d'acides humiques indiquant une tendance des composés humiques à se polymériser. En profondeur, les acides fulviques augmentent par rapport aux acides humiques, mais la fraction humifiée est très faible.

4.3.8. Fer et Aluminium.

Nous avons effectué des analyses de fer et d'aluminium libres en surface pour déceler le cas échéant une action même faible de podzolisation. L'aluminium paraît assez stable dans le profil, malgré une quantité appréciable d'aluminium libre susceptible de migrer dans les horizons A.

Le fer dosé globalement ne paraît pas migrer dans les horizons A, à l'exception d'un déplacement à l'intérieur des horizons, ce qui provoque sa concentration en nodules ferrugineux. Le même phénomène se produit certainement et plus fortement dans les horizons à pseudo-gley, à en juger par la décoloration prononcée de ces horizons et l'abondance des taches ferrugineuses.

4.4. Minéralogie des Argiles.

En surface (horizon gl), nous retrouvons une séquence similaire à celle du profil HP-18. La kaolinite constitue le minéral argileux prédominant, puis vient la vermiculite, un peu d'illite et une possibilité de montmorillonite; on observe également une quantité non négligeable de quartz fin.

En profondeur (II (B2) g), la montmorillonite devient largement prédominante et bien cristallisée, ensuite vient la kaolinite et un peu d'illite; le quartz fin est peu abondant.

Les minéraux argileux que nous avons décelés, la présence de vermiculite et de quartz fin caractérisent la pod-

Tableau n°XXIV ANALYSES CHIMIQUES

Profil HP-19 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	Matières Organiques		Matières humiques ‰C		
			C‰	M.O.%	MHT	AH	AF
19.1	A_{11}	0-10	19.1	3.28	3.44	1.01	2.43
19.2	$A_{12}g$	10-25	15.6	2.68	2.52	0.63	1.89
19.3	A_3g	25-35	8.82	1.51	1.45	0.35	1.10
19.4	g_1	35-45	3.49	0.60	0.98	0	0.98
19.5	g_2m	45-56	1.66	0.28	0.45	0	0.45
19.6	II $(B_2)g$	56-68	1.83	0.31	0.36	0	0.36
19.7	$(B_3)g$	68-90+					

Tableau n° XXIV suite

Ech.	Horizons	Azote		Bases échangeables mé/100g				S	T	S/T%
		N ‰	C/N	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+			
19.1	A_{11}	1.47	13.0	1.34	0.37	0.11	0.04	1.86	8.30	22.
19.2	$A_{12}g$	1.23	12.7	1.27	0.44	0.07	0.05	1.83	7.20	25.
19.3	A_3g	.767	11.5	1.27	0.44	0.04	0.07	1.82	5.50	23.
19.4	g_1	.337	10.4	2.18	0.55	0.04	0.05	2.83	3.65	77.
19.5	g_2m	.193	8.6	2.18	0.71	0.06	0.08	3.03	4.25	71.
19.6	II (B_2) g	.200	9.2	10.14	3.51	0.27	0.23	14.15	15.7	90.
19.7	(B_3) g									

Tableau n° XXV

ANALYSES CHIMIQUES

Profil HP-19 "Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
19.1	A_{11}	0-10	4.6	3.8	1.44	0.140	1.00	0.38	0.220	0.36	0.63
19.2	$A_{12}g$	10-25	4.8	4.0	1.34	0.160	1.02	0.41	0.248	0.39	0.64
19.3	A_3g	25-35	4.9	4.0	0.97	0.144	1.02	0.42	0.208	0.34	0.69
19.4	g_1	35-45	5.0	4.0							
19.5	g_2m	45-56	4.9	4.0							
19.6	II (B_2) g	56-68	5.2	4.0							
19.7	(B_3) g	68-90+	5.6	4.3							

(1)- TAMM (2)- DEB (3)- DE ENDREDY (4)- (1)/(2) (5)- (1)/(3)

zolisation dans tous les sols observés. Cependant, nous n'avons pu mettre en évidence ce processus ni par les observations de terrain ni par les analyses chimiques. Il nous semble donc que les alluvions qui constituent la phase sédimentaire de surface ont déjà été soumis à une pédogenèse avant la mise en place du sédiment.

Interprétations et conclusions.

L'évolution pédologique de ce sol est liée à l'existence d'une nappe perchée temporaire, déterminée par l'existence d'une discontinuité lithologique et d'un niveau plus argileux, plus compact , à 56 cm de profondeur, qui ralentit l'évacuation verticale de l'eau. La nappe du Cosson se trouve elle-même à une profondeur de 1,20 - 1,50 m. Au niveau des horizons à pseudo-gley typiques, s'établit une certaine circulation latérale de l'eau qui contribue au blanchiement de l'horizon et à la redistribution du fer.

Le sol est un Pseudo-gley typique primaire car les caractères d'hydromorphie sont présents à partir de la surface et les caractères argilliques des horizons II (B2) g ne sont pas évidents.

Le caractère acide su sol et la production d'acides fulviques favorisent la réduction du fer et sa migration pendant la saison humide; en saison sèche se produit la précipitation sous forme de taches et de concrétions. Dans l'horizon g2m, on observe la formation de nodules noirs, durs, riches en Mn, provoquant une certaine compacité de l'horizon, sans aller cependant jusqu'au stade d'une induration générale de l'horizon.

Donc, en l'absence de caractères argilliques évidents, le seul processus pédogénétique en jeu est l'hydromorphie à caractère temporaire avec la formation d'un sol à pseudo-gley typique avec des horizons g1 et g2 décolérés à concrétions et"turf" sous Molinie.

5. PROFIL HP-20 - LE BOIS DU ROI.

Localisation : Carte La Ferté-Saint-Aubin à 1/25.000ème, x = 562,7; y = 301,6.

Végétation : des espèces hydrophiles diverses dont Phragmites communis, Iris pseudacorus, Lysimachia vulgaris, Carex riparia, etc ...

Géomorphologie : plaine alluviale moderne.

Altitude : 94-95 m au niveau des berges.

Matériau du sol: alluvions modernes du Cosson.

Drainage : mauvais, engorgement presque permanent.

Classification : sol hydromorphe à gley à hydromull acide (moyennement organique).

5.1. Description du profil.

0 - 15 cm A 11	: Brun jaunâtre foncé (10 YR 3/4) - hydromull acide - nettement humifère - limono-argileux - massif, aéré par des canaux biologiques - racines fines et moyennes abondantes, chevelues - plastique - peu adhésif - limite régulière distincte.
15 - 22 cm A 12g	: Horizon de transition - même couleur légèrement plus clair - assez humifère - moins de racines - même texture - massif - présente des manchons radiculaires rouille et des taches (1-5 %) - limite régulière et nette.
22 - 43 cm Go 1	: Brun grisâtre (10 YR 5/2) à taches - limono-argileux - massif à tendance polyédrique - plastique moyen - adhésif - peu poreux - peu de racines - taches petites irrégulières ocre qui ressemblent à des nodules, à bords nets et contrastés (20 % de l'horizon) - forte concentration du fer en taches - limite graduelle et régulière.
43 - 60 cm Go 2	: Gris verdâtre (5 GY 5/1) - taches peu abondantes et diffuses, peu concentrées - limono-argileux - massif à tendance polyédrique , structure plus grossière que pour l'horizon précédent - porosité faible - très plastique et adhésif - racines verticales plus ou moins décomposées - limite régulière distincte.

60 - 70 cm G	: Gris verdâtre plus foncé (5 GY 5/1) - sablo-argileux - très massif - très plastique et adhésif - peu poreux - nombreuses racines décomposées - saturé (plan d'eau non atteint).

5.2. Sédimentologie.

5.2.1. Granulométrie.

Sédiments fins argilo-limoneux dépourvus de graviers et de cailloux, assez homogènes pour tout le profil. Le taux des sables est très réduit (11-30 %), les sables grossiers pratiquement absents. Le taux d'argile varie entre 28 et 46 % et celui des limons fins de 18 à 31 % et de 10 à 15 % pour les limons grossiers. Le taux d'argile augmente en profondeur.

5.2.2. Morphoscopie des sables.

La proportion des sables grossiers et très grossiers sur lesquels porte l'analyse est si faible que nous n'avons pu faire les analyses morphoscopiques que sur quelques grains. Il semble qu'il y a une action éolienne qui pourrait être semblable à celle observée pour le profil HP-19.

5.2.3. Taux de feldspaths.

Même problème que pour l'analyse morphoscopique; le taux de feldspaths est voisin de 20 %.

5.2.4. Conclusions.

Le profil examiné correspond aux alluvions modernes du Cosson, les conditions de la mise en place ont été calmes, les sédiments sont bien triés.

5.3. Analyses chimiques.

5.3.1. pH.

Acide pour tout le profil, il augmente presque d'une unité à la base où il atteint 5,9, en relation avec une accumulation des bases;

5.3.2. Capacité d'échange (T).

Elle est assez élevée dans tout le profil, suivant la richesse en matière organique et en argile, elle varie entre 18 et 34 mé.

5.3.3. Taux de saturation.

Le taux de saturation se maintient au-dessus de 47 %, tout en augmentant vers la base, en particulier dans l'horizon à gley; malgré ceci, le pH reste assez acide.

5.3.4. Cations échangeables.

En surface, le calcium et l'hydrogène dominent dans le complexe d'échange, en moindre quantité suit le magnésium; en profondeur, les bases augmentent, en particulier le calcium;

5.3.5. Carbone total.

Assez élevé en surface avec un taux exprimé en matière organique de 13 % qui diminue graduellement en profondeur;

5.3.6. Azote.

Son comportement en profondeur est comparable à celui du carbone total. Le rapport C/N est de 13 en A1 et inférieur vers la base du profil; la matière organique est bien évoluée et assez bien humifiée, l'activité biologique reste assez poussée, elle est de type hydromull acide.

Interprétation et conclusions.

La pédogenèse affectant le sol est essentiellement liée à l'hydromorphie, le sol est un gley typique caractérisé par la présence de fer à l'état ferreux qui confère au sol une couleur gris verdâtre.

Dans le paysage, il est situé à côté du lit actuel dans des conditions d'humidité semi-permanentes.

Sur le plan chimique, les caractères sont les suivants :

Tableau n° XXVI ANALYSE GRANULOMETRIQUE Profil HP-20 "Le Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								
			Argile μ	Limon μ		Sables μ					Total
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	
20.1	A1	0-22	28.17	30.60	9.90	7.15	2.60	0.75	0.40	-	10.90
20.2	G01	22-43	39.82	19.45	11.15	4.85	3.20	4.50	2.30	0.75	15.60
20.3	G02	43-60	45.50	21.27	15.00	11.90	5.00	1.75	0.70	-	19.35
20.4	G	60-70+	35.02	12.25	13.45	8.30	7.60	9.85	4.05	0.60	30.40

Tableau n° XXVII MORPHOSCOPIE DES SABLES Profil HP-2 "Le Bois du Roi"

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	% EP	SM	EM	OM	RM
20.1	A1	0-22	79/21	16	50	18	2	8	-	-	-	6
20.2	G01	22-43										
20.3	G02	43-60										
	G			12	48	22	-	-	-	6	2	10
20.4*		60-70+	77/23	14	46	22	2	2	-	-	2	2

* Fraction de 800-2000 .

Tableau n° XXVIII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org.		Azote		Bases échangeables me/100g				S	T	S/T
			C‰	M.O.‰	N‰	C/N	Ca++	Mg++	K+	Na+			
20.1	A_1	0-22	75.9	13.1	5.80	13.1	13.4	1.71	0.75	0.27	16.1	34.0	47.
20.2	G_{01}	22-43	14.8	2.54	1.55	9.5	9.40	2.09	0.15	0.14	11.8	18.3	65.
20.3	G_{02}	43-60	10.5	1.80	1.15	9.1	10.7	2.31	0.19	0.17	13.4	21.8	62
20.4	G	60-70	6.7	1.15	0.69	9.8	12.16	2.82	0.20	0.17	15.3	15.3	

Tableau n° XXVII (suite)

Ech.	Horizons	Prof. cm.	H_2O	KCl
20.1	A_1	0-22	5.0	4.3
20.2	G_{01}	22-43	5.0	3.7
20.3	G_{02}	43-60	5.0	3.7
20.4	G	60-70	5.9	4.8

- Sol moyennement acide dans tout le profil;
- Enrichi en bases en profondeur;
- Moyennement organique, à rapport C/N peu élevé;
- Humification faible de la matière organique.

Sur le plan minéralogique, la montmorillonite est l'argile dominante, suivie de la kaolinite et finalement de l'illite.

Chapitre II

LES PROFILS DES MOYENNES TERRASSES

Les sols des moyennes terrasses s'étalent dans le paysage entre les niveaux de + 4 à + 10 m environ, occupant les versants nord et sud du Bassin du Cosson. Ils correspondent à de véritables terrasses ou simples lambeaux alluviaux.

Ces sols se caractérisent par des profils complexes, qui ont subi plusieurs phases de pédogenèse et des phases de dépôts intermédiaires.

La plupart des matériaux originels de la partie supérieure des sols correspondent aux "sables morts" ou "sables à lapin" de Sologne, c'est-à- dire aux sédiments qui ont été remaniés par le vent pendant le Quaternaire, en particulier aux horizons A, meubles, des sols lessivés en place et aisément érodés. Ceci explique que les matériaux soient déjà très appauvris, de nature siliceuse et pratiquement dépourvus d'argile et de limons. Ces sédiments servent de support aux sols actuels soumis en général à la podzolisation.

Les sols des moyennes terrasses semblent prendre place dans le schéma d'évolution suivant, déjà mis en évidence par AMERYCKX (1960), DE CONINCK (1964), RIGHI (1969), etc ...

. Lessivage et formation d'un horizon B textural en bandes, comme il est très fréquent dans les sols sableux;

. Dégradation des horizons Bt, phénomène qui se poursuit actuellement;

. Podzolisation en surface qui le plus souvent est compliquée par l'intervention de l'Homme.

La dernière phase de pédogenèse est dans tous les cas observée sur une formation superficielle récente.

A l'intérieur de cet ensemble de sols ayant subi des pédogenèses analogues s'observent des variations en fonction de l'intensité de la dégradation des horizons Bt et de la podzolisation en surface.

Les sols ayant subi des modifications dues à l'homme sont très répandus sur les moyennes terrasses qui,ne présentant pas de problèmes particuliers d'hydromorphie, ont été fréquemment cultivés. Comme exemple typique de ces sols, nous citerons les profils HP-1 et HP-6.

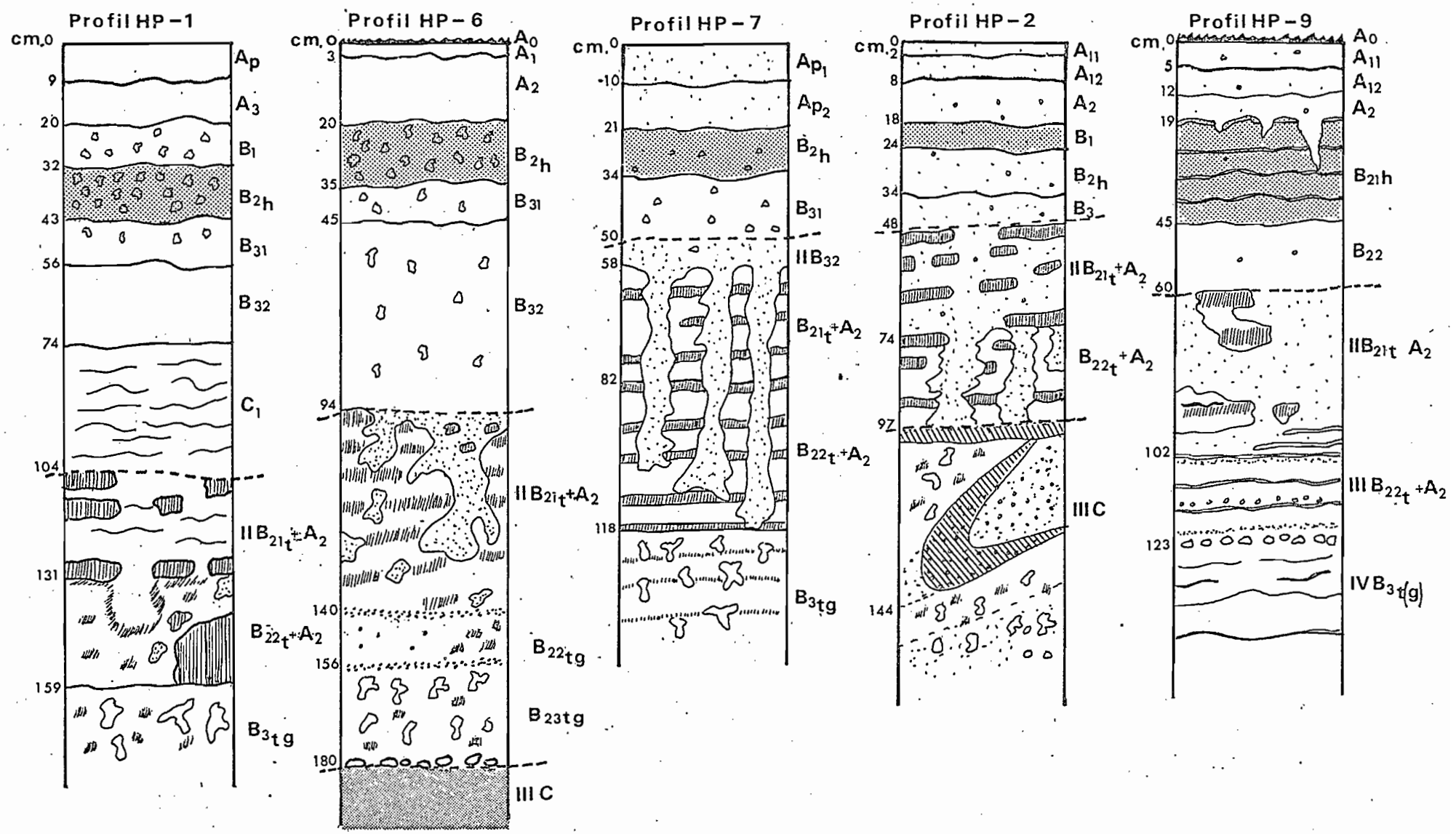
La végétation caractérisant les sols de moyennes terrasses est la forêt feuillie en état variable de dégradation, avec apparition de landes à Ericacées, qui ont envahi les sols un peu partout. On observe également des plantations de résineux assez limitées, des friches, etc ...

1. PROFIL HP-1 - LA SCIERIE.

Localisation	: Carte de la Ferté-Saint-Aubin 7-8 à 1/25.000ème, x = 585,2; y = 301,1.
Végétation	: Pinus sylvestris (Castanea vulgaris), Calluna vulgaris, Erica cinerea, Sarothamnus scoparius, etc ...
Géomorphologie	: Terrasse subhorizontale; position dans le paysage, versant sur le Cosson.
Altitude	: 126 m, + 5 m au-dessus du Cosson;
Matériau du sol	: Complexe, terrasse fluviatile sablo-argileuse recouverte par un matériau éolisé;
Drainage	: Bon;
Classification	: Sol podzolique anthropomorphe.

FIGURE n° 17.- SCHEMA

LES PROFILS DE MOYENNES TERRASSES



1.1. Description du profil.

0 - 9 cm Ap (A2 + A1)	: Horizon de surface plus ou moins remanié - gris foncé et brun jaunâtre clair (10 YR 4/1 - 10 YR 6/4) - sec , aspect très cendreux dans l'ensemble - sableux, à sable grossier - structure particulaire - très friable - nombreuses racines, chevelu au sommet - activité biologique importante - quelques taches ocre à la base, peu nettes et peu contrastées - limite graduelle régulière.
9 - 20 cm A 3	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) - 20 % de zones plus claires, peu contrastées - sableux, à sable grossier - structure particulaire - friable - quelques grosses et moyennes racines à la base, à tendance horizontale - limite nette et régulière par consistance et couleur.
20 - 32 cm B 1	: Hétérogène, brun foncé et brun (7,5 YR 4/4 - 10 YR 5/4), à taches contrastées et nettes, certaines taches sont auréolées d'un fin liseré plus foncé - structure particulaire - friable, mais plus consistant que l'horizon précédent - racines moyennes peu nombreuses - limite distincte et irrégulière.
32 - 43 cm B2h	: Hétérogène, brun rougeâtre et brun foncé (5 YR 4/4 - 7,5 YR 4/4), les taches plus claires présentent des lisérés plus fins aux bords, très contrastées et très nettes - sableux, à sable grossier - consistant par rapport à l'horizon précédent - limite inférieure distincte et irrégulière;
43 - 56 cm B 31	: Brun foncé (7,5 YR 4/4) - sableux, à sable grossier - très peu de graviers - quelques taches, à limite peu nette et contrastée, très irrégulières - quelques racines fines dans la masse - structure particulaire - friable - limite inférieure graduelle et régulière.
56 - 74 cm B 32	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) - sableux, à sable grossier très homogène - très friable - structure particulaire - très peu de graviers - racines fines rares - limite inférieure distincte et régulière.

74 - 104 cm C 1	: Brun rougeâtre clair (2,5 Y 6/4) - sableux à sable grossier - structure particulaire - très friable - présentant quelques bandes sub-horizontales très fines irrégulières, de 1 à 3 mm, brun foncé, qui apparemment ont le même squelette que les bandes, faiblement plus consistantes et qui, au total, représentent moins de 15 % de l'horizon - limite inférieure nette et irrégulière.
104 - 131 cm II B21t + A2	: Horizon B morcelé - brun foncé (7,5 YR 4/4) - sablo-limoneux - assez compact à induré (fragipan) - les plages de dégradation dominent, constituant 80 % de l'horizon, couleur brun pâle (10 YR 6/3), meuble et présentant quelques bandes discontinues très fines et irrégulières plus foncées. Les plages Bt ont une certaine apparence de bandes discontinues qui peuvent atteindre 6 cm d'épaisseur à la base, ces bandes ont de petites concrétions noirâtres - limite tranchée et régulière.
131 - 159 cm II B22t + A2	: Brun vif (7,5 YR 5/6) dominant avec une poche de couleur brun très pâle (10 YR 7/3) entourée d'un liseré rouge jaunâtre (5 YR 5/8), occupant 15 - 20 % de l'horizon - sablo-argileux - assez compact - dans la poche de dégradation, sableux et meuble - taches d'hydromorphie peu nombreuses mais assez contrastées et nettes - limite inférieure distincte et régulière.
159 - 170 cm II B3tg	: Brun vif (7,5 YR 5/8) prédominant - horizon bariolé, taches d'hydromorphie abondantes grisâtres entourées d'un fin liseré d'accumulation ferrugineuse ocre 15-20 % - assez compacte - quelques taches dégradées brun pâle (10 YR 6/3) - plages plus sableuses ou plus argileuses.

1.2. Micromorphologie.

<u>Squelette</u>. Les composants du squelette sont constitués par des sables moyens et grossiers soufflés dans tout le profil. Les limons se trouvent en très faible proportion et augmentent légèrement en profondeur. Le squelette fin semble migrer aussi bien que les argiles, s'accumulant dans les bandes des horizons Bt morcelés sous la forme de squeletanes enrobant les grains plus grossiers du squelette.

La nature minéralogique est assez régulière pour l'ensemble du profil, le quartz domine largement les feldspaths dans les fractions grossières. Dans les fractions fines, on observe aussi des micas.

Plasma. La couleur est plus foncée, due à la matière organique et au fer dans les horizons de surface, pour diminuer considérablement à partir du B31. Dans l'ensemble, le sol est très pauvre en plasma qui se limite aux produits de la désagrégation des boulettes fécales pour les horizons de surface et à une faible quantité d'argile et de fer diffus dans les horizons B2t. La distribution relative est de type granulaire pour le sol actuel, intertextique par plages dans les horizons B1 et B2h. En profondeur, c'est plus complexe. Les zones dégradées glossiques présentent la même distribution relative de type granulaire de surface. Elles sont presque complètement dépourvues de plasma, lavées. Les bandes et les parties intactes des horizons Bt sont de type intertextique, parfois agglomèro-plasmiques; le plasma forme des ponts plasmiques entre les grains du squelette; dans certains cas, ils arrivent à remplir les espaces intergranulaires. L'horizon B21t présente un aspect très particulier : les gros grains du squelette sont enrobés par une phase composée de grains plus fins et répartis dans la masse, avec une faible quantité d'argile. L'apparence devient porphyrique.

Assemblage plasmique. Il est asépique dans l'ensemble pour les horizons du sol actuel et complexe en profondeur dans les horizons B2t dégradés. Dans les parties dégradées, les plages lavées asépiques prédominent largement. Parfois, on observe du plasma résiduel sous la forme de petits domaines bi-réfringents isolés dans la masse, ou associés aux vides, donnant des plages à assemblage plasmique vo-insepique. Dans les bandes d'accumulation d'argile, c'est l'assemblage squelsépique qui domine. Dans les parties plus compactes et mieux conservées, on observe un faible développement d'un assemblage vo-skelsépique.

Structure de base. Il n'existe pas d'équilibre entre le plasma et le squelette tout au long du profil. Nous avons déjà observé que pour le sol de surface, le plasma est presque absent alors que pour les horizons profonds B2t, le plasma s'accumule dans les bandes. Par contre, les plages dégradées et glossiques en sont pratiquement dépourvues.

Matière organique. La matière organique se présente essentiellement sous la forme de boulettes fécales plus ou moins désintégrées, formant des sortes de petits agrégats où la matière organique est intimement liée aux éléments fins du squelette. La couleur est brunâtre foncé à faible grossissement et brun jaunâtre sale à fort grossissement, d'aspect floconneux. Ces éléments se plaquent contre les grains du squelette et forment des ponts et parfois même remplissent les espaces intergranulaires. Il est bien

possible qu'une partie de ces agrégats correspond à des agrotubules. Certaines de ces boulettes fécales conservent assez bien leur forme originelle, mais les bords deviennent peu nets; souvent, elles présentent une distribution groupée. La matière organique, sous la forme de pellicules amorphes continues, est rare. A faible grossissement, on observe des revêtements qui ressemblent aux revêtements classiques de matière organique amorphe, mais à fort grossissement l'aspect est semblable aux produits de la désintégration des boulettes fécales décrits plus haut.

Vides. Les vides correspondent dans l'ensemble du profil aux vides d'entassement simples, les parties compactes des horizons B2t présentent des fentes et des vides normaux peu développés.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. La présence de cutanes d'illuviation a été constatée dans les horizons B2t du paléosol. Ils se présentent sous des formes diverses :

- des argilanes jaunes associés aux vides normaux ou aux grains du squelette;

- des ferri-argilanes jaune orangé, parfois assez rougeâtres, lités, caractère qui signale bien les dépôts successifs et l'origine pédogénétique des cutanes; ils sont très abondants dans l'horizon II B22t.

- des argilanes jaune pâle cireux d'illuviation secondaire, présents à la base de l'horizon II B21t et dans le II B22t en voie de dégradation.

- Cutanes complexes combinant les types précédents.

L'orientation est en général forte.

Structure primaire. A l'observation micromorphologique, tout le profil se révèle apédique.

Interprétation

Le profil se développe sur deux matériaux différents, une formation ancienne sableuse qui a subi une première phase de pédogenèse aboutissant à la formation des horizons B2t en bandes et qui est plus homogène vers la base. Ce matériau est recouvert par un apport sableux éolisé qui constitue le support du sol actuel.

La phase de lessivage ancienne est caractérisée par des ferri-argilanes assez épais et lités à la base du profil.

Les phénomènes les plus importants dans ce profil que cette étude micromorphologique nous permet de préciser sont les suivants :

. L'évolution de la matière organique dans le sol actuel liée à la podzolisation;

. La dégradation des horizons B2t à la base du profil;

. Le lessivage d'argile et éventuellement du squelette fin.

Evolution de la matière organique.

L'évolution de la matière organique semble suivre celle qu'a observée RIGHI dans les profils humides des podzols de Rambouillet (RIGHI, 1969 et communication personnelle). La matière organique qui arrive à la surface du sol est reprise par la faune. Les boulettes fécales produites sont ensuite fragmentées. La matière organique serait ainsi mélangée plus ou moins intimement avec le squelette fin.

La transformation de la matière organique en humus amorphe sous la forme de pellicules continues typiques, comme celles observées par RIGHI dans les podzols secs de Rambouillet n'est pas observable. Nous pouvons penser à un stade d'évolution moins poussé de la matière organique ou bien à une réactivation biologique des horizons de surface par action anthropique; la présence de quelques cutanes composés à la base du profil appuierait cette hypothèse.

Dégradation des horizons B2t.

La dégradation des horizons II Bt se traduit par une migration latérale et en profondeur non seulement du fer, mais aussi de l'aluminium qui s'accumulent dans les parties résiduelles et les nodules des horizons B2t. Elle est caractérisée aussi par l'illuviation secondaire de l'argile qui se produit par remise en mouvement d'une partie des argiles préalablement déferrifiées, qui donnent des argilanes d'une couleur jaune pâle cireux fortement biréfringents liés aux vides normaux (FEDOROFF, 1968).

Lessivage de l'argile et du squelette fin.

La nature sableuse grossière du matériau semble favo-

riser une migration non seulement de l'argile mais aussi des éléments fins du squelette qui s'arrêtent dans les zones plus compactes des bandes de l'horizon II B21t. Il s'agit de savoir si c'est un phénomène actuel ou non, et si les variétés observées des teneurs en éléments fins du squelette sont dues à une migration ou à une fragmentation sur place de grains plus grossiers lors de la dégradation des bandes argilliques. Il nous semble finalement qu'il existe une migration limitée d'éléments assez fins autres que l'argile et appartenant au squelette. Ceci se reflète en particulier par l'existence de cutanes composés dans l'horizon B22t avec la succession : ferri-argilanes - dépôts grossiers - argilanes très minces - vide et par les variations des rapports SF./SG et aussi une fragmentation sur place par dégradation. L'existence d'argilanes autres que les argilanes et ferri-argilanes épais entourant les grains permet d'envisager une deuxième phase de lessivage qui caractérise les argilanes très minces suivant les dépôts grossiers.

1.3. Sédimentologie.

1.3.1. Granulométrie.

L'analyse granulométrique nous permet de séparer deux phases sédimentaires majeures que nous avons d'ailleurs observées dans tous les sols de moyenne terrasse et qui ont par conséquent une signification régionale. A l'intérieur de chacune, nous avons distingué un certain nombre de discontinuités "mineures" qui ont une valeur plutôt locale. Malgré celà, le profil est assez homogène dans l'ensemble, les deux phases présentant de nombreux caractères communs.

- P h a s e I : (0-104 cm). Le matériau est assez homogène, caractérisé par un pourcentage très élevé de sables moyens (42-50 %) et un total de sables supérieur à 89 %; le taux des limons fins et grossiers est inférieur à 6 % et celui de l'argile encore plus faible (moins de 4 %).

  a. (0- 43 cm). Le rapport sable fin/sable grossier varie entre 16/84 et 17/83;

  b. (43- 56 cm). Le rapport SF/SG diminue à 9/91 par enrichissement en sable grossier (0,5-2 mm);

  c. (56-104 cm). Le rapport SF/SG est de 17/83.

- P h a s e II : (104-170 cm). Il constitue la phase profonde du sédiment et le substrat du sol actuel. Son interprétation est plus délicate, parce que

: les processus pédogénétiques ont abouti à un enrichissement en argile, et, d'une façon plus limitée, en éléments fins du squelette. Le matériau est sablo-argileux; le taux de sables ne dépasse pas 80 %; les limons et l'argile sont plus importantes que dans le matériau supérieur, leur somme pouvant atteindre 30 %. Les sables fins augmentent par rapport aux sables moyens, qui constituent moins de 40 %.

a. (104-131 cm). Les constituants du squelette ont été plus ou moins modifiés à la suite de tassement, et de redistributions dus aux phénomènes pédologiques. Les parties résiduelles de l'horizon II B2t morcelé semblent enrichies en limons provenant des horizons supérieurs; le taux de limon atteint 20 % et d'argile 5 %; le squelette sableux maintient un rapport SF/SG de 23/77, les parties dégradées, par contre, deviennent plus grossières, avec un rapport SF/SG de 15/85;

b. (131-159 cm). Le matériau est plus argileux que les précédents; le rapport SF/SG est de 16/84;

c. (159- cm). On retrouve les mêmes caractères généraux; le rapport SF/SG est de 23/77.

Les courbes de fréquence relative présentent des caractères communs : une fréquence maximale pour la fraction sable moyen, supérieure à 50 % pour les courbes (1.1), 1.10) et (1.12) et inférieure à 50 % pour les courbes (1.6) et (1.9), qui montrent par contre une remontée en faveur des sables grossiers (0.5-1 mm).

Les courbes cumulatives peuvent se diviser en deux groupes : l'un représenté par la courbe (1.12) qui est plus redressée (Qdφ de 0.48) et l'autre par les courbes (1.1), (1.6), (1.9) et (1.10) moins redressées (Qdφ entre 0.60 et 0.66) et des médianes entre 215-300 microns).

Les deux types de courbes présentent peu de sensibilité pour la séparation des phases sédimentaires, ceci est surtout dû à l'étroite parenté entre les deux phases.

1.3.2. Morphoscopie des sables.

La morphoscopie des sables ne permet pas une séparation des phases sédimentaires. Nous constatons :

. Une contamination éolienne généralisée pour tout le profil;

. Cette contamination est légèrement plus importante à la base (1.12), et traduite par la forme de la courbe cumulative;

. L'action éolienne se manifeste par un pourcentage des grains ronds-mats-typiques très faible, inférieur à 6 %;

. Les grains légèrement éolisés sont plus abondants que les grains ronds-mats (18 % à la base);

. La catégorie des grains éolisés la plus importante correspond aux émoussés picotés (EP);

. L'action éolienne se manifeste à peine dans la fraction comprise entre 0.4 et 0.5 mm;

. L'usure fluviatile est dominante, avec une intensité moyenne, exprimée par un taux élevé de grains subanguleux luisants (SL); le taux varie entre 33-66 % pour la fraction A et entre 28-64 % pour B;

. Les grains anguleux luisants (AL), ou non usés, ont un taux très élevé dans les grains de la fraction B (18-54 %);

. Les grains EL sont peu importants par rapport aux grains (AL) et (SL) (8-20 % pour A et 4-18 % pour B).

1.3.3. Taux de feldspaths.

Le taux de feldspaths semble plus élevé pour la phase II, avec une moyenne de 19 % et un taux maximal de 24 %, que pour la phase I où le taux de feldspaths ne dépasse pas 15 % et la moyenne est d'environ 11 %. Ceci n'indique pas nécessairement que le taux soit plus élevé en profondeur à l'origine, car les conditions géochimiques sont même actuellement plus agressives vis-à-vis des silicates en surface qu'en profondeur.

1.3.4. Conclusions.

. Deux phases sédimentaires ont été déterminées sur le terrain et précisées avec les données de la granulométrie;

. Les courbes de fréquence relative et cumulative montrent une parenté étroite entre les deux phases, mais l'examen du rapport SF/SG permet de les séparer;

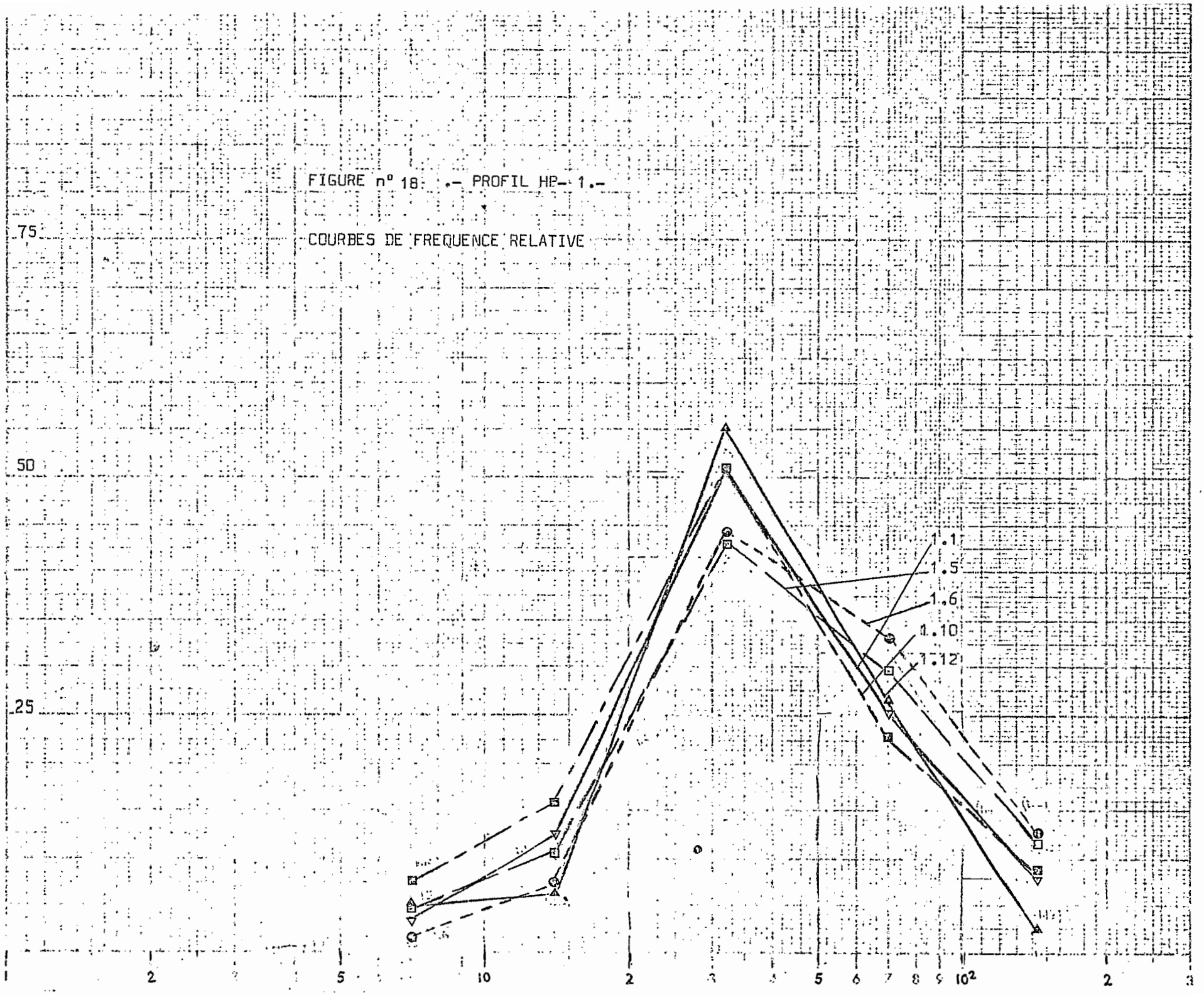
. La contamination éolienne est généralisée, aussi l'étude morphoscopique des sables ne permet-elle pas de préciser la séparation entre les deux matériaux.

Tableau n° XXIX Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
11	Ap (A_1)	0 - 9	1.45	1.16	1.78	3.40	11.44	46.82	23.42	7.48	92.56	1.68	16/84
12	Ap (A_2)		0.79	1.36	1.64	3.08	11.78	49.88	22.92	7.54	95.09	5.69	16/84
13	A_3	9-20	2.21	0.30	1.44	3.60	13.06	50.54	22.82	5.18	95.20	4.22	17/83
14	B_1	20-32	2.40	3.56	2.56	4.02	11.52	46.26	22.10	6.56	90.46	2.69	17/83
15	B_{2h}	32-43	3.62	3.55	2.56	3.64	11.30	44.24	21.86	7.50	88.54	4.45	17/83
16	B_{31}	43-56	1.64	2.80	1.24	1.64	6.80	41.86	31.74	12.24	94.28	0.81	9/91
17	B_{32}	56-74	0.53	2.67	—	3.00	13.24	46.22	28.82	2.10	93.38	7.16	17/83
18	C_1	74-104	0.70	1.99	1.30	2.26	7.98	44.90	29.80	10.54	95.48	0.55	11/89
19	II $B_{21}t + A_2$ glosses	104-131	1.16	5.47	5.34	3.96	9.58	37.94	25.84	10.22	87.54	2.60	15/85
1.10	II $B_{21}t + A_2$ bandes	125	4.52	12.29	7.88	5.56	11.78	37.96	13.28	6.40	74.98	1.38	23/77
1.11	II $B_{22}t + A_2$ glosses	131-159	2.49	9.11	8.04	5.66	12.22	40.18	16.96	4.86	79.88	7.98	22/78
1.12	II $B_{22}t + A_2$ plages argileuses	131-159	14.94	5.79	6.30	3.26	7.84	39.10	18.70	1.80	70.70	0.10	16/84
1.13	II B_3tg	159-170+	14.31	5.71	4.74	5.52	11.26	31.58	23.04	1.46	72.86	0.10	23/77

FIGURE n° 18 .- PROFIL HP- 1.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE



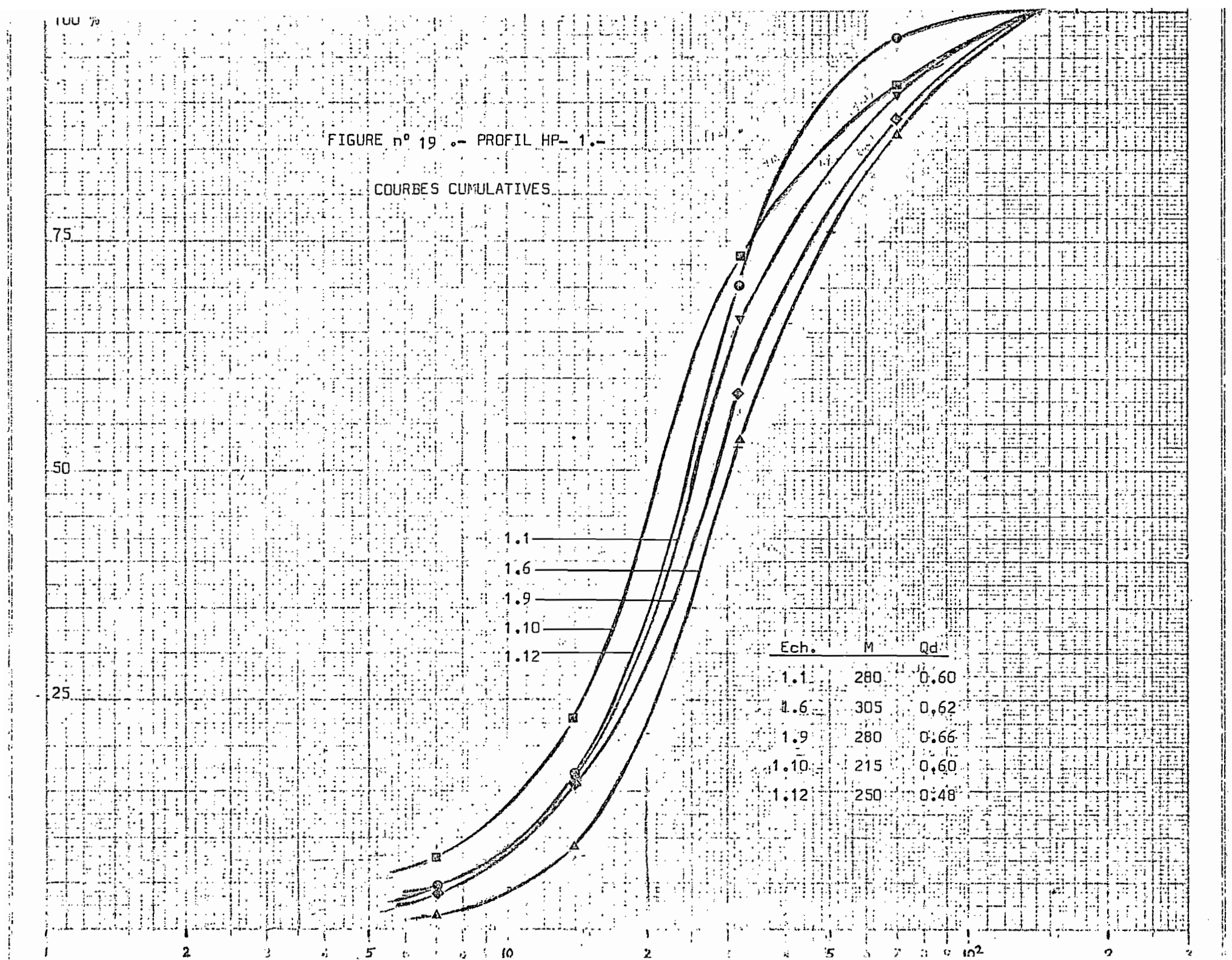


FIGURE n° 19 .- PROFIL HP- 1.-
COURBES CUMULATIVES
100 %
75
50
25
1.1
1.6
1.9
1.10
1.12
Ech. M Qd
1.1 280 0.60
1.6 305 0,62
1.9 280 0.66
1.10 215 0,60
1.12 250 0.48
1
2
5
10
2
5
10²
2

Tableau n° XXX Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
				27	42	16	-	9	-	1	1	1
1.1	Ap (A1)	0-9	85/15	54	28	4	-	12	-	-	-	2
				20	50	19	-	3	-	3	1	4
1.2	Ap (A2)		87/13	28	50	10	-	12	-	-	-	-
				15	51	17	2	9	1	5	-	-
1.3	A3	9-20	90/10	54	38	6	-	2	-	-	-	-
				18	50	20	-	10	-	-	-	2
1.4	B1	20-32	89/11	48	44	4	-	4	-	-	-	-
				38	36	16	-	8	-	-	-	2
1.5	B2h	32-43	91/9	34	50	4	-	8	-	-	2	2
				8	64	18	2	6	-	-	-	2
1.6	B31	43-56	88/12	34	56	8	-	2	-	-	-	-
				10	66	16	-	6	-	-	-	2
1.7	B32	56-74	89/11	32	58	6	-	4	-	-	-	-
				18	53	13	3	7	2	4	-	-
1.8	C1	74-104	89/11	26	58	8	-	6	-	-	-	2
				26	56	12	-	10	-	-	-	-
1.9	glosses	104-131	82/18	34	56	6	-	4	-	-	-	-
	II B21+A2			20	52	20	-	8	-	-	-	-
1.10	bandes	125	84/16	26	50	14	-	6	-	-	4	-
				20	66	8	-	-	-	-	-	6
1.11	glosses	131-159+	82/18	24	64	6	-	6	-	-	-	2
	II B22t+A2			12	48	16	-	12	2	4	-	6
1.12	plages arg.	"	76/24	18	50	18	-	8	-	6	-	-

1.4. Analyses chimiques.

1.4.1. pH.

Les pH sont acides avec une différence faible entre les pH H2O et KCl. Dans les horizons A, il varie entre 4.4 et 5.3 et dans les horizons B du sol actuel entre 4.9 et 5.7. Dans les horizons II B21t du paléosol, il est très variable avec des changements brusques, les parties dégradées ont tendance à une élévation du pH par rapport aux bandes, et nous avons même obtenu à 131-159 cm une valeur de 7,2 pour les 2 pH, ce qui est anormal.

1.4.2. Capacité d'échange (T).

Elle est très faible pour tout le profil, avec moins de 4 mé. Les valeurs les plus élevées se situent dans les horizons A1, B1 et B2h;

1.4.3. Taux de saturation.

Il est d'environ 30 % pour les horizons de surface, diminue dans les horizons B31 et B32 pour atteindre ensuite plus de 50 % en profondeur;

1.4.4. Bases échangeables.

Les bases n'ont pas été complètement éliminées du sol actuel. On observe un enrichissement en calcium, en surface, probablement par la remontée biologique; en surface, l'hydrogène et le calcium dominent le complexe, à l'exception des horizons B1 et B2h où l'aluminium domine.

1.4.5. Carbone total.

Il diminue progressivement en profondeur, avec une légère remontée dans l'horizon B2h. Dans l'horizon A2, cependant, le taux de matière organique est plus élevé que dans le B2h; cette répartition non typique nous semble liée à l'action de l'Homme;

1.4.6. Azote.

L'azote diminue en profondeur, mais par rapport au carbone il le fait moins vite; le C/N est à peine supérieur à 20 dans le A1 et diminue dans les autres horizons. Il descend en-dessous de 10 dans les horizons B.

1.4.7. Humus.

La distribution de l'humus ne suit pas le même comportement que celui de la matière organique totale. Dans l'horizon Ap, la matière organique totale est largement dominante par rapport à la matière organique humifiée; dans les horizons A3, B1 et B2h du sol actuel, la fraction humifiée devient par contre très importante et constitue le tiers de la matière organique totale. Dans l'horizon B31, elle constitue la moitié, pour augmenter encore dans le B32.

Les acides fulviques dominent les acides humiques dans tous les horizons. Leur proportion est du double pour les horizons Ap, B1 et B31, plus du double pour les horizons A3 et B32, presque du triple pour le B2h. Ces résultats nous indiquent une faible polymérisation des composés humiques; la migration en profondeur de la matière organique au-delà du B2h est assurée presque exclusivement sous la forme d'acides fulviques.

1.4.8. Fer et Aluminium.

. Les taux les plus élevés d'aluminium libre se situent dans les horizons B1, dans les bandes des horizons Bt et à la base du profil;

. Le fer libre s'accumule dans les horizons B1 et B2h du sol actuel et dans les bandes de l'horizon II B21t et II B22t du paléosol;

. Le fer total a son maximum dans le B2h du sol actuel;

. L'aluminium échangeable varie plus fortement que l'aluminium libre tout au long du profil; les taux les plus élevés se situent dans le A3, le B1, les bandes de l'horizon B21t dégradé et l'horizon B22t du paléosol.

La dynamique des éléments dans le profil a été influencée par une phase anthropique. L'augmentation du pH au niveau de l'horizon B1 favorise la précipitation de l'aluminium migrant en profondeur sous la forme de complexes avec la matière organique.

L'accumulation de l'aluminium en profondeur a deux origines : l'une correspondant à l'aluminium libéré par dégradation des bandes argilliques et l'autre à l'aluminium provenant d'une première phase de podzolisation antérieure à l'intervention de l'Homme et qui a été plus poussée que la pédogenèse actuelle.

Tableau n° XXXI Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques ‰C MHT	Mat. humiques ‰C AH	Mat. humiques ‰C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
1.1	Ap (A1)	0-9	8.51	1.46	1.76	0.62	1.14	0.413	20.6	0.61	(0.97)	0.12	0.01	1.71	3.75	46.
1.2	Ap (A2)		2.22	0.38	0.49	0.13	0.36	0.130	17.1	0.30	0.16	0.05	0.01*	0.52	1.75	30.
1.3	A3	9-20	1.44	0.24	0.52	0.14	0.38	0.113	12.7	0.30	0.05	0.05	0.01*	0.41	1.50	27.
1.4	B1	20-32	1.37	0.23	0.53	0.18	0.35	0.143	9.5	0.46	0.05	0.06	0.01*	0.58	2.00	29.
1.5	B2h	32-43	1.55	0.26	0.54	0.13	0.41	0.173	8.9	0.61	0.05	0.05	0.01*	0.72	2.50	29.
1.6	B31	43-56	0.89	0.15	0.48	0.14	0.34	0.123	7.2	0.05	0.15	0.04	0.01*	0.25	1.50	17.
1.7	B32	56-74	0.38	0.1*	0.26	0.07	0.19	0.043	8.8	0.05	0.09	0.03	0.01*	0.18	1.10	16.
1.8	C1	74-104	0.24	0.1*	0.01*	0	0.01*	0.020		(0.46)	(0.30)	0.02	0.01*	0.79	1.00	(79.)
1.9	II B21t + A2 glosses	104-131	0.39	0.1*	0.01*	0	0.01*	0.017		(0.76)	0.05	0.04	0.01*	0.86	1.20	(72.)
1.10	II B21t + A2 bandes	125	0.51	0.1*	0.01*	0	0.01*	0.047								

* traces

Tableau n° XXXII b Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/ Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/ Fe_2O_3 (5)
1.1	Ap (A1)	0 - 9	4.4	3.9	0.38	0.13	0.12	0.08	0.10	1.62	1.30
1.2	Ap (A2)		5.3	4.7	0.25	0.03	0.15	0.09	0.13	0.33	0.23
1.3	A3	9-20	4.6	4.4	0.49	0.03	0.15	0.09	0.10	0.33	0.30
1.4	B1	20-32	5.1	4.7	0.41	0.30	0.25	0.16	0.20	1.87	1.50
1.5	B2h	32-43	5.7	5.2	0.09	0.13	0.29	0.20	0.20	0.65	0.65
1.6	B31	43-56	4.9	4.7	0.24	0.13	0.19	0.12	0.13	1.08	1.00
1.7	B32	56-74	5.0	4.8	0.22	0.05	0.16	0.09	0.10	0.55	0.50
1.8	C1	74-104	6.0	5.5	0.09	0.08	0.16	0.09	0.05	0.88	1.60
1.9	II B21t+A2 glosses	104-131	5.8	5.7	0.15	0.08	0.33	0.17	0.13	0.47	0.61
1.10	II B21t+A2 bandes	125	(5.0)	(5.2)	1.03	0.10	0.68	0.33	0.13	0.30	0.76
1.11	II B22tg glosses	131-159	(7.2)	(7.2)	0.06	0.05		0.24	0.15	0.20	0.33
1.12	II B22tg plages arg.	131-159	4.4	4.1	5.77	1.35		0.76	0.63	1.77	2.14
1.13	II B3tg	159+	4.5	4.0							

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

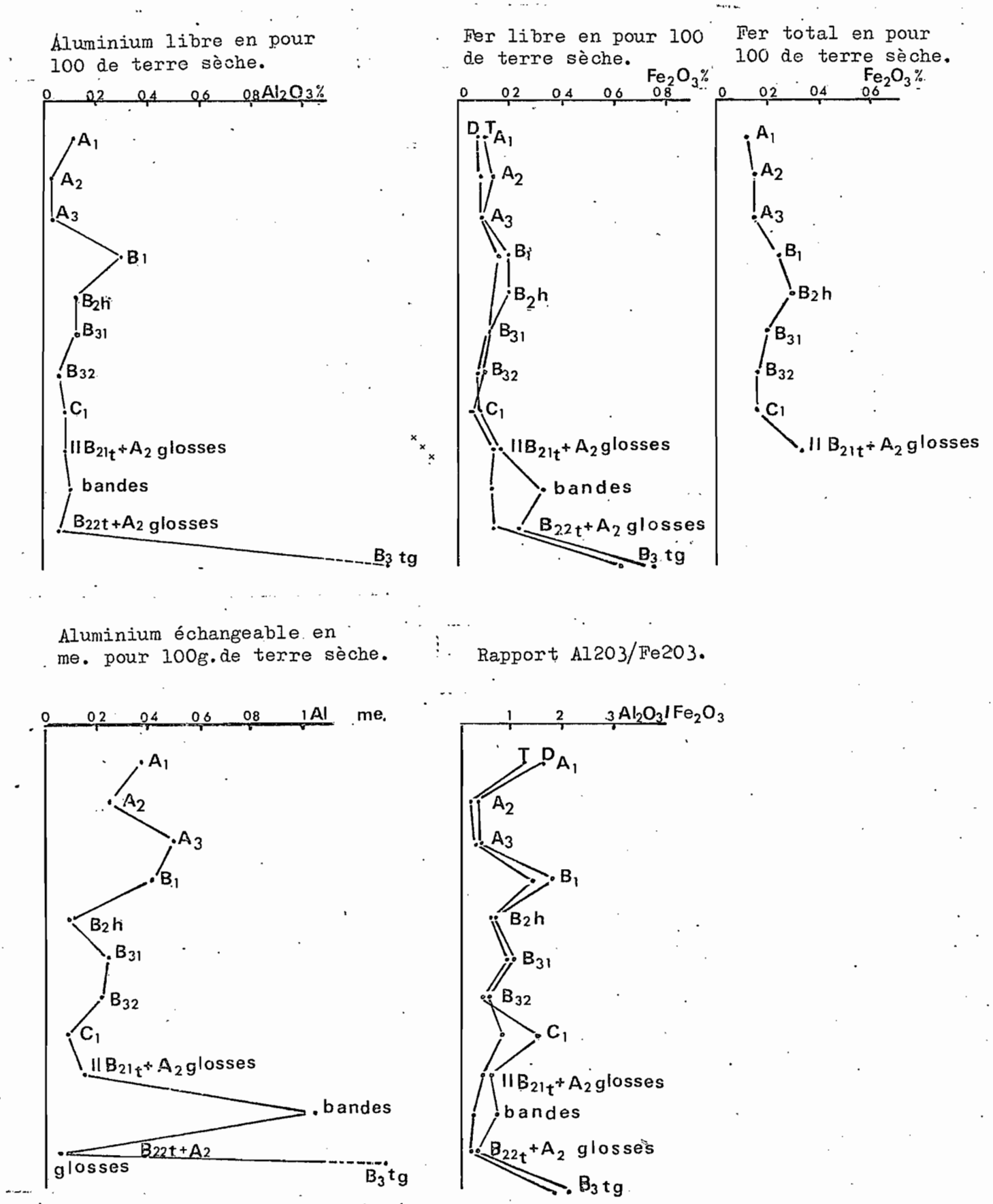


FIGURE n° 20 .- PROFIL HP- 1 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

Le fer, dans ces conditions de bon drainage, semble migrer d'une façon plus limitée que l'aluminium, comme celà a déjà été indiqué par d'autres auteurs (DUCHAUFOUR, 1964 - PEDRO, 1965, etc ...).

1.5. Minéralogie des argiles.

La séquence minéralogique du profil est classique, en surface on observe l'évolution des Illites dans le sens de la Vermiculite; en profondeur, les Illites sont intactes. On observe de la montmorillonite, à la base, dans un milieu plus confiné. Elle est vraisemblablement héritée; les diagrammes de rayons-X signalent des argiles bien cristallisées.

Dans le sol podzolique actuel, la Vermiculite-Al chloritisée domine, ensuite viennent la Kaolinite, puis des traces d'Illite et une quantité très importante de quartz fin.

Dans l'horizon C1, la Vermiculite-Al chloritisée tend à disparaître et la Kaolinite est le minérau argileux dominant, ensuite subordonnée l'Illite, et une quantité considérable de quartz fin.

Dans les bandes en voie de dégradation de l'horizon II B21t, on observe les mêmes types de minéraux, mais en plus des traces de Montmorillonite. Nous pouvons ainsi supposer que les bandes étaient à l'origine plus riches en argile et que les premières attaquées sont les montmorillonites qui sont plus fragiles. Cette dégradation poussée se rapproche de la podzolisation pour ce qui concerne l'évolution des minéraux argileux.

A la base du profil, plus argileuse et non dégradée, la montmorillonite domine, ensuite la kaolinite et finalement l'Illite; nous n'observons pas de fragmentation des quartz.

La présence d'édifices phylliteux à 14 Å, intergrades entre vermiculite et Chlorite secondaire, résulte essentiellement de l'aluminisation lente et progressive des phyllites 2/1 au fur et à mesure d'une évolution pédogénétique de type acidifiant, comme l'est la podzolisation (SEDDOH, P.K. - PEDRO, G. - ROBERT, M. - DEJOU, J., 1969).

Interprétation et Conclusions.

Le profil se développe sur deux matériaux différents correspondant à deux phases sédimentaires majeures :

. Une formation sableuse d'origine fluviatile remaniant les sédiments éolisés;

. Une formation sableuse mieux triée, éolisée, qui recouvre la précédente.

Du point-de-vue pédologique, il s'agit d'un profil complexe caractérisé par l'existence à la base d'un paléosol qui a été fossilisé par la couverture éolisée déjà observée dans les profils précédents.

Les principaux caractères de pédogenèse du profil sont les suivants :

1°. Paléopédogenèse.

Elle est caractérisée par le lessivage et la formation des horizons II B2t en bandes assez épaisses à la base du profil, dans le matériau profond.

2°. Phases récentes.

L'évolution actuelle se réalise dans des conditions de drainage favorable dans la couverture éolisée et avec une hydromorphie limitée à la base du profil.

On observe deux phases pédologiques successives associées :

. Dégradation des horizons II B2t, phénomène qui se poursuit actuellement, favorisé par la podzolisation en surface;

. Podzolisation dans la couverture de surface qui, à son tour, peut être subdivisée en une première phase modale, une phase anthropique intermédiaire, suivie d'une nouvelle, actuelle, d'évolution podzolique sous végétation "naturelle" dégradée.

a. Dégradation des horizons B2t.

Elle est caractérisée :

- Sur le plan morphologique, par la formation de langues ou de fronts de dégradation avec morcellement des bandes argilliques;
- La libération et la migration du fer qui s'accumule dans les parties intactes des bandes et dans des nodules;
- La libération de l'aluminium qui migre latéralement pour s'accumuler dans les bandes intactes;
- L'altération des minéraux argileux qui évoluent dans les bandes très dégradées vers la Vermiculite-Al chloritisée;

- La fragmentation du quartz;

- La migration ou plutôt la redistribution des éléments fins du squelette et la migration secondaire de l'argile dans les glosses.

b. Podzolisation.

La podzolisation présente un aspect complexe dû à l'intervention de l'Homme dans le temps. Nous observons en effet :

- L'horizon B2h qui est assez développé, mais ameubli par réactivation biologique avec l'apparition de taches blanchies;

- L'horizon A2 n'est pas assez cendreux et assez développé pour avoir donné naissance à l'horizon "spodique" sous-jacent;

- La matière organique du B2h est sous la forme de boulettes fécales.

- La production d'acides fulviques est considérable en surface;

- L'accumulation de l'aluminium libre et échangeable dans le B1 est notable;

- La migration et l'accumulation de fer libre dans le B2h est faible.

- Les pH, quoique acides, sont assez élevés à partir de l'horizon A2;

- L'évolution des minéraux argileux est assez poussée dans le B2h, où l'Illite est presque entièrement transformée en Vermiculite-Al chloritisée;

- La fragmentation du quartz est forte

2. PROFIL HP-6 - LE BY.

Localisation : Carte de La Ferté-Saint-Aubin 5-6 à 1/5 000ème, x = 57.4; y = 30.9.

Végétation : Friche, peuplement végétal clair, recouvrement d'environ 75 % (Castanea vulgaris, Erica cinerea, Cladonia sp., etc ...).

Géomorphologie : Terrasse, station horizontale.

Altitude : 110 m + 5 m au-dessus du Cosson.

Matériau du sol: Sables de Sologne.

Drainage : Bon.

Classification : Sol podzolique anthropomorphe.

2.1. Description du profil.

1/2 - 0 cm Ao	: Horizon organique - nombreuses racines et débris organiques différenciés - brun très foncé - avec sable grossier à grains de quartz nus - limite inférieure distincte.
0 - 3 cm A 1	: Brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) - sableux à sable grossier - quartzeux - structure particulaire - friable - nombreuses racines, chevelu - limite inférieure nette et régulière.
3 - 20 cm A 2	: Brun jaunâtre (10 YR 5/6) - sableux - à sable grossier quartzeux - grains de quartz en majorité nus - gravier très peu abondant (moins de 5 %), de quartz et quelques silex - taches plus grisâtres provenant du A 1 par transport biologiques d'animaux (10-15 %), irrégulières sans orientation, à limites peu nettes et peu contrastées - structure particulaire - quelques grosses racines - limite inférieure nette (couleur et consistance);
20 - 35 cm B2h	: Horizon tacheté - fond brun foncé (7.5 YR 4/4) et taches brun jaunâtre (10 YR 5/4) nombreuses - les taches sont très irrégulières mais plus ou moins arrondies, sans orientation, nettes et contrastées - sableux à sable grossier, légèrement plus argileux que l'horizon précédent - graviers quartzeux peu abondants - structure particulaire - consistant par rapport au A2 - quelques racines - limite inférieure graduelle et régulière.
35 - 45 cm B 31	: Brun vif (7.5 YR 5/8), taches brun jaunâtre (10 YR 5/4) -(10-15 %)- autour des taches on observe des lisérés très fins brun foncé (7.5 YR 4/4), qui semblent de concentration de fer -

limites nettes et très contrastées - sableux à sable grossier - quartzeux - plus friable que le Bh - structure particulaire - racines peu nombreuses - limite graduelle et régulière.

45 - 94 cm

B 32

: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4), fond avec des taches peu nombreuses (15 %), brun très pâle (10 YR 7/4), à limites nettes et contrastées et des taches brun vif (7.5 YR 5/8), peu nombreuses et légèrement consistantes (5 %) - sableux à sable grossier - structure particulaire - racines rares - friable - limite inférieure diffuse avec la glosse et nette par la consistance ailleurs.

94 - 140 cm

II B21t + A2

: Horizon complexe, Bt morcelé dégradé - zones sablo-argileuses - jaune rougeâtre à rose (7.5 YR 7/4-7/6) - quartzeux - assez compact à induré - avec des langues et poches de dégradation (glosses) à contours irréguliers brun pâle (10 YR 6/3) sans consistance - sableux, dépourvu d'argile et de fer - les glosses représentent 30 % de l'horizon - les graviers sont fins et très peu nombreux - vers la base l'horizon devient plus argileux - racines rares - limite assez nette par la consistance et assez divagante par la couleur - limite inférieure distincte et régulière (discontinuité lithologique).

140 - 143 cm

: Strate de sables grossiers - brun pâle (10 YR 6/3) - zone réduite - saturée - par endroits squelette plus fin.

143 - 156 cm

II B22t

: Horizon complexe - couleur prédominante brun pâle, légèrement plus claire que la strate précédente - sableux, légèrement argileux, assez consistant - saturé d'eau à la base - présente une partie compacte brun jaunâtre et à taches claires, sablo-argileuse - quelques rares racines traçantes à la base.

156 - 160 cm

: Strate de sable grossier graveleuse - gris brunâtre clair avec un mince liseré noir de dépôts de Mn - taches verdâtres à la base - strate de circulation préférentielle de l'eau.

160 - 180 cm III C	: Horizon panaché - jaune jaunâtre, jaune brunâtre et brun pâle - texture sablo-argileuse dans l'ensemble - structure massive - consistant - présente à la base un cailloutis formé essentiellement de silex de 2-6 cm - limite abrupte - glaise vert - très argileux.

2.2. Micromorphologie.

Les caractères micromorphologiques sont assez semblables à celles du profil HP-1.

Squelette. Il est essentiellement constitué par des sables moyens et grossiers. La base du profil est enrichie en plasma argileux à la suite des phénomènes pédologiques qui ont abouti à la formation des horizons Bt.

La nature minéralogique est assez régulière, à base de quartz largement prédominant, et de feldspaths pour ce qui concerne les fractions grossières. On note aussi des micas dans les sables fins.

Plasma. Mêmes caractères que ceux du profil HP-1. La distribution relative est de type granulaire pour l'ensemble du sol actuel et complexe en profondeur dans les horizons Bt; dans les plages dégradées des horizons Bt elle est granulaire, parfois le squelette fin et une faible partie de l'argile qui reste lui confèrent un aspect porphyrique à intertextique suivant le degré de remplissage des espaces intergranulaires. Ces plages sont essentiellement isotiques mais on observe de tout petits domaines biréfringents. Enfin, dans les bandes argilliques la distribution relative intertextique prédomine. Il faut remarquer que ces bandes sont toujours liées à de petites discontinuités lithologiques parfois très nuancées.

Assemblage plasmique. Il est asépique pour la couverture sableuse, complexe dans les horizons Bt dégradés; on observe des plages glossiques asépiques et des plages plus riches en plasma sous la forme de cutanes de grains libres. Dans les bandes plus ou moins intactes, les cutanes deviennent assez épais et arrivent souvent à remplir complètement les espaces inter-granulaires et donner des assemblages de type intertextique à agglomeroplasmique.

Structure de base. La distribution du squelette et du plasma est complexe dans le profil; le plasma argileux se distribue suivant les discontinuités lithologiques au sein des horizons B2t et des quelques vides à la base du profil pour l'argile d'illuviation secondaire; les plages dégradées sont presque complètement dépourvues de plasma.

Matière organique. Même aspect que pour le profil HP-1. Très pauvre en matière organique; celle-ci se trouve essentiellement sous la forme de petits agrégats provenant de la désintégration des boulettes fécales. Son aspect est brunâtre à faible grossissement; on observe un mélange plus ou moins intime entre le squelette fin et la matière organique à l'intérieur de ces boulettes fécales. Elles sont assez abondantes dans l'horizon B2h.

Les revêtements humiques amorphes pelliculaires sont pratiquement absents. Certaines boulettes fécales sont encore plus ou moins intactes, mais leur limite devient peu nette. A partir des horizons Bt, les "revêtements" plaqués sur les grains deviennent très minces et ressemblent, à faible grossissement, aux revêtements d'humus amorphe. Mais, à fort grossissement, ils ont l'aspect jaunâtre caractéristique que nous avons déjà décrit.

Vides. L'aspect général des horizons est très aéré, le système des vides est essentiellement constitué par des vides d'entassement simples; dans les horizons B2t de la base, on observe quelques vides normaux et des fentes, mais d'une façon très limitée.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. Dans les horizons B2t, la présence de cutanes d'illuviation d'argile a été constatée. Ils se présentent de préférence sous la forme de ferri-argilanes, des grains libres assez minces qui entourent les gros grains du squelette. Les argilanes jaunâtres assez colorés par le fer sont assez abondants. Certaines de ces cutanes semblent contenir du squelette fin qui leur donne un aspect ponctué à fort grossissement. Ils sont fortement orientés. Dans les plages dégradées, on observe des argilanes jaune pâle cireux d'illuviation secondaire, peu abondants.

Glébules. Ils sont représentés par de petits nodules de fer peu nombreux, au sein des horizons Bt.

Interprétation

Le profil se développe dans deux matériaux différents : un qui correspond aux horizons II Bt sablo-argileux et l'autre à la couverture éolisée qui sert de support au sol actuel. Le tout repose sur une lentille argileuse de la formation de Sologne.

Le phénomène de lessivage se caractérise par des cutanes assez gros à la base du profil et par des cutanes plus fins dans l'horizon II B22t. Dans les glosses qui sont devenues très meubles, il semble qu'une certaine migration d'éléments

fins du squelette se produise en même temps qu'une fragmentation des particules sous l'effet de la dégradation.

Deux phénomènes pédologiques sont importants dans ce profil :

. L'évolution de la matière organique liée à la podzolisation;

. La dégradation des horizons B2t à la base du profil.

Evolution de la matière organique.

Cette évolution a déjà été discutée à propos du profil HP-1. La matière organique arrivant à la surface du sol est reprise par la faune; il y a production de boulettes fécales, ensuite fragmentation de celles-ci; les fragments sont constitués par un mélange intime entre le squelette fin et la matière organique; ceux-ci adoptent une forme plus ou moins pelliculaire et se plaquent contre les grains du squelette; parfois, ils remplissent les espaces intergranulaires. La transformation de la matière organique en pellicules amorphes reste très limitée.

Dégradation des horizons Bt.

Elle se traduit par

- la migration latérale et profonde du fer qui s'accumule dans les parties intactes de l'horizon Bt morcelé et aussi à la base, dans des nodules;
- l'illuviation secondaire d'argile probablement accompagnée de peu de fer provoque d'une part un aspect cireux et d'autre part une couleur jaune pâle (ce phénomène reste assez limité).
- la fragmentation et la redistribution du squelette fin.

2.3. Sédimentologie.

2.3.1. Granulométrie.

Le profil est assez homogène dans l'ensemble; les variations sédimentaires sont graduelles. Les courbes granulométriques correspondent à peu près à la même famille.

Nous avons séparé trois phases sédimentaires "majeures" :

- P h a s e I : (0-94 cm). Sableux, où prédominent les sables moyens (80-94 % pour le total des sables et 49-53 % pour les sables moyens), très pauvre en argile et en limons, dépourvu de graviers et cailloux;

  a. Mêmes caractères généraux, le rapport de SF/SG est de 20/80;

  b. Mêmes caractères généraux, le rapport SF/SG varie entre 14/86 et 17/83;

- P h a s e II : (94-180 cm). Stratifiée, sableuse, mais la teneur en sables moyens est plus faible (43 % des sables), très pauvre en limons et en argile. Elle présente de fines strates graveleuses et sableuses; le taux des sables est supérieur à 82 %.

  a. Strate sablo-graveleuse, rapport SF/SG 9/91;

  b. Strate sableuse enrichie en argile par le lessivage, rapport SF/SG de 17/83;

  c. Strate sablo-graveleuse, rapport SF/SG de 6/94;

  d. Sablo-argileuse enrichie en argile par lessivage, le taux d'argile atteint 11 %, le rapport SF/SG est de 16/84; à la base présente un cailloutis qui le sépare d'une lentille argileuse de la formation de Sologne.

L'examen des courbes de fréquence relative montre une parenté de toutes les phases sédimentaires qui se manifeste par un pic de fréquence maximal pour les sables moyens. La courbe (6.3) de la première phase dépasse 50 %. Les courbes (6.6) et (6.12) de la deuxième phase sont tout à fait similaires et de la même famille, le pic de fréquence maximal est plus atténué, il est autour de 45 %. La courbe (6.9) présente un pic encore plus réduit, aux environs de 40 %.

Les courbes cumulatives sont presque superposables, les médianes varient entre des limites assez étroites (275-300 microns). Les courbes (6.3) et (6.6) de la couverture éolisée sont légèrement plus redressées (avec des Qd φ de 0.47 et 0.55) que celles des matériaux profonds (Qd φ de 0.60 et 0.70).

2.3.2. Morphoscopie des sables.

Action éolienne dans tout le profil avec un taux de grains ronds-ovoïdes-mats typiques important.

Les deux premières phases sédimentaires ont subi plus fortement cette action du vent, le taux de ronds-mats est de 6-18 % et celui des grains éolisés de 0-19 % (fraction A);

En profondeur, le taux descend à 6-14 % pour les premiers et à 0-25 % pour les seconds.

Les grains subanguleux luisants sont en général les plus abondants pour toutes les phases sédimentaires dans les deux fractions examinées (45-70 % et 42-64 % pour les fractions A et B des phases superficielles et de 42-74 % et 36-64 % pour les phases profondes respectivement).

Les grains anguleux luisants sont peu importants dans la fraction A dans tout le profil avec un taux assez régulier (3-22 %) et assez abondants dans la fraction B (22-48 %).

Les émoussés luisants sont peu abondants dans les deux fractions (moins de 16 %).

2.3.3. Taux de Feldspaths.

Il varie peu suivant les phases sédimentaires; il est plus élevé en surface, avec plus de 20 %. En profondeur, le taux reste inférieur.

2.3.4. Conclusions.

Nous avons séparé des phases sédimentaires qui, dans l'ensemble, sont étroitement liées dans tout le profil. Nous retrouvons la même séquence sédimentaire que pour les profils HP-1, HP-7, etc ... L'action éolienne est généralisée, mais plus intense en surface. Les courbes cumulatives montrent une tendance à se superposer; les sables moyens dominent.

2.4. Analyses chimiques.

2.4.1. pH.

Il est acide dans tout le profil, faiblement acide en surface, avec un pH de 5.8 pour le A1; pour les horizons A2 et B du sol actuel, il est de 5.2 -5.3; pour les horizons Bt du sol

Tableau n° XXXIIa

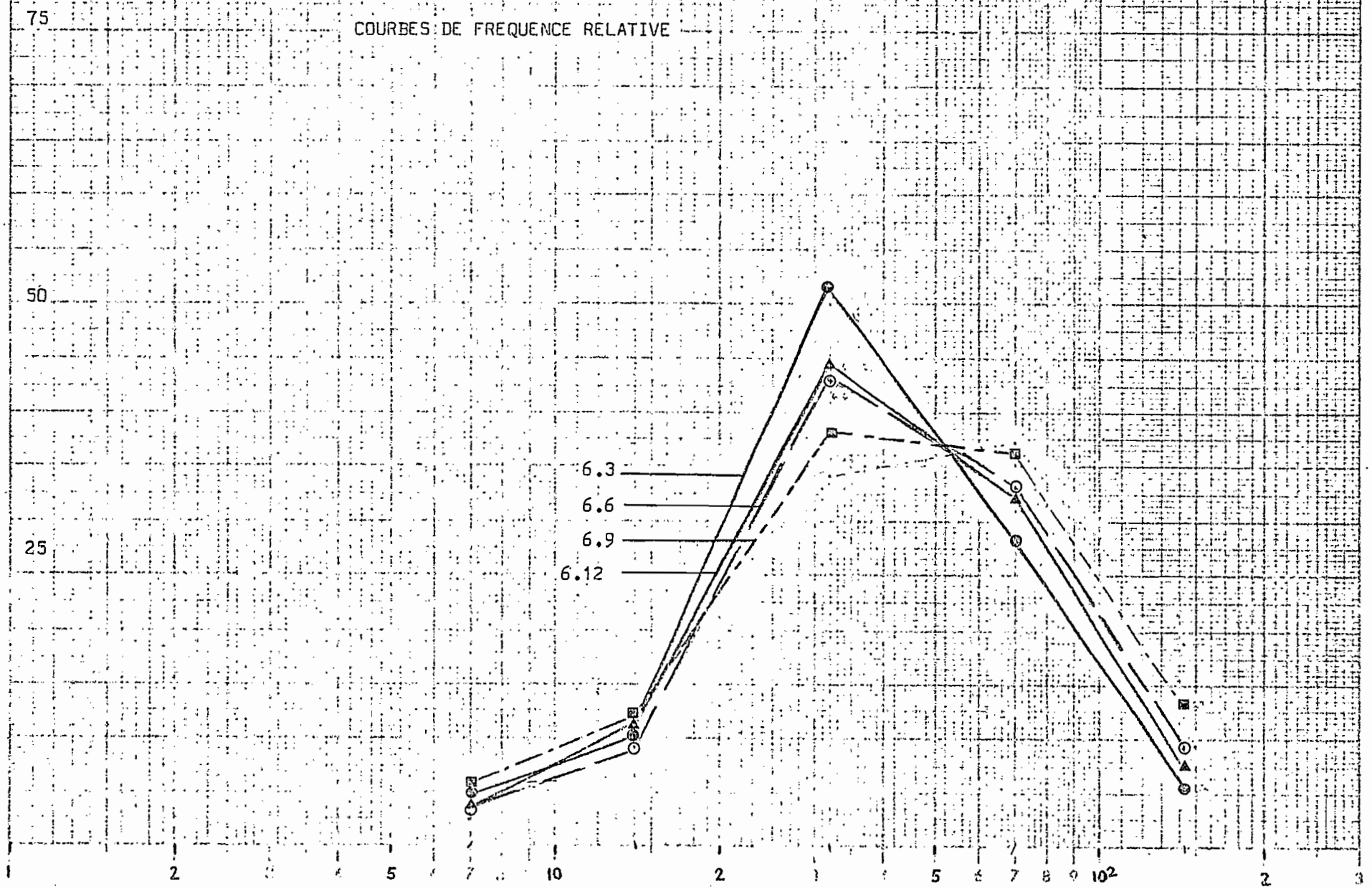
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Profil HP-6 "Le By"

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %											
			Argile μ	Limon μ		Sables μ								
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	Total	Refus	SF/SG
6.1	A1	0-3	3.64	5.47	2.54	4.50	11.26	41.26	19.86	3.90	80.78	tr.	20/80
6.2	A2	3-20	2.45	3.14	1.72	3.34	10.38	45.02	25.64	6.36	90.74	1.41	15/85
6.3	B2h	20-35	3.07	3.67	1.66	3.10	10.00	46.74	25.56	5.42	90.82	tr.	14/86
6.4	B31	35-45	1.27	4.51	1.62	2.84	9.94	48.52	26.44	5.36	93.10	tr.	14/86
6.5	B32	45-94	0.41	3.34	2.42	4.16	12.16	48.84	23.80	4.66	93.62	tr.	17/83
6.6	II B21t+A2 glosses	94-140	0.97	3.86	3.70	3.56	8.80	39.36	30.62	8.42	90.76	1.18	14/86
6.7	II B21t+A2 bandes	94-140	6.20	3.97	2.64	3.36	8.58	37.00	29.60	7.84	86.38	tr.	14/86
6.8	Strate réduite	140-143	2.97	1.86	1.32	2.44	6.20	23.04	34.76	17.72	93.16	-	9/91
6.9	II B22tg	143-156	2.98	2.15	2.78	5.30	10.16	35.16	28.80	12.06	91.48	2.21	17/83
6.10	Plage compacte	143-156	6.14	4.26	2.44	4.86	9.76	31.80	28.16	11.64	86.22	3.80	17/83
6.11	Strate réduite	156-160	3.26	1.34	0.76	1.38	3.84	19.58	37.02	32.38	94.20	6.43	6/94
6.12	II B23tg	160-180	11.33	2.86	1.96	4.04	8.76	36.54	26.80	6.40	82.54	7.17	16/84
6.13	III C	180-200+	67.27	10.07	1.34	2.45	2.60	9.35	7.15	1.95	23.50	tr.	

FIGURE n° 21 .- PROFIL HP- 6.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE



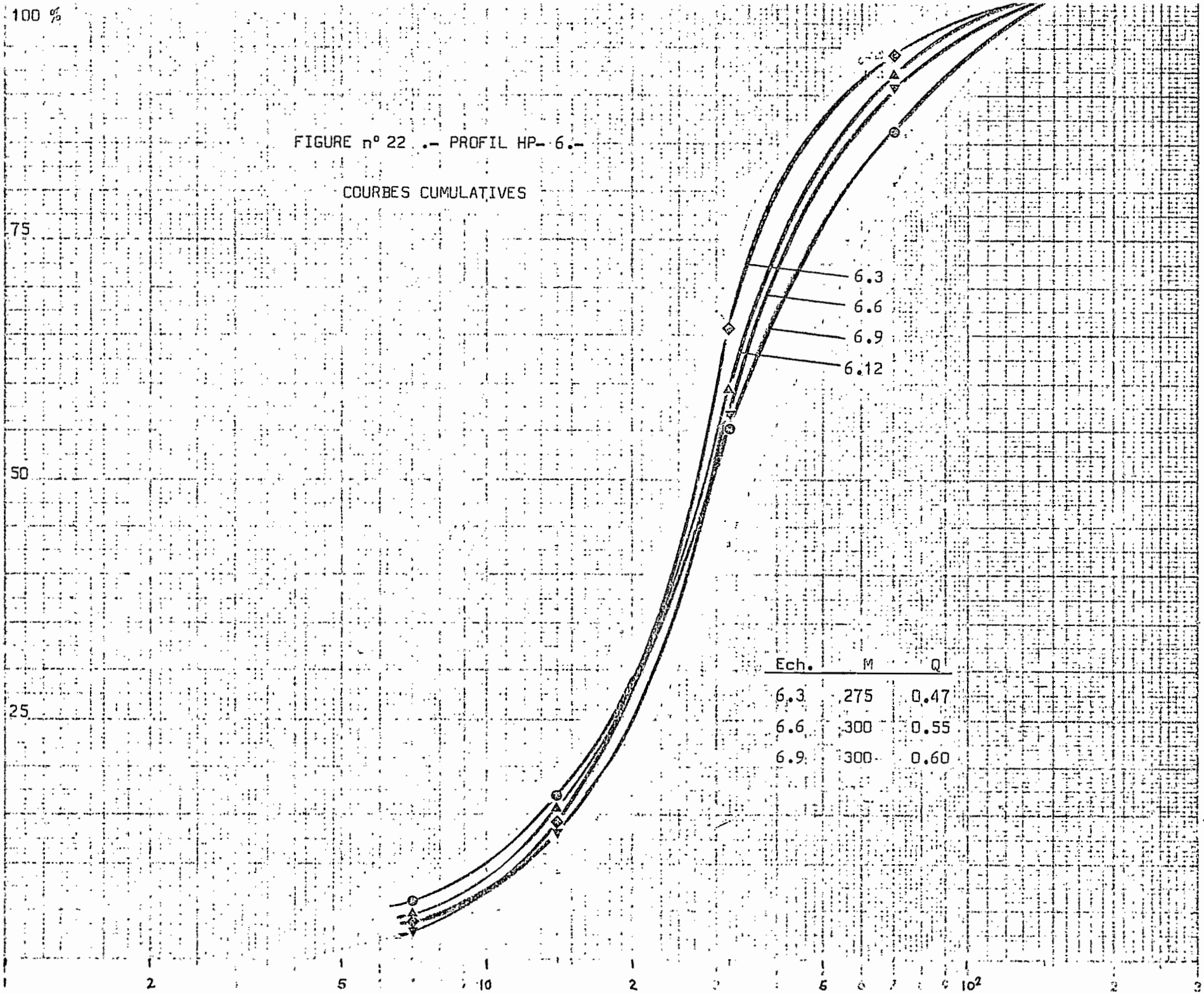


FIGURE n° 22 .- PROFIL HP- 6.-

COURBES CUMULATIVES

Tableau n° XXXIII Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
				14	58	16	–	–	–	2	–	10
6.1	A_1	0-3	78/22	36	56	6	–	–	–	–	–	2
				3	47	19	4	4	1	6	2	14
6.2	A_2	3-20	83/17	48	44	8	–	–	–	–	–	–
				20	52	18	–	–	–	–	2	8
6.3	B_{2h}	20-35	75/25	34	52	10	–	–	–	–	–	4
				20	62	12	–	–	–	–	–	6
6.4	B_{31}	35-45	90/10	32	64	2	–	–	–	–	–	2
				12	66	12	–	–	–	–	–	10
6.5	B_{32}	45-94	82/18	42	52	6	–	–	–	–	–	–
				13	45	13	1	10	–	7	1	10
6.6	glosses	94-140	80/20	42	42	8	–	–	–	–	–	8
	II $B_{21}t+A_2$			4	70	14	–	–	–	–	–	12
6.7	bandes		79/21	34	54	8	–	–	–	–	–	4
				18	44	26	–	–	–	–	–	12
6.8	strate réduite	140-143	80/20	54	36	4	–	–	–	–	–	6
				12	74	6	–	6	–	–	–	2
6.9		143-156	91/9	22	64	4	–	–	–	–	2	8
	II $B_{22}tg$			10	68	8	–	–	–	–	–	14
6.10	plages compactes		86/14	36	60	4	–	–	–	–	–	–
				22	62	10	–	–	–	–	–	6
6.11	strate réduite	156-160	90/10	29	56	9	–	–	–	–	–	6
				10	42	15	–	12	2	8	3	8
6.12	II $B_{23}tg$	160-180	87/13	36	56	4	–	2	–	–	–	2
				42	24	34	–	–	–	–	–	–
6.13	III C	180-200+	81/19	56	40	40	–	–	–	–	–	–

ancien, il se maintient au-dessus de 5; on observe une légère remontée du pH dans les glosses par rapport aux parties plus ou moins intactes;

2.4.2. Capacité d'échange.

Elle est très basse pour l'ensemble du profil; dans les horizons A1, B2h et bandes argilliques, elle est légèrement plus élevée;

2.4.3. Taux de saturation.

Dans les horizons de surface, il est assez élevé, essentiellement par action anthropique; pour les horizons B et le sommet du sol ancien, il est aux environs de 20 %. Les horizons profonds sont désaturés.

2.4.4. Bases échangeables.

Le sol est très pauvre en bases dans tout le profil; le calcium est relativement abondant dans l'horizon A1 plutôt par action anthropique que par action de la remontée biologique. A partir du A2, l'aluminium échangeable devient assez important; il s'accumule légèrement dans le B2h.

2.4.5. Carbone total.

Il diminue graduellement en profondeur, à partir de l'horizon A2; dans l'horizon A1, il est relativement élevé (5.6 % de MO); à partir du A2, le taux de matière organique est inférieur à 1.

2.4.6. Azote.

Il a la même tendance que le carbone total, mais la diminution en profondeur est plus graduelle. Le rapport C/N est délicat à interpréter, sauf en surface, à cause de la teneur faible en matière organique. Les valeurs sont facilement affectées par des erreurs même minimes d'analyse. En surface, il est de près de 20, teneur acceptable pour un sol podzolique anthropomorphe, en profondeur, inférieur à 12.

2.4.7. Humus.

La matière organique humifiée est très peu abondante. Dans l'horizon A1, l'humus constitue une fraction négligeable

de la matière organique totale; à partir de l'horizon A2, il constitue le tiers, dans le B2h la moitié. Les acides fulviques dominent les acides humiques dans tout le profil. Largement supérieurs dans le A1, ils constituent plus du double dans le A2 et presque le double dans le B2h, dans le B31 ils diminuent. Une précipitation et une polymérisation se produisent au niveau de l'horizon B2h. Nous constatons, en général, une faible polymérisation des composés humiques et une augmentation des acides fulviques en profondeur par rapport aux acides humiques; la pénétration en profondeur de la matière organique est assurée sous la forme d'acides fulviques.

2.4.8. Fer et Aluminium.

La migration du fer est plus importante que celle de l'aluminium; les rapports Al_2O_3/Fe_2O_3 sont inférieurs à 1.

Le fer s'accumule faiblement dans l'horizon B2h du sol actuel et d'une façon considérable dans les parties argileuses résiduelles de l'horizon Bt morcelé. Ce comportement est en partie explicable, d'une part par la migration du fer lié à l'argile lors de la phase de lessivage, mais aussi par la dégradation des bandes argilliques libérant une quantité de fer qui s'accumule dans les bandes intactes.

L'aluminium, en général moins mobile que le fer dans ces conditions, s'accumule plus faiblement en profondeur, mais au niveau de l'horizon B2, sous l'effet de la podzolisation, il présente une accumulation relative plus importante que celle du fer.

Au niveau des langues glossiques se produit une libération de l'aluminium par dégradation des minéraux silicatés. L'aluminium se déplace latéralement et en profondeur pour s'accumuler dans les bandes intactes. Au niveau des horizons A2 et B2h, on observe une quantité importante d'aluminium échangeable.

2.5. Minéralogie des argiles.

Nous observons la même séquence minéralogique que celle observée dans le profil HP1.

En surface se produit une évolution des illites dans le sens de la Vermiculite-Al en passant par des formes interstratifiées Illite-Vermiculite; par ouverture progressive des feuillets et perte de potassium, l'aluminium libéré sous l'effet de la podzolisation forme des îlots entre les feuillets ouverts; à un stade plus avancé, on arriverait à la formation de vérita-

Tableau n° XXXIV Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques ‰C MHT	Mat. humiques ‰C AH	Mat. humiques ‰C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
6.1	A_1	0-3	3.28	5.64	5.50	2.33	3.17	.183	17.9	4.17	0.08	0.13	0.03	4.71	7.25	64
6.2	A_2	3-20	1.67	0.28	0.64	0.16	0.48	.173	9.7	0.05*	0.55	0.05	0.01	0.66	1.80	36
6.3	B_{2h}	20-35	1.06	0.18	0.56	0.21	0.35	.163	6.5	0.05*	0.24	0.06	0.01	0.36	2.00	18
6.4	B_{31}	35-45	0.79	0.13	0.18	0.08	0.10	.073	10.8	0.05*	0.21	0.04	0.01	0.31	1.50	21
6.5	B_{32}	45-94	0.46	0.1*	0.16	0.03	0.13	.037	12.4	0.05*	0.15	0.03	0.01	0.24	1.00	24
6.6	II B_{21t}+A_2 glosses	94-140	0.34	<0.1*	0.26	0.03	0.23	.030	14.3	0.05*	0.15	0.02	0.01	0.23	1.00	23
6.7	II B_{21t}+A_2 bandes		0.22	0.1*	0.28	0.10	0.18	.027	8.1	0.15	0.09	0.06	0.02	0.32	3.40	9

* traces

Tableau n° XXXV - Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
6.1	A_1	0-3	5.8	5.3	0.03	0.13	0.30	0.16	0.15	0.81	0.86
6.2	A_2	3-20	5.2	4.5	0.47	0.08	0.18	0.13	0.10	0.61	0.80
6.3	B_{21}	20-35	5.2	4.6	0.54	0.15	0.26	0.15	0.13	1.00	1.15
6.4	B_{31}	35-45	5.2	4.7	0.41	0.03	0.18	0.10	0.08	0.30	0.37
6.5	B_{32}	45-94	5.3	4.8	0.36	0.03	0.18	0.09	0.05	0.33	0.60
6.6	II $B_{21}tg + A_2$ glosses	94-140	5.3	4.8	0.42	0.08	0.18	0.12	0.08	0.66	1.00
6.7	bandes	94-140	5.2	4.6	2.41	0.15	0.58	0.28	0.13	0.53	1.15
6.8	strate réduite	140-143	5.6	4.7	0.80	0.03	—	0.12	0.08	0.25	0.37
6.9	II $B_{22}tg$	143-156	5.4	4.6			0.26	0.11			
6.10	zone compacte	143-156	5.3	4.6			—	0.29			
6.11	strate réduite	156-160	5.3	4.4			0.30	0.13			
6.12	II $B_{23}tg$	160-180	5.8	4.6			—	0.43			
6.13	III C	180-200+	5.2	4.8			4.20	1.12			

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

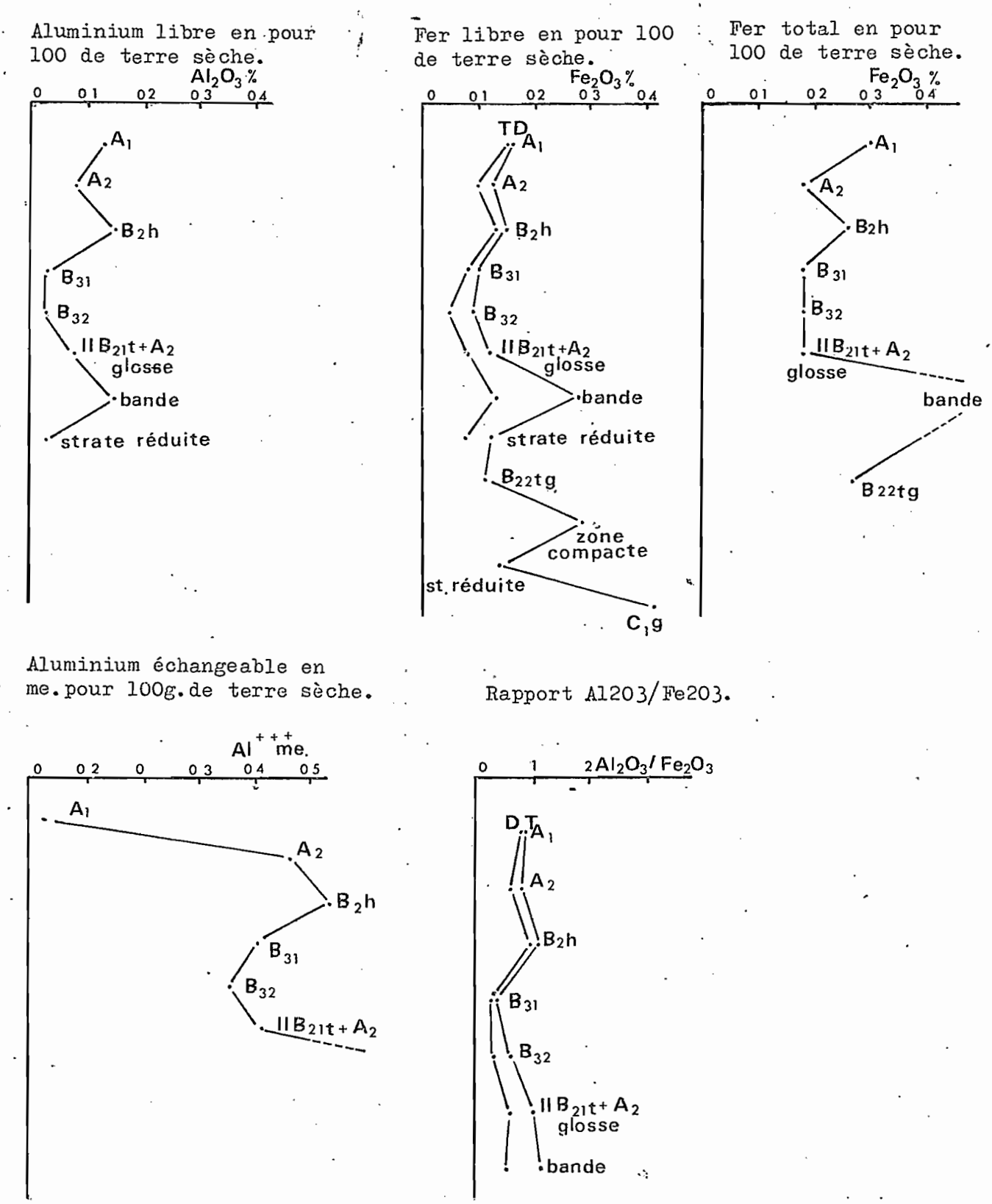


FIGURE n° 23 .- PROFIL HP- 6 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

bles chlorites secondaires. Phénomène déjà observé par DE CONINCK (1969).

La Vermiculite-Al chloritisée domine, ensuite la Kaolinite et des traces d'Illite et une quantité très importante de quartz fin.

Dans les parties argileuses bien conservées de l'horizon Bt morcelé, c'est la montmorillonite qui domine, ensuite la Kaolinite et un peu d'Illite; le quartz fin est faible.

Dans les niveaux à la base des horizons Bt, la montmorillonite devient largement prédominante, la Kaolinite ensuite et finalement un peu d'Illite.

Cette séquence devient classique dans les profils examinés. La podzolisation de surface entraînerait l'évolution des Illites héritées. La Kaolinite est héritée elle aussi.

Dans les niveaux intermédiaires (horizon B2lt), la montmorillonite présente peut avoir deux origines, soit la néoformation, soit l'héritage; étant donné les pics assez nets aux diagrammes de Rayons-X pour la montmorillonite, la deuxième possibilité est plus probable. La migration préférentielle de la montmorillonite lors de la phase de lessivage est à envisager.

Interprétation et conclusions.

L'évolution pédologique est comparable à celle du profil HP-1.

Une première phase sédimentaire de type fluviatile remaniant des sédiments éoliens se caractérisé par une phase pédogénétique de lessivage et la formation des horizons B2t en bandes.

Une série de remaniements quaternaires entraîne le décapage des horizons de surface du sol lessivé et le dépôt d'une couverture sableuse éolisée, la podzolisation se développe en surface et la dégradation des horizons Bt se poursuit en profondeur.

La podzolisation de surface a connu elle-même plusieurs phases. A une première phase de podzolisation succède une phase anthropique de culture, puis le sol abandonné est repris par la podzolisation (néopodzolisation).

Les principaux caractères de pédogenèse dans ce profil sont les suivants :

1°. Paléopédogenèse.

Elle est caractérisée par le lessivage en bandes, caractéristique des sols sableux, à la base du profil il est plus homogène et il est probable que dans ces conditions plus confinées, une certaine argillification ait lieu, les argilanes des grains libres non lités pourraient correspondre à ce phénomène.

2°. Phases actuelles.

L'évolution actuelle se développe essentiellement dans la couverture éolisée. Nous observons les phases pédologiques suivantes :

. La dégradation des horizons B2t, qui est plutôt une phase pédologique intermédiaire qui a commencé avant la mise en place de la couverture et qui se poursuit actuellement sous l'influence de la podzolisation de surface.

. La podzolisation est modifiée par l'intervention humaine.

a. Dégradation des horizons Bt.

La dégradation des horizons Bt est caractérisée par :

- La formation de glosses avec morcellement des bandes argilliques et disparition de la stratification originelle (homogénéisation de DE CONINCK, 1969).
- La migration du fer qui s'accumule dans les bandes intactes du B2t et dans les quelques nodules.
- La libération de l'aluminium qui s'accumule dans les parties intactes du B2t.
- La fragmentation très limitée du quartz (au moins dans les bandes examinées).
- L'illuviation secondaire d'argile qui reste assez limitée.

b. Podzolisation.

La podzolisation se présente sous un angle très complexe sur le plan morphologique et physico-chimique; l'évolution minéralogique, par contre, accuse une évolution poussée par rapport aux caractères morphologiques du sol.

Sur le plan morphologique, l'horizon "spodique" de la première phase de podzolisation a été réactivé biologiquement par une phase anthropique de culture, il est ameubli, appauvri en humus, par endroits il est dégradé (taches blanchâtres : "peau de léopard"). Les horizons sus-jacents ne sont pas bien exprimés, en particulier le A2 n'est ni cendreux ni suffisamment blanchi pour être un horizon podzolique typique et pour être relié au B2h sous-jacent.

Sur le plan chimique, en surface les pH sont élevés, le sol est peu désaturé et le C/N de la matière organique est au-dessous de 20. La migration et accumulation du fer et de l'aluminium dans le B2h reste assez faible.

Sur le plan minéralogique, par contre, on retrouve l'évolution caractéristique des minéraux soumis à une podzolisation assez forte, et la fragmentation de quartz est assez intense.

La production des acides fulviques reste assez limitée en valeur absolue.

D'autres profils de sols que nous avons étudiés présentent les mêmes caractéristiques d'ensemble que les deux sols précédents et correspondent aux mêmes successions de processus sédimentologique et pédologique.

Ils peuvent cependant en différer par certains caractères morphologiques, expression d'une "histoire" sédimentologique et pédologique un peu différente.

Ainsi dans le sol de profil HP-7, la dégradation des horizons argilliques est moins poussée que dans les sols précédents. On ne peut plus admettre l'existence d'un"front de dégradation"; on observe par contre des glosses extrêmement nettes qui recoupent les bandes.

La modification du profil podzolique par action anthropique nous apparaît comme évidente dans ce sol. Les horizons A typiquement modifiés par l'Homme, reposent directement sur l'horizon B2h, qui par contre ne présente pas l'aspect de "peau de léopard" observée dans les sols précédents, et dû à la réactivation de l'humus de cet horizon à la suite de la mise en culture.

Le profil HP-7 présente la même succession de phénomènes pédologiques et sédimentologiques que les profils HP-1 et HP-6 des moyennes terrasses ; la dégradation des horizons B2t en bandes est moins avancée, on observe des bandes presque intactes et les différences entre les interbandes et les glosses est très nette.

Si dans le premier cas on peut parler de "front de dégradation", ici l'aspect glossique est distinct. La podzolisation poussée peut être très évidente, deux horizons anthropiques reposent directement sur l'horizon B2h du sol podzolique où on n'observe pas les horizons supérieurs du sol podzolique. L'horizon B2h ne présente pas l'aspect de "peau de léopard" des sols précédents.

3. PROFIL HP-7 - LE VINAUGER.

Localisation : Carte de La Ferté-Saint-Aubin 7-8 à 1/25.000ème, x = 571.6; y = 302.5.

Végétation	: Quercus pedunculata, Sarothamnus scoparius, Rubus sp., Agrostia sp., etc ...
Géomorphologie	: moyenne terrasse, station horizontale.
Altitude	: 110 m; + 6-7 m au-dessus du Cosson.
Matériau du sol	: complexe, sédiments éoliens et fluviatiles remaniés, essentiellement sableux.
Drainage	: bon.
Classification	: sol podzolique anthropomorphe.

3.1. Description du profil.

0 - 10 cm A p1	: Brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4) - horizon anthropique humifère - sableux, à sable grossier - quartzeux - graviers peu abondants (moins de 5 %) principalement de quartz et quelques silex - structure particulaire - friable et très poreux - nombreuses racines fines et moyennes dans la masse de l'horizon, chevelu très dense de graminées - quelques canaux de lombrics, quelques chenilles - les racines ont une certaine tendance horizontale à la base - limite inférieure nette (consistance et abondance de racines).
10 - 21 cm A p2	: Brun jaunâtre à brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4-5/4) - même texture - légèrement plus consistant que le A p1 - poreux - quelques racines fines et moyennes verticales, pas de chevelu - quelques canaux de lombrics - limite inférieure nette et régulière.
21 - 34 cm B2h	: Brun foncé (7.5 YR 4/4) - sableux, légèrement plus argileux que le Ap2 - cailloux peu abondants (moins de 5 %), à arêtes émoussées, quartzeux, moins de 2 cm - structure particulaire à tendance grossièrement polyédrique - racines fines dans la masse, quelques canaux biologiques - limite inférieure nette régulière.

34 - 50 cm B 31	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) - sableux à sable grossier - graviers et cailloux (20-25 %), même nature que précédemment - structure particulaire - très friable - très poreux - racines fines et moyennes dans la masse, chevelu peu développé - quelques silex à la base - limite inférieure graduelle et régulière.
50 - 58 cm II B32	: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) et brun jaunâtre (10 YR 5/4) - sableux dans l'ensemble - cailloux et graviers très peu abondants - les plages plus claires semblent dégradées et appauvries par rapport aux plages plus foncées, elles-mêmes très pauvres en matériel fin - très friable dans l'ensemble - limite inférieure distincte et irrégulière.
58 - 82 cm II B 21t + A2	: Horizon complexe - interbandes brun brunâtre (10 YR 6/6) - présentant des bandes horizontales brun jaunâtre (10 YR 5/6) de 1-3 cm, discontinues, coupées par des langues de dégradation (glosses) brun très pâle (10 YR 7/4) - les bandes sont peu importantes, avec moins de 10 % de l'horizon - sableux dans l'ensemble, les bandes étant sablo-argileuses enrichies en fer, assez compactes - plages glossiques très appauvries en colloïdes, consistance très meuble - les graviers sont très peu abondants - les glosses à contours très irréguliers et peu contrastés - limite inférieure nette et régulière.
82 - 118 cm IIB 22t + A2	: Horizon complexe - ressemble au précédent mais plus graveleux - bandes argileuses plus régulières et plus nombreuses - interbandes brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) - bandes de 0.5-3 cm brun jaunâtre (10 YR 5/6) - langues glossiques brun très pâle - les interbandes représentent 50 % de l'horizon, les glosses 30-35 % et les bandes 15-20 % - les glosses ont des contours irréguliers et contrastés.
118 - 140 cm II B3tg	: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) avec des bandes fines et continues jaune rougeâtre (5 YR 6/8) suivant les lignes de la stratification originelle - taches d'hydromorphie et quelques taches de dégradation - sablo-argileux à structure massive - graviers peu abondants.

3.2. Micromorphologie.

Squelette. Le squelette est formé essentiellement de sables moyens et grossiers. En surface, le squelette limoneux augmente légèrement. La distribution du squelette est litée dans les horizons Bt, soulignant les discontinuités lithologiques "mineures" du dépôt originel non homogénéisé par la faune. Ces discontinuités mineures vont favoriser les dépôts de l'argile et du fer lors de la phase de lessivage.

Du point-de-vue minéralogique, le profil est assez uniforme, au moins pour ce qui concerne les fractions grossières. Le quartz est largement prédominant, suivi des feldspaths.

Plasma. Dans l'ensemble, le sol est très pauvre en plasma, à coloration brunâtre en surface par suite de la présence de matière organique, assez foncé dans le B2h (fer et matière organique) : il prend une teinte rougeâtre sous l'effet du fer diffus dans les parties non dégradées de l'horizon B2t. Par rapport aux profils HP-1 et HP-6, il est légèrement plus riche en plasma.

La distribution relative est de type granulaire pour le sol actuel et complexe pour les horizons profonds. Les horizons II B2t en voie de dégradation présentent dans les bandes d'accumulation d'argile une distribution intertextique dominante. Quand le remplissage des espaces intergranulaires est plus complet, nous observons des plages agglomeroplasmiques. En dehors des bandes d'accumulation d'argile, on observe des zones dégradées glossiques, dépourvues de plasma et des interbandes où le plasma est très faible et qui forme à peine des ponts plasmiques entre les grains du squelette.

Assemblages plasmiques. L'assemblage asépique domine dans les horizons de surface, les domaines biréfringents sont rares dans la masse. Dans les horizons II B2t par contre, l'assemblage est squelsépique dans les bandes argilliques et à tendance asépique dans les interbandes où subsistent quelques argilanes de grains libres isolés.

Structure de base. La répartition du plasma par rapport au squelette est extrêmement irrégulière dans les divers horizons du profil. Les bandes constituent une zone d'accumulation du plasma dans les horizons Bt du paléosol, où il est très peu abondant dans la couverture de surface.

Matière organique. L'évolution de la matière organique est semblable à celle observée dans les profils HP-1 et HP-6, avec une différence due à la phase anthropique : quantité plus élevée de boulettes fécales et de débris de racines. On note très

peu de matière organique sous la forme de pellicules amorphes. La forme correspondant aux boulettes fécales plus ou moins désintégrées est généralisée. Certaines boulettes restent assez bien conservées et présentent une tendance à se grouper. En LP, elles sont isotropes dans l'ensemble, en LN et à fort grossissement, elles ont un aspect jaune sale floconneux.

Vides. Le système est à base de vides d'entassement simples, avec un aspect bien aéré; dans les parties plus argileuses et non dégradées des horizons Bt, le matériau est plus tassé.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. Dans les horizons II B2t, on observe des cutanes d'illuviation d'argile qui, à la différence de ceux observés auparavant, sont pour la plupart moyennement orientés. Ils sont assez épais, arrivant à remplir les espaces intergranulaires. Dans certains cas, ils ont un aspect non trié, et sont probablement enrichis en éléments fins du squelette. Leur couleur est jaunâtre; certains sont très colorés par le fer, qui forme souvent des dépôts entre les grains, isotropes en LP. Vers la base apparaissent des ferri-argilanes typiques dont l'orientation est assez forte.

Globules. Nous n'observons pas de nodules typiques d'oxydes de fer, mais dans les bandes plus argileuses de petites masses colorées qui apparaissent comme des dépôts ferrugineux sur les grains et dans les espaces intergranulaires en combinaison avec les cutanes.

Structure primaire. Le matériau du sol est apédique dans tout le profil.

Interprétation

Le profil se développe sur deux matériaux différents, l'un sableux au départ mais postérieurement enrichi en argile par une pédogenèse ancienne, et une couverture sableuse légèrement limoneuse qui sert de support au sol actuel.

Les phénomènes pédogénétiques en cause dans ce profil sont les suivants :

. La dégradation des horizons II B2t est favorisée par des conditions d'hydromorphie temporaire provoquées par les bandes argilliques plus compactes qui arrêtent provisoirement l'eau d'infiltration, et en plus par les acides libérés lors de la podzolisation. Le fer libéré se déplace latéralement et en profondeur; il s'accumule dans les bandes intactes et dans quelques nodules à la base. La dégradation entraîne l'apparition de langues glossiques, le morcelle-

ment des bandes et la disparition de la stratification originelle, et l'illuviation secondaire assez limitée d'argile déferrifiée.

. Le sol podzolique développé dans le matériau superficiel présente des aspects anthropiques originaux beaucoup plus nets, morphologiquement, que dans les cas précédents. La matière organique semble avoir subi le même type d'évolution dans les profils HP-1 et HP-6. Cependant, le sol superficiel est plus riche en matière organique. La matière organique qui arrive au sol est reprise par la faune qui le mélange au squelette fin sous la forme de boulettes fécales. Celles-ci se désintègrent et tendent à se plaquer contre les gros grains du squelette des horizons B. Dans le B2h, on observe également des débris de racines provenant des Graminées installées en surface.

. L'hydromorphie apparaît à la base du profil.

3.3. Sédimentologie.

3.3.1. Granulométrie.

Le profil est hétérogène, ce que les données analytiques nous confirment. Nous avons séparé deux phases sédimentaires majeures qui ont une signification régionale :

. Phase I : (0-50 cm). Sablo-limoneux avec une recharge faible en graviers et petits cailloux qui deviennent plus abondants à la base. Le taux de sables est de l'ordre de 80-90 %, les sables moyens constituant la fraction la plus abondante (35-42 %).

a. (0-34 cm). Mêmes caractères généraux, pourcentage faible de graviers et de petits cailloux. Rapport SF/SG entre 14/86 et 18/82;

b. (34-50 cm). Mêmes caractères généraux, plus riches en graviers et petits cailloux. Le rapport SF/SG est de l'ordre de 20/80.

. Phase II : (50-140 cm). Plus homogène dans l'ensemble que la première phase, légère recharge en graviers en profondeur, absence de petits cailloux; sableuse avec un taux de limons très faible (inférieur à 4 %). La teneur en argile est très faible, à l'exception des bandes d'accumulation. Le rapport SF/SG varie entre 10/90 et 4/96.

Les courbes de fréquence relative montrent bien l'existence de deux phases sédimentaires principales. La courbe (7.3) de la première phase présente une fréquence maximale pour les sables moyens plus atténuée que pour les courbes (7.5) et (7.7) de la deuxième phase, elles appartiennent cependant à la même famille sédimentaire. La courbe (7.11) a un comportement différent par augmentation des sables grossiers.

Les courbes cumulatives ont un aspect de type fluviatile. Celles qui appartiennent à la première phase sont moins redressées (Qd φ de 0,55), et une médiane de 0.28 mm. Les courbes (7.5) et (7.7) à comportement similaire sont plus redressées (Qd φ de 0.46 et 0.35), les médianes entre 0.29-0.30 mm; les courbes (7.9) et (7.11) tendent à adopter la forme d'un S très allongé et avec des médianes de 0.31 et 0.32 mm.

3.3.2. Morphoscopie des sables.

Nous observons qu'il y a une contamination éolienne relativement assez forte en surface, qui se traduit par un pourcentage de grains ronds-mâts typiques supérieur à 10 % pour les grains de la fraction A; la teneur en grains éolisés des autres catégories est faible. Dans la zone de contact entre les deux phases et dans les langues de dégradation, l'homogénéisation a entraîné une contamination éolienne.

La catégorie dominante pour les deux phases est celle des grains (SL) avec 32-40 % et 38-44 % pour I et de 44-68 % et 28-50 % pour II (pour les fractions A et B respectivement).

Les grains (AL) viennent ensuite avec 18-36 % et 42-50 % pour I et de 13-40 % et 48-72 % pour II et les deux catégories.

Les grains émoussés luisants (EL) de la catégorie B ont un très faible pourcentage dans les deux phases et assez faible dans la catégorie A (moins de 26 %).

3.3.3. Taux de feldspaths.

La teneur en feldspaths est variable dans tout le profil, aussi bien dans une phase que dans l'autre, les teneurs étant cependant du même ordre dans les deux. Le taux varie entre 15 % pour les glosses de l'horizon B22t et 23 % pour l'horizon Ap2.

3.3.4. Conclusions.

Deux phases sédimentaires ont été séparées :

Tableau n° XXXVI Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
7.1	Ap1	0-10	3.01	5.08	3.36	4.36	9.96	36.64	22.04	6.56	79.56	6.54	18/82
7.2	Ap2	10-21	2.75	4.27	3.32	4.24	8.56	35.86	33.24	8.36	90.26	8.85	14/86
7.3	B21	21-34	5.20	5.41	4.46	4.26	8.90	37.90	24.94	7.68	83.68	17.04	16/84
7.4	B31	34-50	3.61	5.90	5.36	5.24	11.76	41.36	19.10	7.08	84.54	41.70	20/80
7.5	II B32	50-58	3.80	2.33	1.98	2.02	6.84	47.96	24.36	9.66	90.84	11.27	10/90
7.6	glosses II B21t+A2	58-82	3.38	1.34	1.16	1.60	5.44	62.16	19.76	4.60	93.56	3.15	8/92
7.7	inter-bandes		6.28	2.16	0.76	1.58	4.76	47.60	29.62	5.86	89.42	3.36	7/93
7.8	bandes	82-118	15.60	1.18	0.60	1.24	4.68	35.80	28.08	9.84	79.64	12.43	7/93
7.9	II B22t+A2 inter-bandes		9.69	1.26	0.52	1.26	5.64	37.42	30.22	12.44	86.98	16.44	8/92
7.10	glosses		2.19	1.07	1.24	2.36	8.16	45.36	30.14	8.64	94.60	21.22	11/89
7.11	II B3tg	118-140+	9.10	0.73	0.24	0.64	2.64	35.74	34.66	13.10	86.78	13.12	4/96

FIGURE n° 24 .- PROFIL HP- 7.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

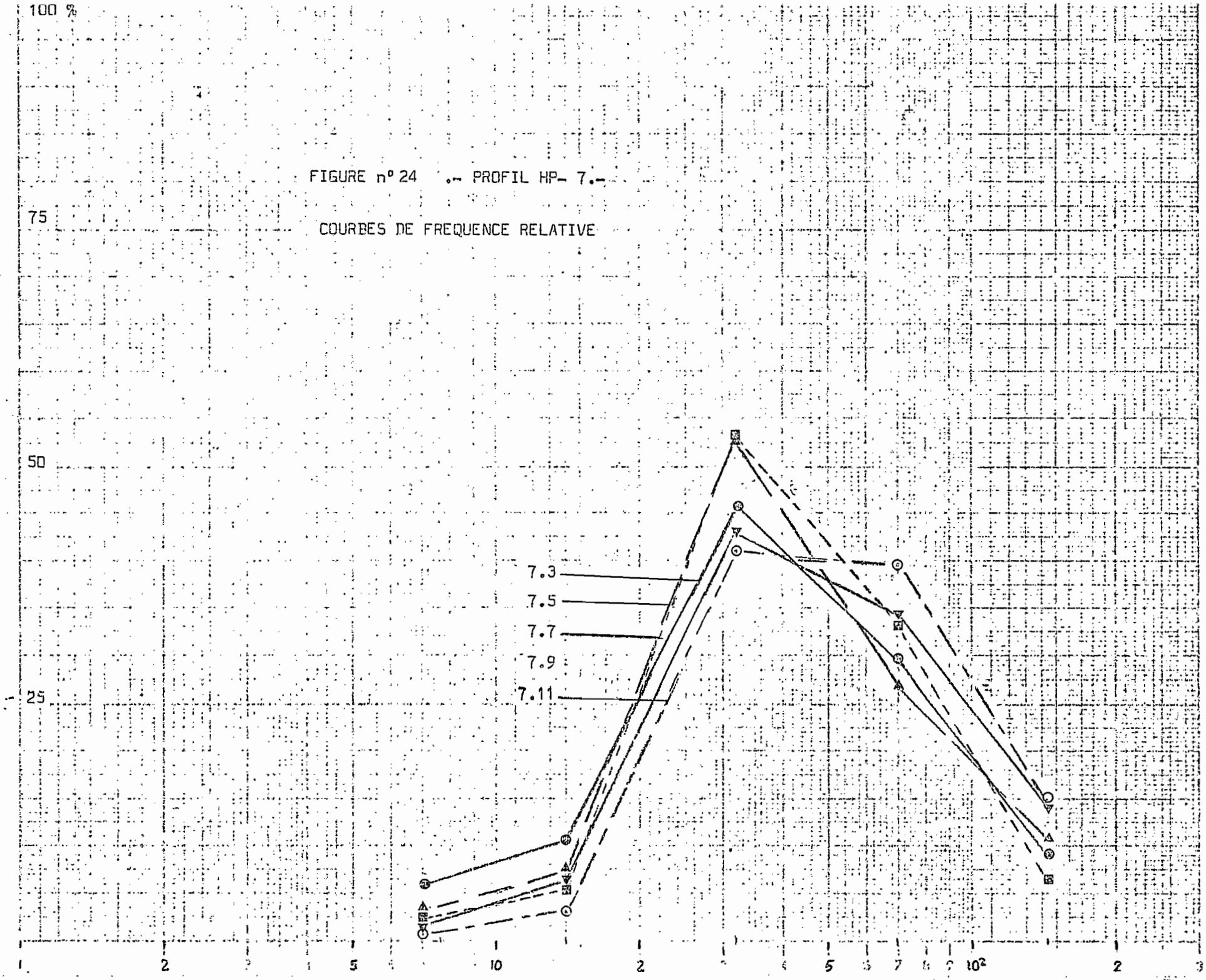
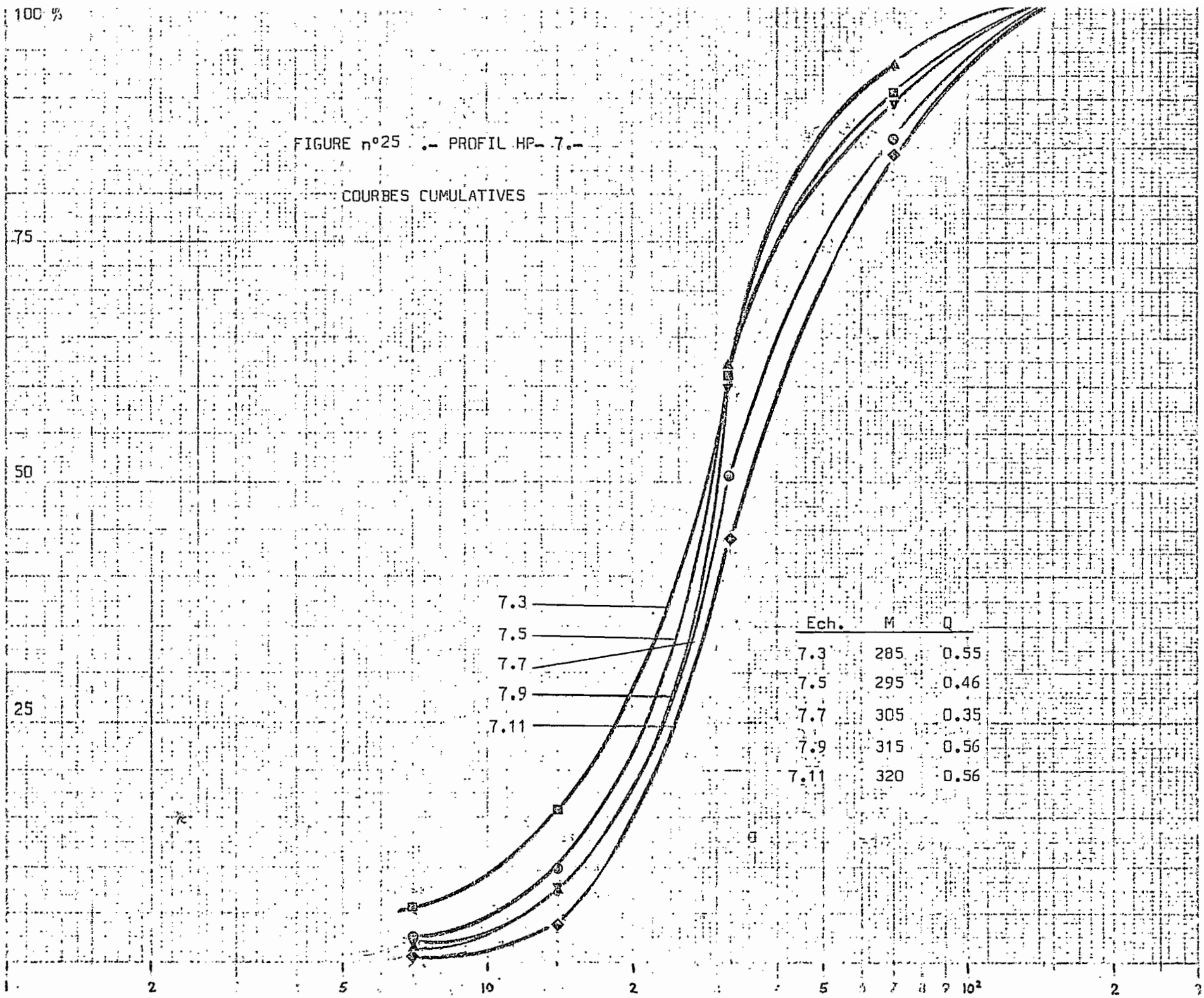


FIGURE n°25 .- PROFIL HP- 7.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Q
7.3	285	0.55
7.5	295	0.46
7.7	305	0.35
7.9	315	0.56
7.11	320	0.56

Tableau n° XXXVII Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
				36	32	18	-	-	-	4	-	10
7.1	Ap1	0-10	83/17	42	42	14	-	-	-	-	-	2
				20	44	17	-	6	-	1	2	10
7.2	Ap2	10-21	77/23	44	44	6	-	-	-	-	-	6
				18	42	26	-	-	-	-	-	14
7.3	B2h	21-34	82/18	46	38	14	-	-	-	-	-	2
				19	41	18	-	7	-	7	2	6
7.4	B31	34-50	84/16	50	44	2	-	4	-	-	-	-
				23	44	18	-	6	1	4	-	4
7.5	II B32	50-58	81/19	56	42	2	-	-	-	-	-	-
				30	48	17	-	2	-	2	-	1
7.6	glosses	58-82	80/20	72	28	-	-	-	-	-	-	-
	II B21t+A2			40	54	6	-	-	-	-	-	-
7.7	bandes		78/22	48	50	2	-	-	-	-	-	-
				20	68	12	-	-	-	-	-	-
7.8	bandes	82-118	81/19	56	36	8	-	-	-	-	-	-
				30	52	17	-	-	-	1	-	-
7.9	II B22t+A2		81/19	62	36	2	-	-	-	-	-	-
	inter. bandes			36	56	8	-	-	-	-	-	-
7.10	glosses		85/15	54	44	2	-	-	-	-	-	-
				13	67	20	-	-	-	-	-	-
7.11	II B3tg	118-140+	79/21	50	42	8	-	-	-	-	-	-

. Une couverture un peu éolisée de surface, remaniée.

. Une phase également sableuse qui constitue le substrat et qui a été enrichie en argile par les processus pédogénétiques.

3.4. Analyses chimiques.

3.4.1. pH.

Ils sont acides pour tout le profil, l'action anthropique a fait remonter le pH aux environs de 5. Le pH des glosses est supérieur de 3/10èmes d'unité à celui des bandes, phénomène que nous avons aussi observé dans d'autres profils.

3.4.2. Capacité d'échange.

Elle est très basse en général; les valeurs les plus élevées se situent dans les horizons Ap, environ 6 mé (richesse en matière organique), et dans les bandes argilliques des horizons Bt (8 mé); pour les autres horizons, elle reste inférieure à 3 mé.

3.4.3. Taux de saturation.

Le profil est très désaturé, le taux étant de 17-20 dans les horizons Ap et inférieur pour les autres horizons.

3.4.4. Bases échangeables.

Dans les horizons Ap et B2h, l'aluminium échangeable est assez élevé; dans les horizons B32 du sol actuel et B2t du paléosol, l'aluminium prédomine largement.

3.4.5. Carbone total.

Sa diminution en profondeur est graduelle; au niveau du paléosol, il est très faible; le taux maximum se situe dans l'horizon Apl (2.6 % de M.O.).

3.4.6. Azote.

Il présente le même comportement que le carbone. Le C/N est relativement stable et inférieur à 12 dans tout le profil;

la phase anthropique a vraisemblablement modifié le processus d'évolution de la matière organique.

3.4.7. Humus.

Sa diminution graduelle en profondeur suit celle de la matière organique; la fraction humifiée constitue à partir de l'horizon Ap2 une partie considérable de la matière organique totale (presque la moitié). Dans les horizons B2t dégradés du paléosol, la faible quantité de matière organique se trouve sous forme humifiée. Les acides fulviques dominent sur les acides humiques dans tout le profil; en surface, la teneur en acides humiques est égale aux deux tiers de celle des acides fulviques. Dans l'horizon B du sol actuel, on note la même proportion; le rapport est de la moitié pour l'horizon B21t du paléosol et beaucoup plus bas pour l'horizon B21t dégradé. Donc, la migration en profondeur est presque exclusivement celle des acides fulviques. La tendance à la polymérisation des composés humiques est très faible.

3.4.8. Fer et Aluminium.

Dans le sol actuel, l'aluminium migre et s'accumule dans le B2h. Par contre, dans les horizons B2t dégradés du paléosol, l'accumulation est forte dans les bandes encore intactes (bandes résiduelles); si l'on compare les analyses au taux d'argile, elle est moins considérable. L'aluminium échangeable suit le même comportement, mais les différences sont plus marquées.

Le fer libre a un comportement semblable à celui de l'aluminium, avec une accumulation dans le B2h (teneur plus forte que celle de l'aluminium) et dans les bandes de l'horizon B2t dégradé du paléosol.

La courbe libre du fer total montre en général la même allure que celle du fer libre avec une tendance à s'en rapprocher dans les plages dégradées des horizons B du paléosol, ce qui nous permet de supposer qu'une grande partie du fer libre qui s'accumule dans les bandes provient de la dégradation sur place des bandes argilliques.

Le rapport Al_2O_3/Fe_2O_3 est inférieur à 1 dans le sol actuel et dépasse l'unité dans les horizons Bt dégradés du paléosol; la libération de l'aluminium par altération (voir dégradation) semble ainsi plus accusée que celle du fer.

Tableau n° XXXVIII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques ‰C MHT	Mat. humiques ‰C AH	Mat. humiques ‰C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
7.1	Ap1	0-10	15.0	2.58	2.44	1.02	1.42	1.25	12.0	0.76	0.05*	0.14	0.01	0.96	5.50	17.
7.2	Ap2	10-21	3.54	0.60	1.45	0.64	0.81	.313	11.3	0.30	0.16	0.15	0.01	0.62	2.40	26.
7.3	B2h	21-34	2.26	0.38	1.04	0.41	0.63	.280	8.1.	0.15	0.09	0.09	0.01*	0.34	3.00	11.
7.4	B31	34-50	1.59	0.27	0.97	0.38	0.59	.213	7.5	0.15	0.06	0.06	0.01*	0.28	2.25	12.
7.5	II B32	50-58	0.80	0.14	0.49	0.21	0.28	.097	8.2	0.30	0.06	0.05	0.01	0.42	2.75	15.
7.6	II B21t + A2 glosses	58-82	0.51	0.1*	0.50	0.16	0.34	.060	8.5	0.30	0.05*	0.04	0.01	0.40	2.45	16.
7.7	bandes		0.51	0.1*	0.43	0.10	0.33	.053	9.6	0.30	0.37	0.06	0.01	0.74	4.00	19.
7.8	II B22t + A2 bandes	82-118	0.36	0.1*	0.33	0.07	0.26	.067	5.4	0.61	0.15	0.15	0.01	0.92	8.25	11.

* traces

Tableau n° XXXIX Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
7.1	Ap1	0-10	4.4	4.0	0.67	0.05	0.32	0.17	0.10	0.29	0.50
7.2	Ap2	10-21	5.0	4.3	0.65	0.03	0.30	0.15	0.10	0.20	0.30
7.3	B2h	21-34	5.1	4.4	1.10	0.10	0.50	0.26	0.13	0.38	0.76
7.4	B31	34-50	5.1	4.4	0.92	0.08	0.40	0.20	0.10	0.40	0.80
7.5	II B32	50-58	5.1	4.5	1.53	0.05	0.36	0.15	0.05	0.33	1.00
7.6	II B21t+A2 glosses	58-82	4.9	4.4	1.47	0.13	0.36	0.14	0.08	0.92	1.62
7.7	bandes		4.9	4.3	3.00	0.20	0.54	0.20	0.10	1.00	2.00
7.8	bandes	82-118	5.0	4.2	5.55	1.13	1.08	0.35	0.33	3.22	3.42
7.9	II B22t+A2 inter bandes		5.0	4.2			0.76	0.23			
7.10	glosses		5.3	4.6			0.26	0.11			
7.11	II B23tg	118-140+	4.9	4.3			0.70	0.22			

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

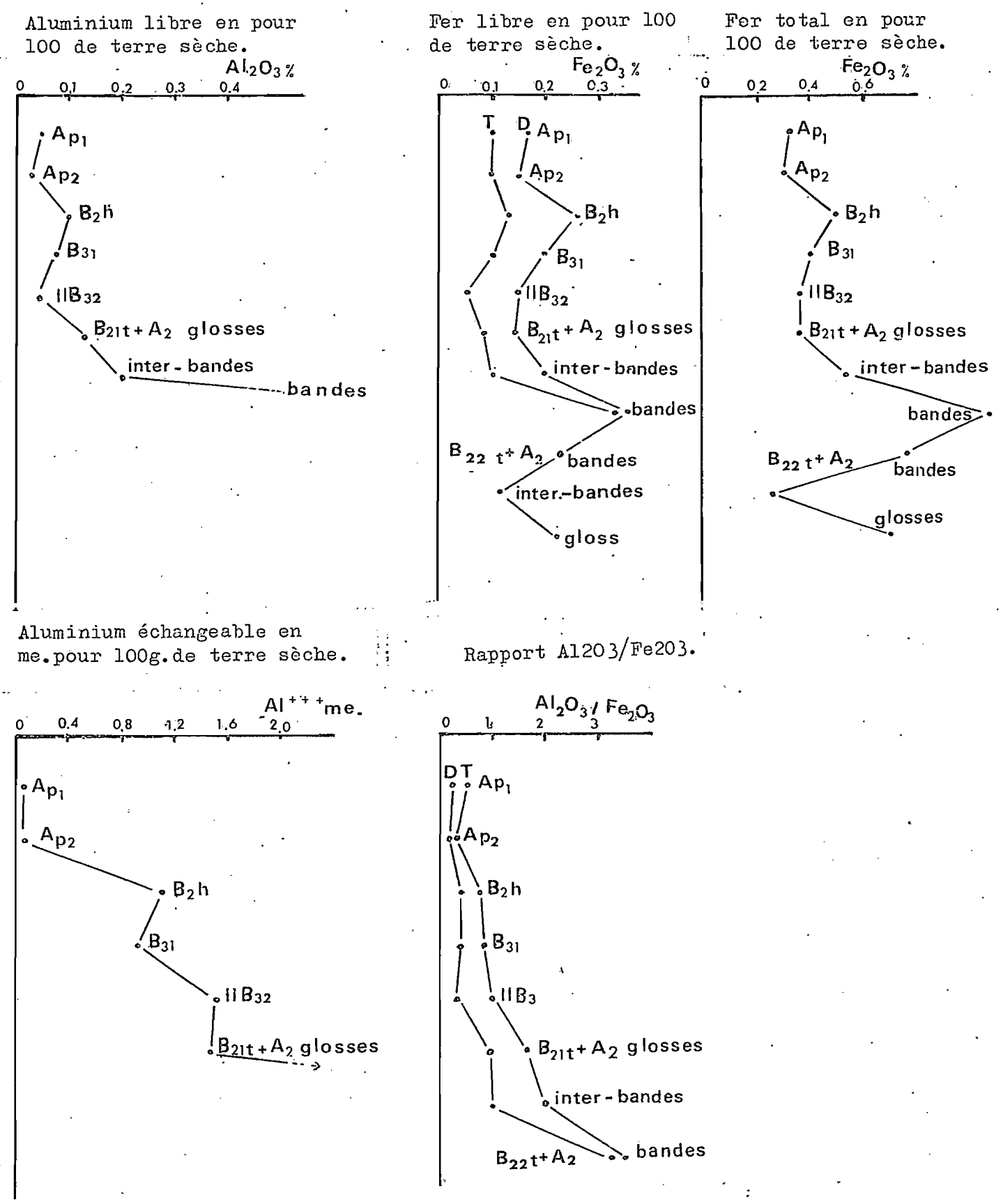


FIGURE n° 26 .- PROFIL HP- 7 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

3.5. Minéralogie des argiles.

Nous retrouvons la séquence minéralogique classique de ces sols complexes.

En surface, sous l'effet de la podzolisation, les illites évoluent par ouverture des feuillets et perte de potassium vers la vermiculite, en passant par les interstratifiés illite-vermiculite. La libération d'aluminium par acidification du milieu lui permet de s'introduire entre les feuillets de la vermiculite pour former la vermiculite-Al.

En surface, nous avons : la vermiculite-Al dominante, puis la kaolinite (héritée), ensuite des traces d'illite et une grande quantité de quartz fin fragmenté, processus observé en Campine par DE CONINCK (1969).

En profondeur, dans les bandes intactes des horizons B2t du paléosol, la montmorillonite prédomine, puis la kaolinite et finalement l'illite. La fragmentation du quartz y est presque nulle. La montmorillonite est bien cristallisée et provient probablement d'un héritage.

Interprétation et conclusions.

Il s'agit d'un profil complexe, les phases de pédogenèse se surimposant aux phases sédimentaires. La succession est la suivante :

. Une première phase sédimentaire de type essentiellement fluviatile est caractérisée sur le plan pédogénétique par le lessivage avec la formation des horizons B texturaux en bandes. Les horizons B2t sont postérieurement dégradés par des glosses qui recoupent les bandes d'accumulation d'argile.

. Une deuxième phase d'apport probablement par le vent, remaniée, fossilise la première. La podzolisation se développe en surface.

L'homme intervient à son tour avec la mise en culture du sol. Cette phase anthropique produit des modifications dans les caractères morphologiques et physico-chimiques du profil. L'horizon d'accumulation podzolique est réactivé du point-de-vue biologique et s'ameublit. Les horizons de surface sont mélangés et enrichis, avec une remontée du pH. Les horizons Ap atteignent une vingtaine de cm. Postérieurement, la culture est abandonnée et la podzolisation commence à se réinstaller, cependant elle reste limitée : nous trouvons un sol podzolique anthropomorphe mais dont l'horizon supérieur est redevenu le plus acide du profil.

Les principaux caractères de la pédogenèse dans ce profil sont les suivants :

1°. Paléopédogenèse.

Elle intéresse le substrat du sol actuel et se caractérise par le lessivage et la formation des horizons Bt en bandes. Le caractère pédogénétique des bandes est indiscutable, en particulier par le caractère lamellaire des ferri-argilanes qui révèle une accumulation en phases successives.

2°. Phases actuelles.

L'évolution actuelle se développe essentiellement dans la couverture éolisée, mais aussi dans le substrat. Nous observons les phases pédologiques quivantes :

. Dégradation des horizons Bt qui a probablement commencé avant la mise en place de la couverture de sables éolisés remaniés et qui se poursuit actuellement;

. La podzolisation, phénomène qui a été modifié par l'intervention de l'Homme, phase anthropique, et qui a repris normalement une fois le sol abandonné;

. L'hydromorphie, phénomène secondaire qui se développe à la base du profil.

a. Dégradation des horizons Bt.

Ce phénomène est caractérisé par :

- La formation des langues de dégradation ou des glosses, le morcellement des bandes argilliques qui finissent par disparaître au sommet de l'horizon;
- La libération et la migration du fer qui s'accumule dans les bandes intactes ou résiduelles;
- La libération et la migration également de l'aluminium qui, à l'égal du fer, s'accumule dans les bandes morcelées;
- La fragmentation faible du quartz.

b. Podzolisation.

La podzolisation a été affectée par l'intervention de l'Homme avec des modifications morphologiques et physico-chimiques du sol. Nous avons déjà discuté ces aspects plus haut. Certains caractères de l'horizon persistent :

. L'accumulation de l'aluminium et du fer libre dans le B2h;

. L'évolution minéralogique des argiles caractéristiques, avec formation de vermiculite-Al;

. La fragmentation poussée du quartz;

. Sur le plan micromorphologique, on ne remarque pas de véritables pellicules de matière organique amorphe sur les grains, mais des boulettes fécales et les produits de leur désintégration.

4. PROFIL HP-2 - COURTAILLES (Haute terrasse).

Le profil HP-2 que nous étudions ci-dessous est un autre membre de la série des profils des moyennes terrasses, à rapprocher du profil HP-7. Les phénomènes de dégradation des horizons B2t sont semblables, mais les manifestations de la repodzolisation sont plus évidentes. Les horizons supérieurs du sol podzolique sont amorcés. En profondeur, on observe des phénomènes de cryoturbation.

Localisation	: Carte de La Ferté-Saint-Aubin 7-8 à 1/25.000ème; x = 584.2; y = 300.6.
Végétation	: Quercus pedunculata, Pinus sylvestris (Erica cinerea), Deschampsia flexuosa, Dicrahum scoparium, Polytrichum formosum, etc ..
Géomorphologie	: moyenne terrasse, station horizontale à subhorizontale
Altitude	: 123 m., + 4-5 m. au-dessus du Cosson.
Matériau du sol	: complexe, sédiments éoliens et fluviatiles remaniés, sablo-argileux en profondeur et sableux en surface.
Drainage	: Bon.
Classification	: Sol podzolique anthropomorphe.

4.1. Description du profil.

0 - 2 cm A 11	: Horizon très humifère - brun très foncé (10 YR 2/2) - sableux - nombreuses racines vivantes et mortes, mal décomposées - grains de quartz nus - limite inférieure nette irrégulière.
2 - 8 cm A 12	: Gris très foncé (10 YR 3/1) - sableux grossier - structure particulaire - assez humifère - grains du squelette quartzeux nus - nombreuses racines fines dans la masse, chevelu - friable - limite inférieure nette et régulière.
8 - 18 cm A2	: Gris brunâtre clair (10 YR 6/2) - sableux grossier - quartzeux - peu humifère - racines dans la masse, à tendance verticale - pénétration de A12 dans l'horizon dans des zones liées aux racines - graviers quartzeux peu nombreux (inf. à 5 %) - friable - activité biologique peu intense - limite inférieure nette et régulière (couleur et consistance).
18 - 24 cm B1	: Brun jaunâtre (10 YR 5/6) - sableux, à sable grossier - graviers fins peu nombreux de quartz - des zones plus jaunâtres légèrement plus consistantes - structure particulaire - friable - nombreuses racines fines et grosses réparties dans la masse - limite inférieure nette et régulière.
24 - 34 cm B2h	: Brun foncé (7.5 YR 4/4) - sableux, légèrement plus argileux - structure particulaire à tendance grossièrement polyédrique - assez consistant surtout dans des zones plus rougeâtres - graviers quartzeux peu nombreux (inf. à 5 %) - nombreuses racines moyennes, à tendance plus ou moins horizontale et distribuées dans la masse - quelques canaux biologiques - quelques petites taches foncées - limite inférieure nette et régulière.
34 - 48 cm	: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) - sableux grossier - graviers peu nombreux (inf. à 10 %) - assez homogène - structure particulaire - friable, très légèrement consistant au couteau - racines moyennes - quel-

B3	: ques canaux biologiques - limite inférieure distincte - quelques taches d'hydromorphie, peu nombreuses, peu contrastées et peu nettes à la base de l'horizon.
48 - 74 cm II B21t+A2	: Horizon en bandes - brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) - à bandes brun vif (7.5 YR 5/8) - la limite étant abrupte - certaines zones sont très blanchies - sableux à sable grossier, la matrix et les bandes sablo-argileuses - les bandes occupent 40 % de l'horizon - dans les interbandes matériau très friable et assez compact dans les bandes - structure particulaire - racines rares - activité biologique non décelable - limite inférieure nette marquée par l'apparition d'une discontinuité sédimentaire.
74 - 97 cm II B22t+A2	: Horizon complexe - sablo-graveleux - stratifié, avec des bandes de graviers de 0.5-1 cm et des bandes argileuses d'épaisseur variable, le tout traversé par des glosses ou langues de dégradation. La dégradation se propage préférentiellement dans les couches graveleuses mais sa forme est très irrégulière et contournée. Ce matériau est identique au matériau encaissant et ne perturbe pas la stratification. Les bandes sont sablo-argileuses peu graveleuses assez compactes - couleur brun vif (7.5 YR 5/8) - limite inférieure nette et régulière - à la base lit de graviers.
97 - 102 cm III C	: Rouge jaunâtre (5 YR 5/8) - sablo-argileux - graviers peu nombreux (inférieurs à 10 %) - zone préférentielle d'accumulation de fer - très compacte - une certaine stratification, avec de très minces lits de graviers - massive - liserés horizontaux avec une intensité variable de rouge - limite inférieure distincte et régulière.
102 - 155 cm	: Stratifications complexes avec des déformations dues à la cryoturbation - sablo-argileuses dans l'ensemble avec des strates et des poches sablo-graveleuses - brun très pâle (10 YR 7/3) - des taches d'hydromorphie et de petites poches de dégradation, les premières ocre, irrégulières, peu contrastées et peu nettes - un gros liseré rougeâtre contourne la partie graveleuse - vers

: la base du profil, les taches d'hydromorphie deviennent plus abondantes.

4.2. Sédimentologie.

4.2.1. Granulométrie.

Le profil est complexe, le matériau est hétérogène. A la base du profil, on observe des déformations de cryoturbation. Les résultats analytiques nous confirment les observations sur le terrain; nous avons séparé trois phases sédimentaires principales dont les deux premières correspondent à celles que nous avons décrites dans les sols précédents. Leur distinction y est cependant moins nette et l'ensemble du profil est plus hétérogène.

- Phase I : (0-48 cm), sableuse avec un taux de sables de 76-89 % et une prédominance des sables moyens (36-41 %). Les graviers et petits cailloux constituent moins de 10 %. Les limons fins et grossiers constituent moins de 14 % et l'argile est encore plus faiblement représentée.

  a. (0-34 cm). La couche superficielle, mêmes caractères généraux; le rapport SF/SG est de 18/82 - 21/79;

  b. (34-48 cm). Transitionnelle vers la phase suivante, elle est enrichie en éléments grossiers; le rapport SF/SG est de 17/83.

- Phase II : (48-97 cm). Elle présente la même richesse en sables que la phase I, le pourcentage des graviers et des gravillons augmente nettement, pouvant atteindre 25 %, les taux des sables grossiers augmentent également; les rapports SF/SG sont plus bas : 14/86 et 16/84.

- Phase III : (97-155 cm). Elle est hétérogène et cryoturbée. Le taux d'argile augmente et celui de limon diminue; des poches et des strates graveleuses alternent avec des strates plus fines.

L'hétérogénéité du matériau apparaît nettement à l'examen des courbes de fréquence relative, toutes les courbes sont différentes, celle correspondant à la phase superficielle (2.5) présente une fréquence maximale pour les sables moyens et est similaire aux couvertures éolisées des profils précédents des moyennes terrasses.

Tableau n° XL Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
2.1	A_{11}	0-2	2.56	3.68	3.28	4.06	10.84	36.76	17.60	7.48	76.74	5.68	19/81
2.2	A_{12}	2-8	2.19	3.67	4.26	4.84	11.64	39.58	20.54	7.62	84.22	2.52	20/80
2.3	A_2	8-18	1.81	3.56	2.76	4.46	11.20	41.04	23.54	9.04	89.28	8.24	18/82
2.4	B_1	18-24	3.41	6.19	4.64	5.02	11.34	38.38	20.38	8.44	83.56	6.76	20/80
2.5	B_{21}	24-34	4.60	7.87	5.96	5.16	11.60	37.24	18.94	6.96	79.90	6.40	21/79
2.6	B_3	34-48	2.14	6.91	5.76	3.32	10.20	35.80	22.46	9.44	81.22	13.29	17/83
2.7	II $B_{21t}+A_2$ bandes	70	15.52	4.33	2.46	3.48	6.88	30.36	25.50	8.76	74.98	13.16	14/86
2.8	II $B_{22t}+A_2$ int. bandes	74-97	3.17	3.42	2.36	4.80	9.16	27.76	27.24	19.70	88.66	25.61	16/84
2.9		97-102	12.15	2.31	1.26	1.94	3.78	33.86	28.56	14.38	82.52	25.57	7/93
2.10	III C	120	17.88	8.57	9.16	12.50	13.24	20.68	11.54	4.36	62.32	6.77	41/59
2.11		130	17.14	1.91	1.00	1.96	5.48	16.58	24.28	29.06	77.36	53.75	10/90
2.12		144-	18.36	1.46	0.94	1.50	39.20	31.22	3.74	0.26	75.92	traces	54/46

FIGURE n° 27 .- PROFIL HP- 2.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

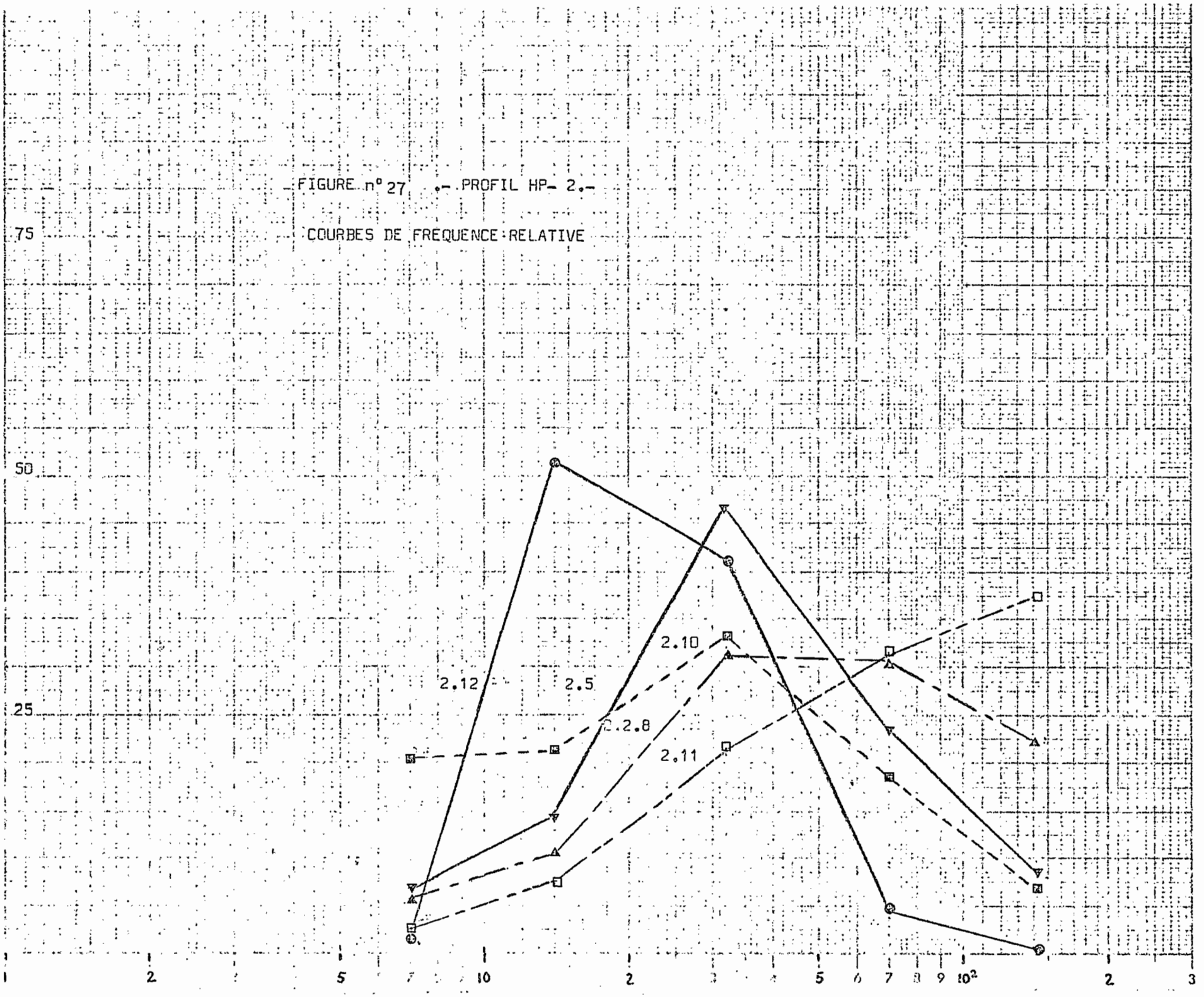
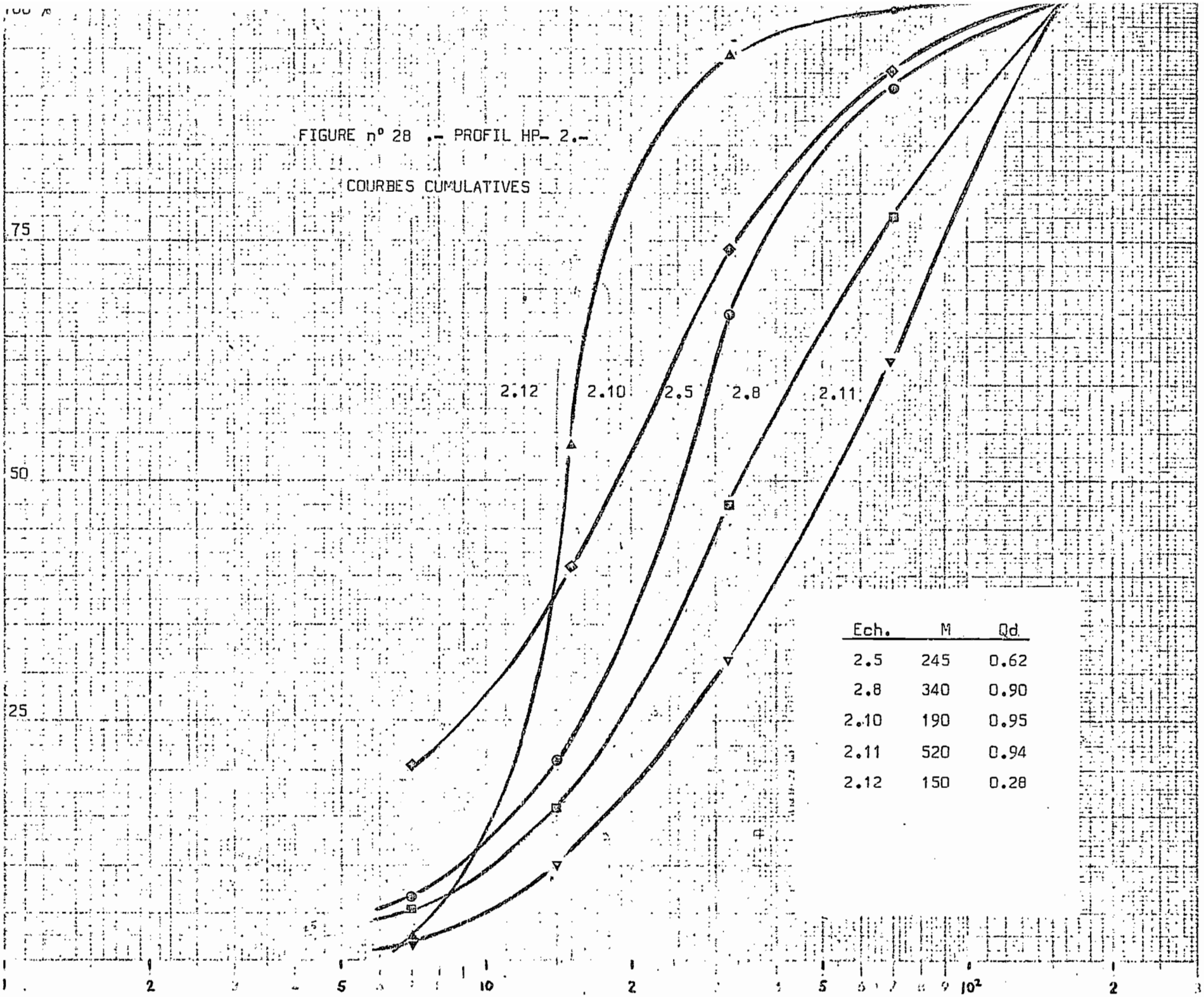


FIGURE n° 28 .- PROFIL HP- 2.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd.
2.5	245	0.62
2.8	340	0.90
2.10	190	0.95
2.11	520	0.94
2.12	150	0.28

Tableau n° XLI — Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
				20	43	20	–	9	1	4	–	3
2.1	A_{11}	0-2	76/24	32	58	10	–	–	–	–	–	–
				19	48	18	1	6	1	3	–	4
2.2	A_{12}	2-8	83/17	32	62	2	–	4	–	–	–	–
				12	50	17	1	11	1	6	–	2
2.3	A_2	8-18	75/25	38	50	8	–	4	–	–	–	–
				10	60	12	–	12	–	–	–	6
2.4	B_1	18-24	74/26	32	64	4	–	–	–	–	–	–
				8	70	12	–	2	–	–	–	8
2.5	B_{21}	24-34	82/18	32	58	2	–	4	–	–	–	4
				24	62	10	–	–	–	–	–	4
2.6	B_3	34-48	74/26	42	48	10	–	–	–	–	–	–
				10	78	6	–	–	–	2	–	4
2.7	II $B_{21t}+A_2$ bande	70	84/16	48	40	8	–	–	–	–	–	2
				12	43	17	–	6	–	7	–	15
2.8	II $B_{22t}+A_2$ interbande	74-97	75/25	34	42	14	–	–	–	–	4	6
				26	26	16	–	10	–	–	–	22
2.9		97-102	76/24	30	36	14	2	–	2	–	–	16
				14	40	20	–	–	–	–	–	26
2.10	III C	120	84/16	24	38	18	–	6	–	–	2	12
				22	54	22	–	–	–	–	–	–
2.11		130	71/29	36	48	16	–	–	–	–	–	–
				20	60	20	–	–	–	–	–	–
2.12		144 -	71/29	30	50	20	–	–	–	–	–	–

Les courbes cumulatives montrent la même tendance, la forme générale rappelle le type fluviatile à l'exception de la courbe (2.12). Les médianes varient entre des limites assez larges, entre 0.15 et 0.52 mm. La médiane de la couverture éolisée est semblable à celle des autres profils examinés, ce qui renforce le caractère régional de ce type de sédiments.

4.2.2. Morphoscopie des sables.

Nous observons qu'il existe une contamination éolienne affectant l'ensemble du profil. Cette action est particulièrement intense au niveau de la phase II. Dans les horizons déformés par cryoturbation, cette action n'est pas apparente.

L'action éolienne se manifeste dans les horizons compris dans la phase I par un taux très faible des grains ronds-mats typiques (moins de 8 % pour la fraction A) et par un pourcentage relativement élevé de grains éolisés des diverses catégories (19 %). Dans les horizons appartenant à la phase II, le taux de grains ronds-mats est très important par rapport aux grains éolisés et aussi en valeur absolue (26 %). L'action éolienne se manifeste peu sur les grains de la fraction B.

Les grains subanguleux luisants (SL) sont les plus abondants dans tout le profil, avec un taux qui varie entre 26-78 % (fraction A) et 36-64 % (B).

Les grains anguleux luisants (AL) sont moins importants que les subanguleux luisants (SL), mais sont bien représentés dans la fraction B (24-48 %).

Les grains émoussés luisants (EL) dépassent à peine 20 % pour les deux fractions.

4.2.3. Taux de feldspaths.

Assez variable dans tout le profil, même taux pour les deux premières phases, avec une teneur moyenne de 22 %; pour la phase profonde, elle monte à 29 %.

4.2.4. Conclusions.

Trois phases sédimentaires ont été déterminées :

. Une phase faiblement éolisée, présentant une fréquence maximale pour la fraction moyenne;

. Une phase plus grossière, fortement éolisée, remaniée, enrichie en graviers et probablement mise en place par action fluviatile;

. Une phase fluviatile affectée par des déformations de cryoturbation.

4.3. Analyses chimiques.

4.3.1. pH.

Il est acide dans tout le profil, pour les horizons A du sol actuel, il varie entre 4.1-4.6. Dans les horizons B, celui-ci remonte à 5.1-5.5, pour redescendre ensuite dans les horizons Bt du sol ancien;

4.3.2. Capacité d'échange (T).

Elle est très basse dans tout le profil à l'exception des horizons humifères et des bandes argilliques des horizons Bt. Le taux maximum se situe dans l'horizon A11 (16 mé);

4.3.3. Taux de saturation.

Le taux de saturation faible à très faible se situe entre 20-30 % dans le sol actuel; le sol ancien est très désaturé, le taux est inférieur à 20 %;

4.3.4. Cations échangeables.

Dans les horizons humifères de surface, l'hydrogène prédomine, puis le calcium apporté par la litière. A partir de l'horizon A2, l'aluminium échangeable dépasse le calcium, pour atteindre des valeurs assez élevées dans les horizons B2h et les bandes argilliques de l'horizon Bt du sol ancien (5 mé);

4.3.5. Carbone total.

Il diminue graduellement en profondeur, sauf dans le B2h où s'observe une accumulation relative.

Tableau n° XLII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques ‰C MHT	Mat. humiques ‰C AH	Mat. humiques ‰C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
2.1	A_{11}	0-2	70.5	12.2	6.98	3.95	3.03	3.47	20.3	3.35	0.39	1.10	0.02	4.86	15.60	31.
2.2	A_{12}	2-8	26.4	4.54	5.71	3.07	2.64	1.24	21.3	1.37	0.64	0.42	0.01	2.44	8.90	27.
2.3	A_2	8-18	7.48	1.28	1.48	0.77	0.71	0.397	18.8	0.30	0.16	0.16	0.01	0.63	2.75	23.
2.4	B_1	18-24	4.10	0.70	1.42	0.44	0.98	0.307	13.4	0.30	0.13	0.15	0.01	0.59	2.65	22.
2.5	B_{21}	24-34	3.36	0.58	1.28	0.42	0.86	0.290	11.6	0.36	0.05*	0.17	0.01*	0.59	2.75	21.
2.6	B_3	34-48	1.49	0.25				0.137	10.9	0.30	0.06	0.12	0.01*	0.49	1.90	26.
2.7	II $B_{21}t$ + A_2 bandes	70	0.75	0.13				0.100	7.5	0.61	0.09	0.21	0.02	0.93	7.50	12.
2.8	II $B_{22}t$ + A_2 int. bandes	74-97								0.30	0.05*	0.05	0.01*	0.41	2.00	20.
2.9		97-102								0.30	0.05*	0.19	0.01	0.55	5.25	10.

Tableau n° XLIII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
2.1	A_{11}	0-2	4.1	4.0	0.08	0.05	0.21	0.12	0.10	0.41	0.50
2.2	A_{12}	2-8	4.6	3.7	0.21	0.03	0.23	0.13	0.08	0.23	0.37
2.3	A_2	8-18	4.6	3.8	0.47	0.03	0.20	0.12	0.08	0.25	0.37
2.4	B_1	18-24	5.3	4.7	0.48	0.03	0.38	0.24	0.13	0.12	0.23
2.5	B_{2h}	24-34	5.1	4.6	0.70	0.25	0.47	0.30	0.18	0.83	1.38
2.6	B_3	34-48	5.5	4.7	0.27	0.13	0.35	0.20	0.08	0.65	1.62
2.7	II $B_{21}t+A_2$ haut.c	70	4.7	4.1	5.30	1.25	1.10	0.54	0.38	2.31	3.28
2.8	II $B_{22}t+A_2$ int.bas	74-97	4.8	4.4	1.27	0.30	0.35	0.17	0.13	1.76	2.30
2.9		97-102	4.5	4.1	4.18	0.88	1.20	0.77	0.53	1.14	1.66
2.10	III C	120	4.4	3.9	6.09	1.93		0.33	0.28	5.84	4.02
2.11		130	4.2	4.0							
2.12		144-	4.7	3.9							

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

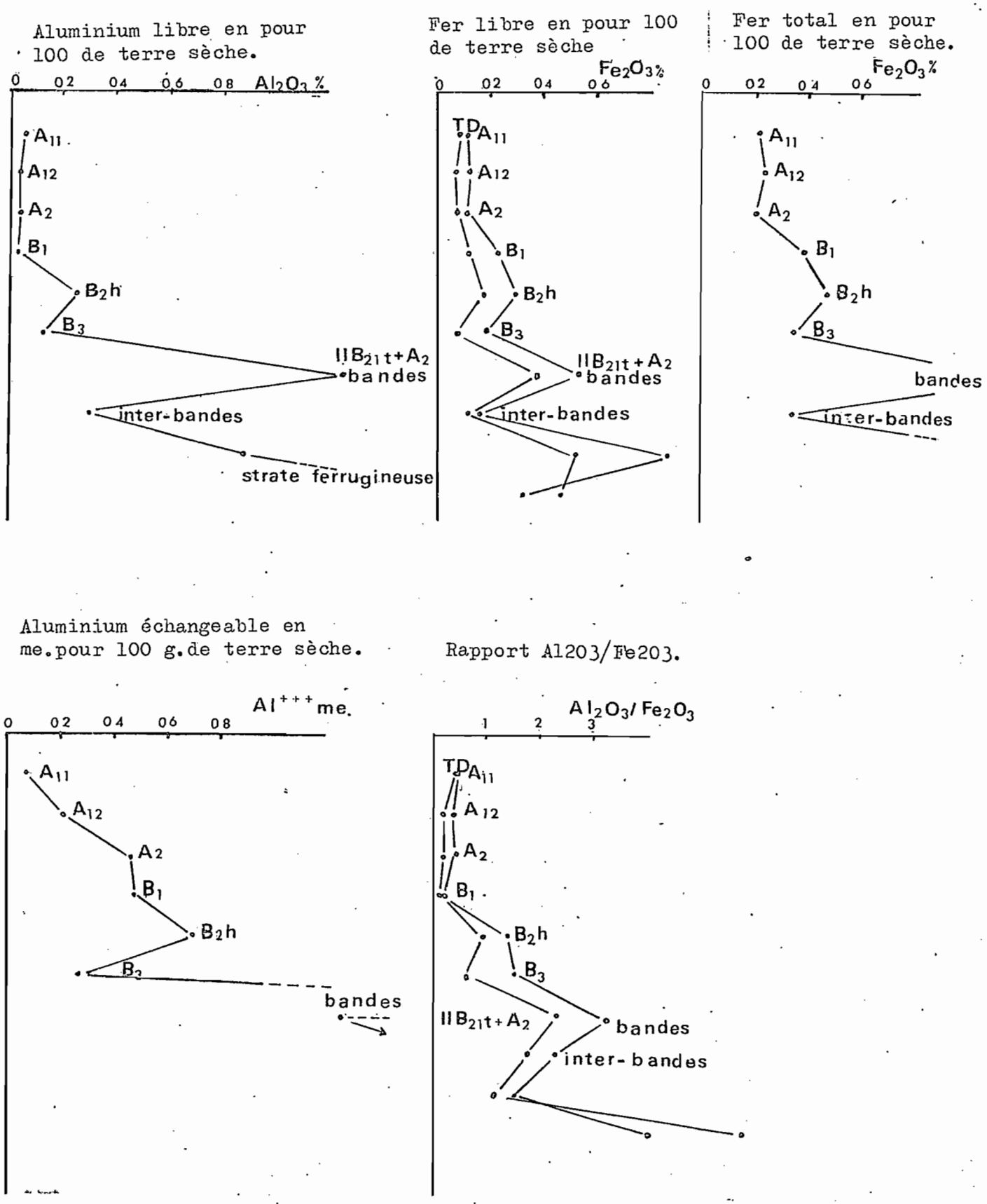


FIGURE n°29 .- PROFIL HP- 2 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

4.3.6. Azote.

On observe la même tendance que pour le carbone; le C/N, élevé, est légèrement supérieur à 20 pour les horizons A11 et A12 et inférieur pour les autres horizons.

4.3.7. Humus.

Le comportement des différentes fractions de l'humus diffère de celui observé dans les profils des moyennes terrasses déjà analysés. Les acides humiques sont légèrement dominants sur les acides fulviques dans les horizons A du sol actuel, par contre, dans les horizons B ce rôle revient aux acides fulviques dont le taux est double de celui des acides humiques. La fraction humifiée de la matière organique représente moins de 30 % de celle-ci. Dans l'horizon B2h, le taux de l'humus par rapport à celui de la matière organique est le plus élevé.

4.3.8. Fer et Aluminium.

Le fer et l'aluminium ont un comportement assez semblable, les deux migrent en profondeur. Pour le sol actuel, le fer et l'aluminium libres s'accumulent dans l'horizon B2h; la migration de l'aluminium étant plus intense, comme l'indique le rapport Al_2O_3/Fe_2O_3 qui est supérieur à 1.

L'aluminium échangeable atteint également un taux considérable dans le B2h.

Dans le paléosol, le taux maximum d'aluminium et de fer libres est atteint dans les bandes des horizons Bt, l'aluminium libre étant largement prédominant sur le fer libre; le rapport Al_2O_3/Fe_2O_3 est supérieur à 3. Une strate d'accumulation de fer en profondeur est aussi enrichie en aluminium.

Une partie considérable de l'aluminium semble provenir de la podzolisation de surface qui s'ajoute à celui provenant de la dégradation des bandes argilliques au sommet des horizons Bt. L'existence des bandes intactes à la base du profil et le niveau plus argileux de type C favorisent les phénomènes d'hydromorphie temporaire et la redistribution du fer, les strates graveleuses de la base constituant une zone de circulation préférentielle de l'eau.

4.4. Minéralogie des argiles.

Nous retrouvons la séquence classique des sols des moyennes terrasses affectés par la podzolisation de surface.

En surface, la vermiculite domine, provenant de l'illite, ensuite vient la kaolinite et finalement l'illite. Une quantité très importante de quartz fin est aussi observée.

En profondeur, dans le sol ancien, la kaolinite devient prédominante, ensuite vient la montmorillonite assez bien cristallisée et finalement l'illite; la vermiculite disparaît et le quartz fin devient peu abondant.

A la base du profil, la montmorillonite devient prédominante, ensuite la kaolinite et finalement l'illite.

Interprétation et Conclusions.

Ce profil complexe présence une séquence semblable aux profils des moyennes terrasses déjà examinés.

Une première phase sédimentaire sablo-argileuse a subi une phase froide de cryoturbation.

Une nouvelle phase sédimentaire est caractérisée par un matériau sableux pauvre en limon et en argile. Il se produit ensuite une phase de lessivage et la formation des horizons B2t en bandes.

Postérieurement, la phase faiblement éolienne de surface (probablement wurmienne) fossilise la précédente et constitue le support du sol actuel.

La podzolisation se développe en surface, la dégradation des horizons Bt se poursuit en profondeur, phase pédogénétique déjà avancée avant la mise en place de la couverture éolisée.

L'Homme intervient dans le sol au stade de sol podzolisé, avec une phase anthropique de culture, moins marquée que pour les sols précédents. Elle suffit pour modifier les caractères du sol dans le sens déjà évoqué; une fois la culture abandonnée, la podzolisation se réinstalle, nous avons un sol podzolique anthropomorphe.

Les pédogenèses se succédant dans le profil sont les suivantes :

1°. <u>Paléopédogenèse</u>.

Caractérisée par une ou des phases de lessivage conduisant à la formation des horizons B texturaux en bandes; la base est plus compacte et a subi les empreintes des périodes froides (déformations de cryoturbation).

2°. Phases actuelles.

Les phénomènes pédologiques fondamentaux sont les suivants :

. Dégradation des horizons Bt en bandes, phénomène vraisemblablement commencé avant la mise en place de la couverture éolisée et qui se poursuit actuellement. Il est accéléré par la podzolisation de surface;

. Podzolisation, phénomène modifié dans son évolution normale par une phase anthropique.

a. Dégradation des horizons Bt.

Elle se caractérise par :

- La formation de langues de dégradation et le morcellement des bandes argilliques. Les discontinuités lithologiques favorisent la propagation du phénomène suivant les strates plus grossières;
- La libération et l'accumulation du fer dans les bandes intactes de l'horizon Bt;
- La libération et la migration de l'aluminium qui s'accumule également dans les bandes résiduelles;
- La fragmentation du quartz, faible par rapport à la podzolisation marquée.

b. Podzolisation.

La podzolisation a affecté le profil avec la même séquence de phénomènes déjà observée dans les autres profils des moyennes terrasses. Une première phase de podzolisation est suivie par une phase anthropique qui modifie les caractères du sol. La podzolisation postérieurement reprend, favorisée par la végétation de landes qui envahit le sol.

Les caractères de l'horizon sont les suivants (pour la plupart des caractères hérités) :

- Accumulation de l'aluminium sous la forme libre et échangeable;
- Evolution minéralogique des argiles caractéristique d'une podzolisation assez avancée caractérisée par la dominance de la vermiculite-Al;
- Fragmentation intense du quartz;

- Matière organique essentiellement sous forme de petits agrégats provenant de la désintégration des boulettes fécales, sans véritables revêtements de matière organique amorphe.

5. PROFIL HP-9 - LA CHEVRIE.

Localisation : Carte de la Ferté-Saint-Aubin à 1/25.000ème; x = 568.2; y = 302.8.

Végétation : Quercus pedunculata, Betula sp., Robinus pseudoacacia, Calluna vulgaris, Erica cinerea, Deschampsia flexuosa, Polytrichum formosum, Dicranum scoparium, Pleurozium scheberi.

Géomorphologie : Moyenne terrasse, station horizontale.

Altitude : 102 m + 3 m au-dessus du Cosson.

Matériau du sol: Alluvion sableuse stratifiée, couverture éolisée en surface.

Drainage : Bon.

Classification : Sol podzolique modal.

5.1. Description du profil.

2 - 0 cm
Ao
: Brun très foncé à noir (10 YR 2/1-2/2) - horizon organique, formé essentiellement de débris organiques et de racines de mousses et de bruyère en état variable de décomposition - nombreux grains de quartz nus.

0 - 5 cm
A 11
: Brun grisâtre (10 YR 5/2) - assez humifère - sableux - à grains de quartz nus, sable moyen à grossier - structure particulaire - quelques graviers quartzeux arrondis (moins de 5 %) - limite inférieure distincte et régulière.

5 - 12 cm
A 12
: Gris brunâtre clair (10 YR 6/2) - sableux, à sable moyen et grossier - peu humifère - quelques racines fines et moyennes, chevelu rare - structure particulaire - quelques graviers - meuble - limite inférieure nette et ondulée.

12 - 19 cm A2	: Brun pâle (10 YR 6/3) - horizon continu mais très irrégulier, avec des langues glossiques qui pénètrent dans l'horizon inférieur - sableux, à sable moyen à grossier - quelques graviers de quartz arrondis - rares petits cailloux ne dépassant pas 2 cm - structure particulaire - rares racines - consistance très friable - limite inférieure tranchée et irrégulière.
19 - 45 cm B 21h	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) - sableux, sable moyen à grossier - structure particulaire - nombreux graviers fins arrondis, quartzeux - faiblement argileux par rapport au précédent - légèrement consistant - racines, chevelu, qui semblent exploiter cet horizon de préférence - présence de bandes fines assez continues, d'une couleur plus foncée, qui semblent enrichies en argile et humus qui représentent moins de 15 % de l'horizon; bandes interrompues au niveau des langues de pénétration du A2 - limite nette et assez régulière.
45 - 60 cm B 22	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) plus clair que l'horizon précédent - taches diffuses claires - sableux, à sable moyen à grossier - riche en graviers quartzeux arrondis - structure particulaire - consistance très friable - rares racines - des bandes brunâtres s'insinuent mais sont très peu apparentes - consistance meuble accentuée dans les parties plus claires - friable - sans racines - limite distincte diffuse dans la partie plus claire meuble.
60 - 102 cm II B21t + A2	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) dominante - présentant des plages d'horizon Bt morcelé, brun vif à rouge jaunâtre (5 YR 5/8 - 7.5 YR 5/8) avec une tendance à se disposer sous la forme de bandes. La partie dégradée représente environ 60-70 % de l'horizon - très friable - parties Bt très consistantes à indurées, enrichies en fer et en Mn sous la forme de petits nodules - nombreux graviers - dans la partie dégradée on observe des taches plus claires diffuses, peu étendues - à la base du profil les bandes Bt sont plus fines et continues - limite inférieure tranchée et régulière.

102 - 123 cm III B22t + A2	: Horizon complexe, finement stratifié - brun jaunâtre (10 YR 6/8) - strates alluviales diverses à base de sables grossiers et graviers fins et de petits cailloux essentiellement quartzeux - à la base, un cailloutis plus grossier (3 - 6 cm) - de fines bandes plus foncées et consistantes, argileuses.
123 - 160 cm IV B3t (g)	: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) - avec de fines bandes brunâtres et des liserés de Mn et concrétions - texture sableuse, pas de graviers.

5.2. Micromorphologie.

Squelette. Le squelette est constitué essentiellement de sables moyens et grossiers. Le taux de limons est très faible. La distribution du squelette n'est pas homogène dans le détail, de petites discontinuités se trouvent au sein de chaque phase sédimentaire, favorisant le dépôt des particules migrant en profondeur.

La nature minéralogique des sables est assez homogène, le quartz domine largement, suivi des feldspaths.

Plasma. Dans l'ensemble, le sol est très pauvre en plasma; dans les horizons de surface, c'est surtout la matière organique qui colore le sol; en profondeur, c'est le fer diffus. La distribution relative est de type granulaire pour l'ensemble du profil. Les parties résiduelles de l'horizon Bt dégradé et les bandes argilliques à la base du profil présentent une distribution de type intertextique.

Assemblage plasmique. L'assemblage asépique domine largement dans tout le profil. Une très faible tendance squelsépique est observée dans le B2h. Il est squelsépique par plages dans les parties résiduelles des bandes argilliques des horizons Bt.

Structure de base. La répartition entre le plasma et le squelette est hétérogène. Le plasma se limite pratiquement aux horizons B2h et aux parties intactes des horizons B2t.

Matière organique. Nous trouvons la même séquence évolutive et la même distribution que pour les profils HP-1, HP-6, etc ... La matière organique se présente essentiellement sous la forme de boulettes fécales plus ou moins désintégrées, qui remplissent parfois les espaces intergranulaires dans les plages où elles tendent à se grouper, ou se plaquent contre les grains du squelette sous la forme de revêtements non typiques d'humus amor-

phes sinon plutôt comme des revêtements complexes, composées des matière organique et du squelette fin. Ils ont une couleur brun jaunâtre en LN et à fort grossissement d'aspect floconneux.

Vides. Les vides d'entassement simples constituent un système très aéré.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. Les cutanes observés sont des argilanes et des ferri-argilanes. Ils sont peu nombreux, moyennement orientés et souvent composés. Des particules fins du squelette sont mélangés à l'argile. On observe en lumière naturelle, sur un fond jaunâtre, une espèce de pointillé qui fait diminuer la biréfringence. Ils sont plus abondants dans les bandes morcelées de l'horizon Bt.

Glébules. Les glébules sont représentés par des nodules de fer peu abondants, de petite taille, qui sont rarement consolidés, dans le B2h et dans le B2t; parfois, le fer se dépose sur les grains et dans les espaces inter-granulaires en combinaison avec la matière organique et l'argile. Quand ils se déposent sur les grains du squelette, ils leur confèrent un aspect "sale" en lumière naturelle.

Interprétation

Le profil se développe sur deux matériaux différents, mais étroitement apparentés, très sableux dans l'ensemble; un substrat sableux plus ou moins stratifié qui a subi une pédogenèse caractérisée par le lessivage et la formation des horizons B2t en bandes suivant les discontinuités lithologiques. On observe la présence des argilanes et des ferri-argilanes dans les bandes. Une deuxième phase sableuse éolisée vient ensuite, où se développe la podzolisation.

Deux phénomènes sont importants dans le profil :

. L'évolution de la matière organique suivant le cycle actuel de pédogenèse;

. La dégradation des horizons d'accumulation formés lors d'un cycle précédent de pédogenèse lessivante.

L'évolution de la matière organique (à partir des horizons B2) a déjà été discutée à propos des profils HP-1, HP-6, etc ...

Elle se trouve sous la forme du produit de la désintégration des boulettes fécales qui ont migré en profondeur, en partie dû au transport des animaux fouisseurs (RIGHI, 1969) ou par migration mécanique directe. Un mélange plus ou moins intime

se produit entre la matière organique et les éléments fins du squelette. Les petits agrégats de matière organique se distribuent dans les espaces intergranulaires ou se plaquent contre les grains. L'évolution vers la forme amorphe n'est pas atteinte.

La dégradation des horizons B2t en bandes, par contre, est très poussée, il ne reste que quelques îlots de B2t intacts sous la forme de pédoreliques où se conservent encore des argilanes de la phase de lessivage. L'homogénéisation (DE CONINCK et al., 1969) est très avancée avec la disparition de la stratification originelle. Le fer est mobilisé et migre latéralement et en profondeur pour s'accumuler dans les bandes résiduelles et dans les bandes intactes de la base du profil. L'assemblage des zones dégradées devient lavé, dépourvu du fer et de l'argile. L'illuviation secondaire d'argile dans ce milieu si pauvre n'a pas été observée.

5.3. Sédimentologie.

5.3.1. Granulométrie.

Le profil est hétérogène, stratifié, très sableux dans l'ensemble et assez riche en graviers fins. Nous avons séparé quatre phases sédimentaires majeures :

- Phase I : (0-60 cm). Sableux, avec un taux de sables de 87-95 % et une teneur en sables moyens et grossiers assez équilibrée. Les sables moyens varient entre 29-32 %, les sables grossiers de 30-36 % et les sables très grossiers de 21-26 %. Les rapports SF/SG se situent entre 10/90 et 14/86. La teneur en limon (moins de 6 %) et en argile (moins de 3 %) est très faible.

- Phase II : (60-102 cm). Sableux, semblable à la phase précédente, mais un certain décalage se produit en direction des sables plus fins. Le rapport SF/SG est de 18/82

- Phase III : (102-123 cm). Souligné par un cailloutis à sa base, il est très riche en sables grossiers et en graviers fins, stratifié, très pauvre en limon (moins de 1 %) et en argile. Le rapport SF/SG est de 1/99.

- Phase IV : (123-160 cm). Egalement très sableux, très riche en sables moyens (81 %), pauvre en gra-

Tableau n° XLIV Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
9.1	A0	2-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.2	A11	0-5	2.64	1.04	1.84	3.36	7.56	29.44	32.24	21.80	94.40	7.04	12/88
9.3	A12	5-12	1.92	1.14	1.88	3.48	7.94	30.34	32.70	19.82	94.28	-	12/88
9.4	A2	12-19	2.11	0.95	2.00	2.48	6.70	26.64	33.66	23.76	93.24	19.45	10/90
9.5	B21h	19-45	5.33	3.56	2.18	3.46	7.64	26.92	27.14	22.60	87.76	-	13/87
9.6	B22	45-60	2.18	1.67	1.90	3.76	9.38	27.24	28.10	23.64	92.12	23.67	14/86
9.7	II B21t+A2 plages arg.	60-102	11.0	1.71	2.42	5.06	9.58	29.56	25.80	13.04	83.04	7.36	18/82
9.8	II B21t+A2 glosses		5.47	1.47	2.88	5.36	10.84	32.40	26.74	13.98	89.32	13.24	18/82
9.9	III B22t+A2	102-123		0.42	0.09	0.16	0.64	12.36	41.16	39.72	94.04	34.06	1/99
9.10	IV B3t(g)	123-160+	8.02	0.01	0.56	1.16	3.64	73.00	10.14	2.16	90.10	4.49	5/95

FIGURE n° 30 .- PROFIL HP- 9.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

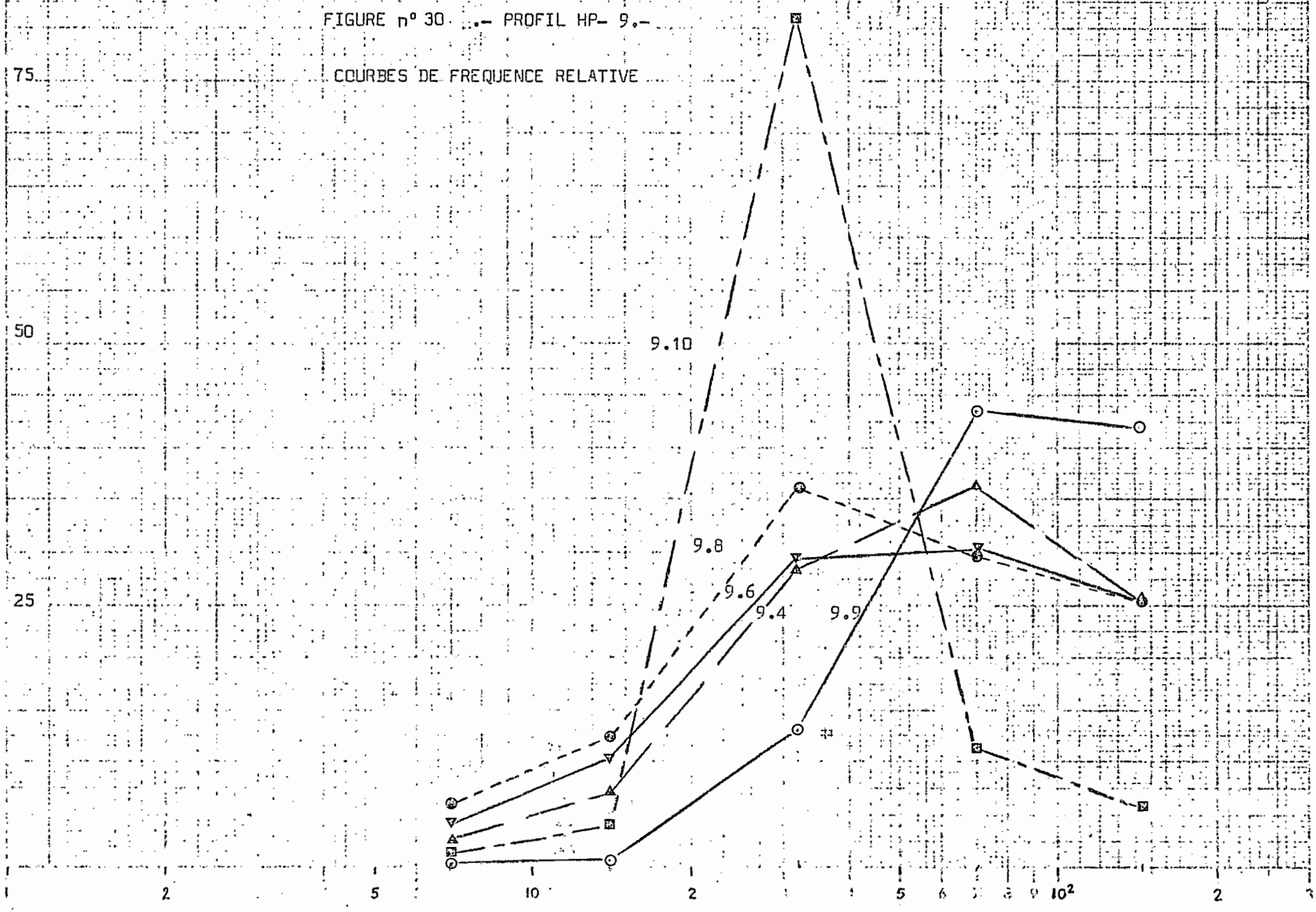
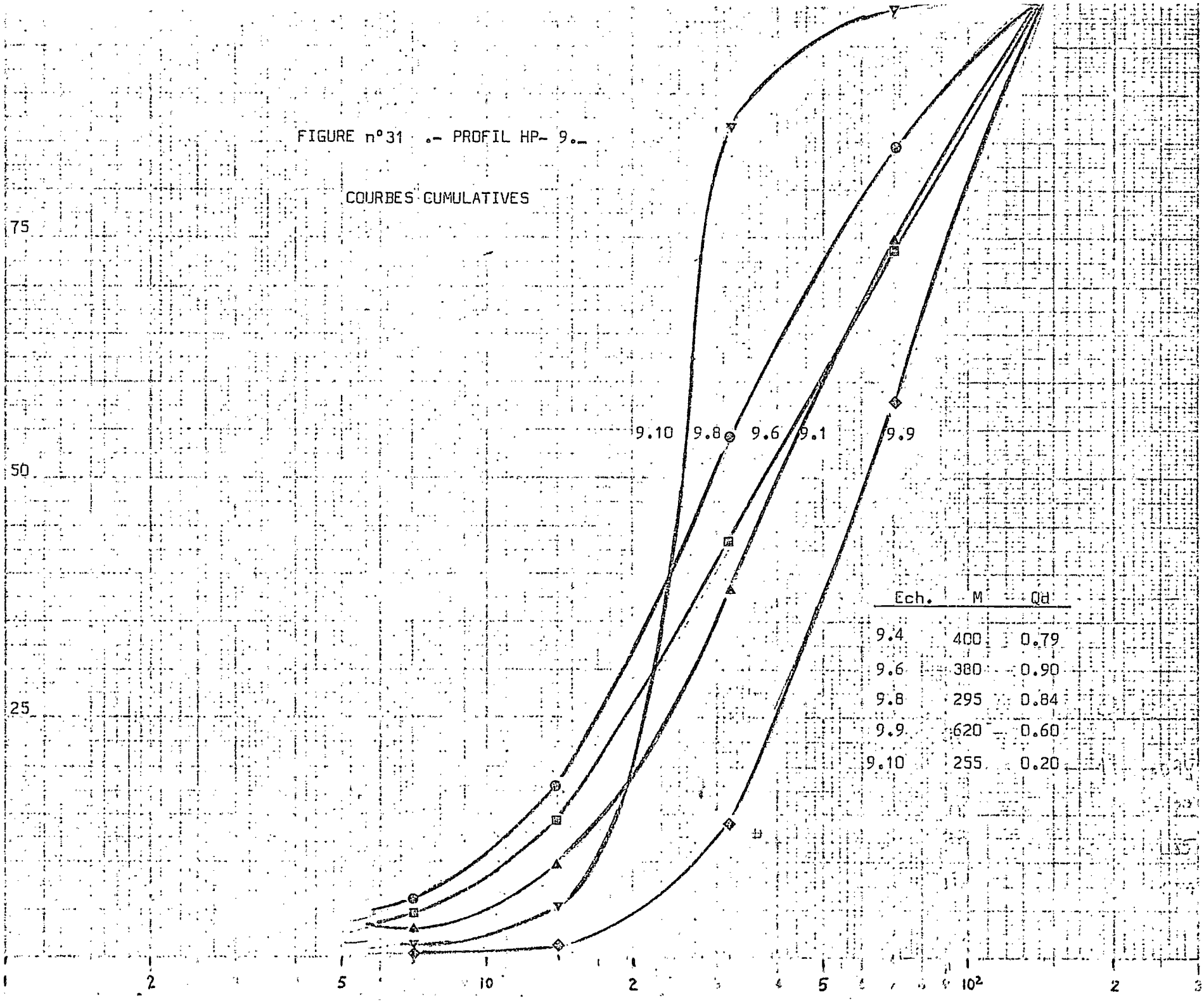


FIGURE n°31 .- PROFIL HP- 9.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd
9.4	400	0.79
9.6	380	0.90
9.8	295	0.84
9.9	620	0.60
9.10	255	0.20

Tableau n° XLV - Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
9.2	A_{11}	0-5		8	72	10	-	4	-	-	2	4
			82/18	24	74	2	-	-	-	-	-	-
9.3	A_{12}	5-12		3	58	10	-	15	1	5	3	5
			84/16	44	54	-	-	2	-	-	-	-
9.4	A_2	12-19		4	84	2	-	8	-	-	2	-
			89/11	26	74	-	-	-	-	-	-	-
9.5	B_{21h}	19-45		14	62	12	-	10	-	-	2	-
			83/17	36	54	10	-	-	-	-	-	-
9.6	B_{22}	45-60		4	51	14	1	17	-	5	2	5
			81/19	26	68	-	-	6	-	-	-	-
9.7	plages Bt	60-102		15	48	21	-	11	-	3	-	2
	II $B_{21}t$ + A_2		78/22	54	42	-	-	-	-	-	-	4
9.8	glosses			12	61	7	-	9	-	7	1	3
			79/21	48	50	-	-	-	-	-	-	2
9.9	III $B_{22}t$ + A_2	102-123		17	50	15	-	29	-	4	-	5
			80/20	44	52	-	-	2	-	-	2	-
9.10	IV B_3t(g)	123-160+		24	56	20	-	-	-	-	-	-
			79/21	58	32	10	-	-	-	-	-	-

: viers fins, avec un rapport SF/SG de 5/95. Les limons presque absents, le taux d'argile de l'ordre de 8 %.

L'examen des courbes de fréquence relative et des courbes cumulatives montre bien l'hétérogénéité du matériau et l'existence des courbes de formes très variées pour les différentes phases sédimentaires.

La phase I (courbes 9.4 et 9.6) a un pic de fréquence maximale très atténué pour la fraction sable grossier et des valeurs assez hautes pour les sables moyens et très grossiers. Ces courbes cumulatives en forme de S très allongés sont presque des droites.

La courbe (9.8) de la phase II est plus ou moins similaire à la précédente, mais présente un seul pic de fréquence maximale pour les sables moyens; le taux des sables grossiers reste cependant assez élevé. La courbe cumulative en S est très allongée.

Les courbes (9.9) et (9.10) des phases III et IV sont très différentes, la deuxième en particulier est fortement triée, avec un pic net pour les sables moyens qui se manifeste aussi bien dans les courbes cumulatives avec un Qdφ très bas (0.23). La courbe (9.9) est nettement fluviatile.

5.3.2. Morphoscopie des sables.

L'examen morphoscopique des sables révèle une action éolienne généralisée dans tout le profil, à l'exception de sa base.

Cette action est faible en général. On observe un pourcentage très faible de grains éolisés d'autres catégories par rapport aux grains ronds-mats typiques. L'éolisation est presque nulle dans la fraction B.

Les grains éolisés varient entre 4 et 32 %; le plus fréquemment, il y en a 16 %, les grains éolisés de 2-10 % et généralement 5 %.

Les Subanguleux luisants (SL) sont les plus représentés pour toutes les phases sédimentaires, étant plus abondants en phase I.

Les Anguleux luisants (AL) sont très peu abondants entre les grains de la fraction A et assez abondants dans ceux du B (44-62 %).

Les Emoussés luisants (EL) sont souvent absents dans la fraction B et constituent moins de 21 % dans la fraction B.

5.3.3. Taux des feldspaths.

Le taux des feldspaths est plus faible pour la phase superficielle, avec une moyenne de 16 %. Cette moyenne tombe dans l'horizon A2 à la suite de la podzolisation. En profondeur, le taux est de 21 % en moyenne.

5.3.4. Conclusions.

Nous avons constaté une contamination éolienne généralisée à tout le profil, mais faible, avec prédominance des grains éolisés des autres catégories par rapport aux ronds-mats typiques.

Les sédiments sont de type fluviatile à la base du profil, et remaniés dans la partie supérieure du profil. Le caractère de véritable terrasse est plus marqué que pour les autres sols des moyennes terrasses, les sables grossiers sont plus abondants et on observe même des strates caillouteuses.

5.4. Analyses chimiques.

5.4.1. pH.

Acide pour tout le profil, fortement acide dans l'horizon Ao, il remonte à 4.6-4.7 dans les horizons A, il est de 4.7-4.8 pour les horizons Bh et de 4.4.-4.5 pour les horizons B du sol lessivé.

5.4.2. Capacité d'échange.

Elle est assez élevée dans l'horizon Ao grâce à la richesse en matière organique, et très basse dans tout le profil. On observe une remontée dans les parties résiduelles de l'horizon Bt.

5.4.3. Taux de saturation.

Il est de l'ordre de 18-32 % pour les horizons de surface; il est très bas (moins de 14 %) à partir de l'horizon A2.

5.4.4. Cations échangeables.

L'hydrogène domine largement dans les horizons supérieurs, à l'exception du B2h et également de l'horizon B2t mor-

Tableau n° XLVI Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques ‰C MHT	Mat. humiques ‰C AH	Mat. humiques ‰C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
9.1	A_0	2-0	127.	21.9	1.00	0	1.00	4.59	27.7	2.98	1.12	0.55	0.07	4.72	26.3	18.
9.2	A_{11}	0-5	10.6	1.82	0.64	0.01*	0.63	.487	21.8	0.60	0.37	0.07	0.01	1.05	3.25	32.
9.3	A_{12}	5-12	3.84	0.66	0.42	0.01*	0.41	.210	18.3	0.22	0.05*	0.03	0.01	0.31	1.50	21.
9.4	A_2	12-19	1.86	0.32	0.22	0.01*	0.21	.107	17.4	0.05*	0.05*	0.03	0.02	0.15	1.05	14.
9.5	$B_{21}h$	19-45	2.56	0.44	0.68	0.01*	0.67	.200	12.8	0.22	0.05*	0.04	0.01	0.32	3.15	10.
9.6	B_{22}	45-60	0.75	0.13	0.01*	0	0.01*	.067	11.2	0.07	0.05*	0.02	0.01*	0.15	2.00	8.
9.7	II $B_{21}t + A_2$ plages Bt	60-102								0.07	0.05*	0.03	0.01	0.21	6.85	3.

* traces

Tableau n° XLVII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
9.1	Ao	2-0	4.1	3.1	0.32	0.040	0.06	0.05	0.044	0.80	0.90
9.2	A11	0-5	4.6	3.4	0.30	0.040	0.06	0.05	0.036	0.80	1.11
9.3	A12	5-12	4.6	3.7	0.38	0.040	0.06	0.05	0.032	0.80	1.25
9.4	A2	12-19	4.7	3.9	0.44	0.040	0.06	0.05	0.036	0.80	1.11
9.5	B21h	19-45	4.8	4.1	0.77	0.140	0.28	0.19	0.116	0.73	1.20
9.6	B22	45-60	4.7	4.2	0.45	0.136	0.14	0.12	0.060	1.13	2.26
9.7	II B21t+A2 plages Bt	60-102	4.5	4.0	4.77	0.352	1.20	0.72	0.376	0.48	0.93
9.8	glosses		4.5	4.2							
9.9	III B22t+A2	102-123	4.5	4.1							
9.10	IV B3t (g)	123-160+	4.4	3.8							

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

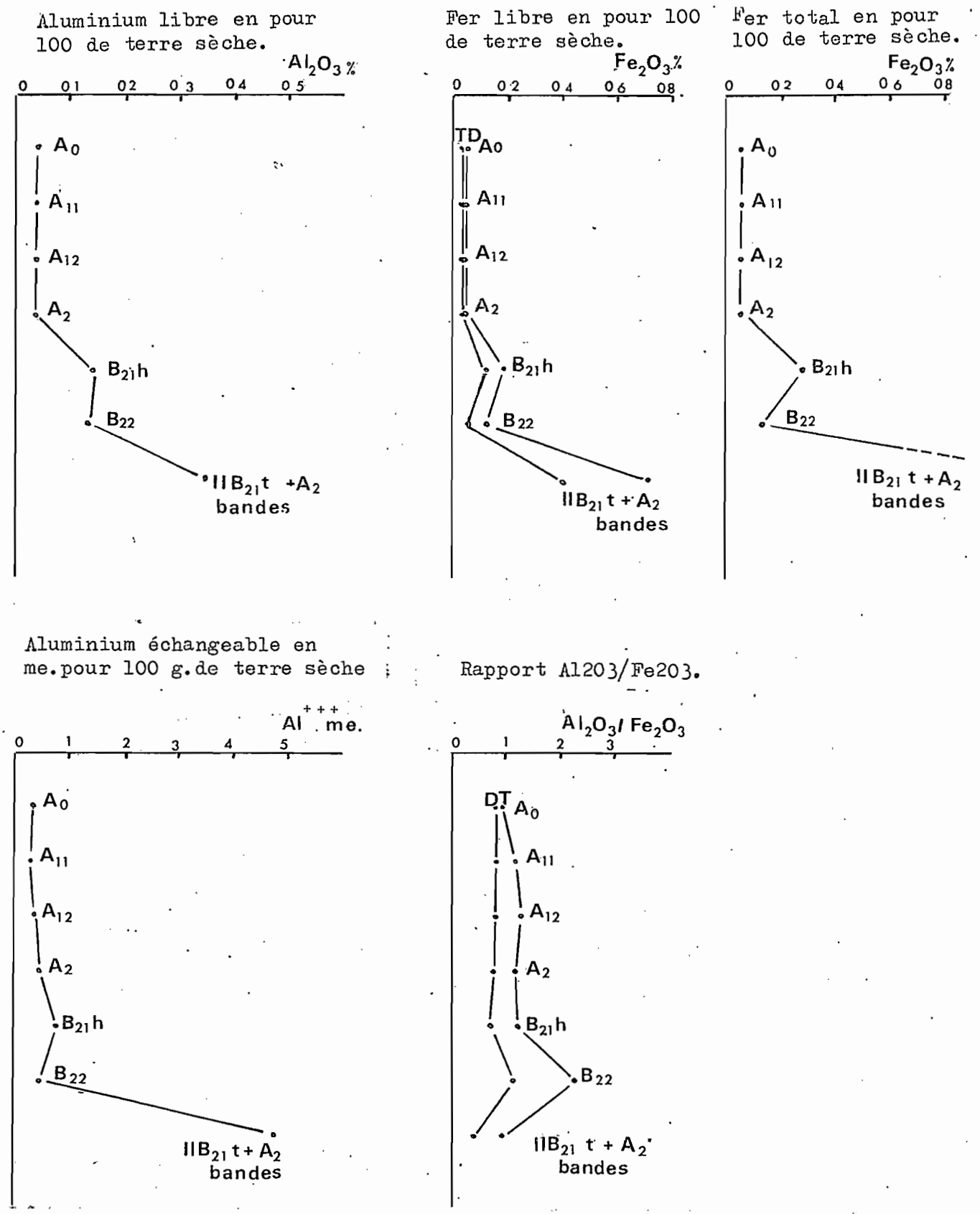


FIGURE n° 32 .- PROFIL HP- 9 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al203/Fe203.

celé du sol enterré où l'aluminium est très important.

5.4.5. Carbone total.

Il est très bas en général dans tout le profil, à l'exception des horizons organique et A11. En profondeur, il diminue graduellement; au niveau du B21h on observe une accumulation sous la forme de bandes.

5.4.6. Azote.

Le sol est plus riche en azote en surface; le C/N est élevé dans le Ao (28) pour descendre dans les horizons humifères à 20 et à 13 dans le B2h.

5.4.7. Humus.

La fraction humifiée de la matière organique constitue une faible partie de la matière organique totale à l'exception de l'horizon B21h où elle est presque complètement sous la forme d'acides fulviques. La tendance à la polymérisation des composés humiques est nulle.

5.4.8. Fer et aluminium.

La teneur en aluminium libre reste constante dans les horizons A; dans les B21h, B22 et les parties intactes du B2t morcelé, il se produit une forte accumulation. L'aluminium échangeable présente une variation analogue. La teneur la plus forte existe dans les parties résiduelles du B2t. Le fer libre a un comportement semblable à celui de l'aluminium. Constant dans les horizons A, malgré une accumulation assez prononcée dans les horizons B, sa teneur y reste cependant relativement faible. Si l'on compare la courbe du fer libre avec celle du fer total, on constate qu'une partie considérable du fer total est sous la forme de fer libre et les courbes ont les mêmes inflexions; ceci peut indiquer une libération du fer sur place par altération des minéraux. En B21 h cependant, l'accroissement de teneur en fer total est relativement plus important que celui en fer libre, par suite du phénomène d'accumulation.

Les rapports Al_2O_3/Fe_2O_3 reflètent ce comportement. L'accumulation de fer et d'aluminium dans les parties intactes de l'horizon B21t nous semble liée à deux phénomènes : d'une part la dégradation des bandes Bt qui libère le fer et l'aluminium et d'autre part la migration en profondeur de ces éléments sous l'ef-

fet de la podzolisation de surface. Finalement, une partie du fer a migré associée à l'argile et une autre isolément (ferri-argilanes et sesquanes).

5.5. Minéralogie des argiles.

Nous retrouvons la séquence classique que nous avons déjà analysée pour les autres profils des moyennes terrasses.

En surface (B21h, sol actuel) dominent la Vermiculite-Al, suivie de la Kaolinite et finalement de l'Illite qui de trouve à l'état de traces. La plupart de l'illite a évolué en vermiculite; une quantité considérable de quartz fin est associée aux argiles.

Dans les parties intactes de l'horizon Bt morcelé, c'est la montmorillonite qui domine suivie de la kaolinite et de l'illite, le quartz fin est encore considérable.

A la base du profil, la montmorillonite bien cristallisée domine nettement suivie de la kaolinite et de l'illite.

La podzolisation est responsable de la fragmentation du quartz, et de la dégradation des argiles, comme le montrent les séquences minéralogiques. La présence de la montmorillonite dans les parties résiduelles du B2t peut s'expliquer de deux façons : soit une migration préférentielle de la montmorillonite lors de la phase de lessivage qui s'est bien conservée à ce niveau à l'intérieur des pédoreliques, soit par la richesse du matériau II, car ce type d'argile a disparu des horizons de surface par suite des processus de podzolisation.

L'illite apparaît nettement dans tous les horizons non affectés par la podzolisation; c'est une argile héritée.

La montmorillonite de la base nous semble également héritée, étant donné les pics très nets et caractéristiques aux rayons-X qui révèlent un minéral bien cristallisé.

Interprétation et Conclusions.

Ce profil est complexe, avec des phases sédimentaires séparées par des phases de pédogenèse.

Une ou deux phases sédimentaires fluviatiles ont été affectées par le lessivage et la formation des horizons Bt en bandes.

Une nouvelle phase d'apport dépose une couverture faiblement éolisée qui fossilise la phase précédente. La podzolisation se développe en surface avec une phase anthropique intermédiaire. La dégradation des horizons Bt en bandes se poursuit en profondeur, favorisée par les acides organiques libérés par la podzolisation de surface; l'homogénéisation des horizons dégradés est très avancée et il ne reste des bandes argileuses que quelques îlots résiduels.

L'Homme intervenant à la suite d'une phase de podzolisation introduit des modifications profondes dans les caractères morphologiques et physico-chimiques du profil. Les horizons de surface en particulier ont été mélangés par la culture. La réactivation biologique de l'horizon B humique contribue à l'ameublir et à diminuer le taux d'humus et surtout le rapport C/N qui devient très bas. Une fois le sol abandonné, la podzolisation a repris. Cette nouvelle phase pédologique est plus nette que pour les autres sols précédemment étudiés. L'horizon Ao assez mince se développe en surface sous une végétation de Bruyères. La production des acides fulviques est limitée, mais la polymérisation est nulle, la migration de l'humus en profondeur et son dépôt sous la forme de bandes humiques sont permis.

Nous observons les pédogenèses suivantes :

1°. Paléopédogenèse.

Pédogenèse caractérisée par le lessivage avec la formation des horizons Bt en bandes. Il est bien probable que la dégradation des horizons Bt commence après le lessivage et avant la mise en place de la couverture.

2°. Phases actuelles.

Elles comprennent :

. Dégradation des horizons Bt qui se poursuit, accélérée par la podzolisation superficielle;

. Podzolisation qui se développe dans la couverture de surface, avec une phase anthropique intermédiaire.

a. Dégradation.

La dégradation se caractérise par :

- une dégradation (homogénéisation) poussée des horizons Bt, il ne reste que quelques îlots résiduels des bandes argilliques;

- libération et accumulation du fer et de l'aluminium dans les îlots résiduels des bandes Bt;

- fragmentation du quartz moins poussée que dans le cas de la podzolisation.

b. Podzolisation.

L'action de la podzolisation est affectée par la phase anthropique qui modifie son expression morphologique; nous avons constaté :

- un horizon B2h à accumulation humique en bandes;
- horizons A constituant une succession-modèle, mais en général peu développés, en particulier le A2;
- accumulation de l'aluminium libre et échangeable dans le B2h;
- migration et accumulation du fer dans les horizons B;
- évolution des minéraux argileux dans le sens de la Vermiculite-Al;
- fragmentation forte du quartz;
- absence de véritables revêtements d'humus amorphe dans le B2h.

Chapitre III

AUTRES PROFILS ETUDIES

Dans ce chapitre, nous avons regroupé les sols observés en aval du secteur proprement dit, les profils HP-10 et HP-11; le témoin du glacis polygénique, le profil HP-4 et un profil situé en position de basse terrasse et qui ne présente pas les caractères hydromorphes, le profil HP-3.

Il s'agit de sols qui n'ont pas nécessairement des caractères communs, mais qui seront interprétés, dans le cadre géographique, en fonction de la toposéquence de référence.

Le profil HP-10 est à rapprocher des sols des moyennes terrasses du secteur de La Ferté-Saint-Aubin autant par sa position dans le paysage (+ 5-6 m au-dessus du Cosson) que par la succession des phénomènes pédologiques.

Il constitue une véritable terrasse stratifiée du Cosson, avec des strates caillouteuses et graveleuses qui ont été recouvertes par des dépôts faiblement éolisés remaniés. C'est donc un profil complexe qui aurait passé par des phases pédologiques intermédiaires de phases sédimentaires. Les phénomènes pédologiques de lessivage et podzolisation ont influencé l'évolution du profil.

Le profil HP-11 occupe une position plus élevée dans le paysage (+ 7 m). Il constitue aussi une véritable terrasse du Cosson, à stratifications variées, horizontales et subhorizontales. En surface, elle est recouverte par des dépôts éoliens remaniés. A la différence des sols des moyennes terrasses, les horizons Bt en bandes sont peu développés. La position de légère pente a probablement favorisé une certaine migration oblique de

l'argile, ou bien l'homogénéisation du profil a été plus développée. La podzolisation constitue le phénomène pédologique actuel. A la base du profil, l'hydromorphie joue sur la dynamique du fer, les strates plus grossières favorisant la circulation préférentielle de l'eau.

Le profil HP-3 correspond au niveau de 1-1.5 m au-dessus du Cosson, par rapport à la toposéquence de référence. C'est la position des sols hydromorphes. Le caractère sableux du matériau à stratification non marquée détermine cependant des conditions de drainage favorables et l'évolution du sol est directement de type podzolique. Cette podzolisation est cependant à son début étant donné la jeunesse relative des dépôts et l'expression morphologique du phénomène est seulement amorcée.

Finalement, le profil HP-4 (Belle-Fontaine) qui constitue notre témoin du glacis polygénique est situé au sommet d'un des lambeaux-témoins du glacis, à l'est de La-Ferté-Saint-Aubin. C'est un profil complexe qui présente la succession géologique et pédologique classique des sols des terrasses anciennes de la Loire décrits par HOREMANS P. (1961).

Du point-de-vue sédimentaire, le profil comprend à la base la terrasse stratifiée ancienne de la Loire, et, au-dessus, la couverture éolisée wurmienne caractéristique, qui a été remaniée.

Sur le plan pédologique, la terrasse ancienne a été soumise à une pédogenèse marquée qui a pu être comparée, dans des régions voisines, à une ferrugination accompagnée de lessivage en milieu tropical (HOREMANS, 1960). On note la formation des horizons Bt en bandes, ensuite fortement dégradés. La couverture wurmienne a fossilisé cette formation. La phase actuelle de pédogenèse est la podzolisation de surface.

1. PROFIL HP-10 - LA GRANGE.

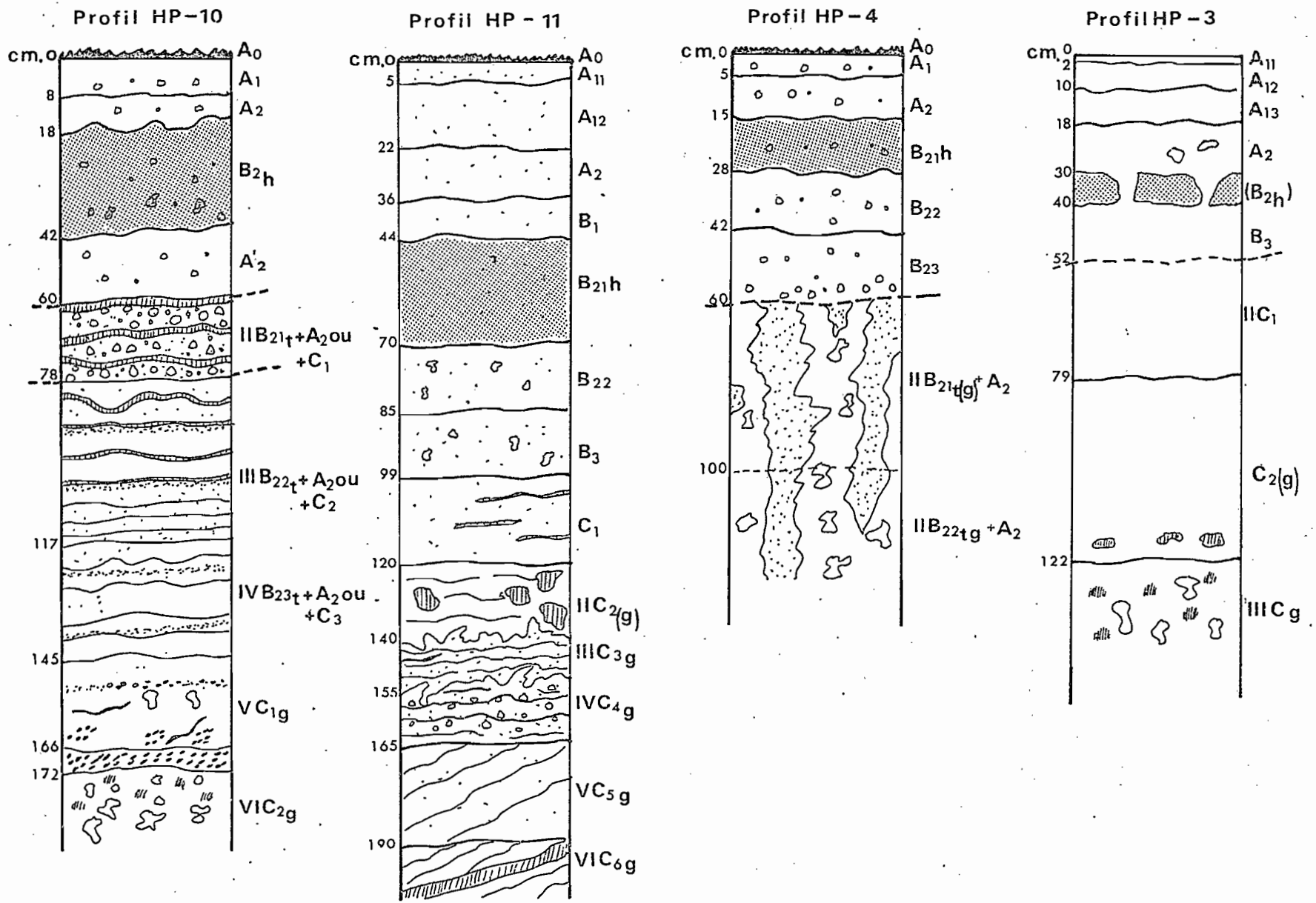
Localisation : Carte de Bracieux 3-4 à 1/25.000ème, x = 559.9; y = 271.1.

Végétation : Quercus pedunculata, Calluna vulgaris, Erica cinerea, Polytrichum formosum, Dicranum scoparium, etc.

Géomorphologie : Terrasse moyenne du Cosson, station horizontale à subhorizontale.

FIGURE n° 33.- SCHEMA

LES AUTRES PROFILS



Altitude : Sol podzolique modal.

Matériau du sol: Complexe, substrat sableux fluviatile, couverture sableuse éolisée, remaniée.

Drainage : Bon.

1.1. Description du profil.

3/4 - 0 cm A0	: Horizon organique d'épaisseur variable, constituée essentiellement de racines de mousses et de bruyères en état variable de décomposition - quelques grains de quartz nus - brun très foncé à noir (10 YR 2/2-1).
0 - 8 cm A1	: Brun grisâtre foncé (10 YR 4-5/2) - assez humifère - sablo-limoneux - quelques graviers et petits cailloux essentiellement quartzeux, plus ou moins arrondis - structure particulaire - nombreuses racines fines à moyennes, chevelu - consistance friable - limite inférieure tranchée et irrégulière.
8 - 18 cm A2	: Brun grisâtre (10 YR 5/2) - clair, avec des taches d'infiltration d'humus peu nombreuses et irrégulières à limite nette, foncées - sablo-limoneux - structure particulaire - quelques graviers et de rares petits cailloux de quartz - très friable - racines fines et moyennes - limite inférieure nette et très irrégulière.
18 - 42 cm B2h	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) - sablo-limoneux - quelques graviers et de rares petits cailloux - structure particulaire - plus consistant que l'horizon A2 - racines à la base de l'horizon - quelques taches plus claires à limites nettes dépourvues de fer - limite distincte et régulière.
42 - 60 cm A'2	: Horizon qui a l'aspect d'un A2 de sol lessivé - brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) - sablo-limoneux - poreux - quelques graviers et rares cailloux - structure particulaire - très friable - racines - limite tranchée et régulière (discontinuité lithologique).

60 - 78 cm II B21t+A2 ou+C1	: Horizon à stratifications sableuses, caillouteuses et graveleuses - couleur des interbandes brun-jaunâtre - présentant des bandes argileuses enrichies également en fer, brun vif (7.5 YR 5/8), d'une épaisseur moyenne de 5 mm (moins de 15 % de l'horizon) - bande plus épaisse au sommet de l'horizon soulignant la discontinuité lithologique - les graviers et cailloux représentent environ 40 % - quartz et quelques silex - assez compact - rares racines - limite tranchée et régulière.
78 - 117 cm III B22t+A2 ou+C2	: Horizon stratifié - strates caillouteuses et sableuses, à sable grossier - jaune brunâtre (10 YR 6/6) - avec des bandes brun foncé argileuses, subhorizontales, ondulées, souvent anastomosées, diminuant vers la base de l'horizon; constituant environ 20 % de l'horizon - limite diffuse.
117 - 145 cm IV B23t+A2 ou+C3	: Horizon semblable au précédent dans l'ensemble, mais matériaux plus fins, pas de cailloutis, graviers plus fins - bandes moins nombreuses et très fines.
145 - 166 cm V C1g	: Horizon stratifié - sablo-graveleux - jaune brunâtre - nombreux nodules et liserés de dépôts de Mn - meuble.
166 - 172 cm	: Strate graveleuse avec graviers complètement enrobés d'une pellicule d'oxides de Mn.
172 - 180 cm VI C2g	: Sablo-graveleux riche en cailloux, taches d'hydromorphie.

1.2. Micromorphologie.

Squelette. Les composants du squelette sont hétérogènes, sablo-limoneux pour la couverture de surface, sableux et stratifié en profondeur. Les sables moyens et grossiers sont dominants.

Du point-de-vue minéralogique, le quartz est largement dominant, suivi des feldspaths et des micas dans les fractions fines. En profondeur, dans la partie stratifiée, on observe des quantités très importantes de magnétite dans la fraction entre 0.1-0.2 mm.

Plasma. Le sol est très pauvre en plasma, dans l'ensemble les couleurs jaunâtres dominent dans le profil, en surface

il y a coloration par la matière organique, et, en profondeur dans les bandes, par le fer qui s'accumule.

La distribution relative est granulaire pour l'ensemble du profil; dans les bandes d'accumulation d'argile et de fer, elle est intertextique, les bandes ne sont pas complètement dépourvues de cutanes, lesquels deviennent très minces et discontinus; il y a donc intergrade entre les distributions granulaire et intertextique.

Assemblage plasmique. L'assemblage plasmique est asépique pour la couverture sablo-limoneuse, squelsépique dans les bandes argilliques et dans les interbandes, squelsépique faiblement développé par plages.

Structure de base. Le plasma est concentré dans les bandes argilliques.

Matière organique. Même évolution que pour les autres profils des moyennes terrasses. La plus grande partie de la matière organique est sous la forme de boulettes fécales désintégrées. La matière organique se trouve intimement mélangée aux éléments fins du squelette. Les pellicules d'humus amorphe ne sont pas évidentes.

Vides. Le système est à base de vides d'entassement simples. Les bandes Bt sont très fines, non agrégées.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. Les cutanes d'illuviation d'argile sont très bien représentés dans les bandes argilliques, nous observons les deux types : des argilanes assez épais fortement biréfringents, de couleur jaunâtre foncé; des ferri-argilanes assez épais, lités, à forte orientation dans les parties moins riches en fer et assez colorées. Les bandes sont caractérisées par une dominance des ferri-argilanes épais, les interbandes par des argilanes minces, parfois discontinus.

Structure primaire. Le matériau du sol est apédique dans tout le profil.

Interprétation

Le profil se développe sur deux matériaux différents : un matériau sableux stratifié, siège de l'accumulation d'argile et de fer provenant de la phase de lessivage et une couverture sablo-limoneuse.

Le problème se pose de savoir si le processus de lessivage a intéressé l'ensemble des deux phases sédimentaires, ou bien, s'il y a eu deux pédogenèses lessivantes, avant et après le dépôt de la couverture éolisée. Dans le premier cas, le sol podzolique se développe dans les horizons supérieurs du sol lessivé, l'horizon entre 42 et 60 cm correspond alors à la base de l'horizon A2 du sol lessivé; la porosité élevée de cet horizon semble confirmer cette hypothèse. Dans le deuxième cas, il y a eu une coupure et les bandes argilliques correspondent aux horizons B2t en bandes du paléosol. Les gros cutanes correspondraient à une phase très active de lessivage à partir d'un matériau plus riche en plasma que la couverture sablo-limoneuse actuelle, et l'horizon entre 42 et 60 cm serait l'horizon C du sol actuel. Le premier cas nous semble plus probable, en particulier par l'aspect poreux de l'horizon typique d'un A2 et non d'un C. La grosseur des bandes au sommet des horizons Bt du paléosol qui suggère un nouvel enrichissement en argile peut être attribuée à une deuxième phase de lessivage à partir de la couverture.

Le processus actuel de pédogenèse est la podzolisation, et l'évolution de la matière organique semble suivre la même tendance déjà discutée pour les autres profils des moyennes terrasses. Il n'y a pas de matière organique sous la forme de véritables pellicules de matière organique amorphe, mais désintégration des boulettes fécales à l'intérieur desquelles on observe un melange intime entre la matière organique et les éléments fins du squelette. Elles se placent dans les espaces intergranulaires et contre les grains du squelette.

1.3. Sédimentologie.

1.3.1. Granulométrie.

Ce profil hétérogène est constitué de deux phases sédimentaires majeures :

- Phase I : (0-60 cm), sablo-limoneux avec une recharge en graviers et petits cailloux, peu abondants; taux de sables entre 77 et 86 %. La répartition des sables fins et moyens est assez considérable. Le taux d'argile est inférieur à 5 %. Les rapports SF/SG entre 37/63 et 51/49.

  a. (0-18 cm). Mêmes caractères généraux, rapport SF/SG entre 37/63 et 38/62;

  b. (18-60 cm). Mêmes caractères généraux, rapport SF/SG entre 49/51 et 51/49).

Tableau n°. XLVIII Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
10.2	A1	0-8	3.81	3.71	6.80	11.36	19.50	28.90	16.50	6.18	82.94	12.85	37/63
10.3	A2	8-18	2.77	3.61	6.76	11.68	20.96	29.52	16.28	7.76	86.20	22.29	38/62
10.4	B2h	18-42	5.02	7.03	9.80	17.44	22.10	22.98	9.98	4.84	77.34	14.66	51/49
10.5	A'2	42-60	4.30	6.57	10.45	17.45	21.10	21.15	12.35	7.15	79.20	16.42	49/51
10.6	II B21t + A2 où + C1	60-78	9.40	1.24	0.70	1.26	4.24	35.80	32.50	13.90	87.70	68.72	6/94
10.7	III B22t + A2 où + C2	78-117	2.13	0.98	0.20	0.58	3.44	25.96	29.62	36.36	95.96	60.20	4/96
10.8	IV B23t + A2 où + C3	117-145	0.89	0.78	0.06	0.26	1.76	23.34	41.82	31.02	98.20	43.36	2/98

FIGURE n° 34 .- PROFIL HP- 10.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

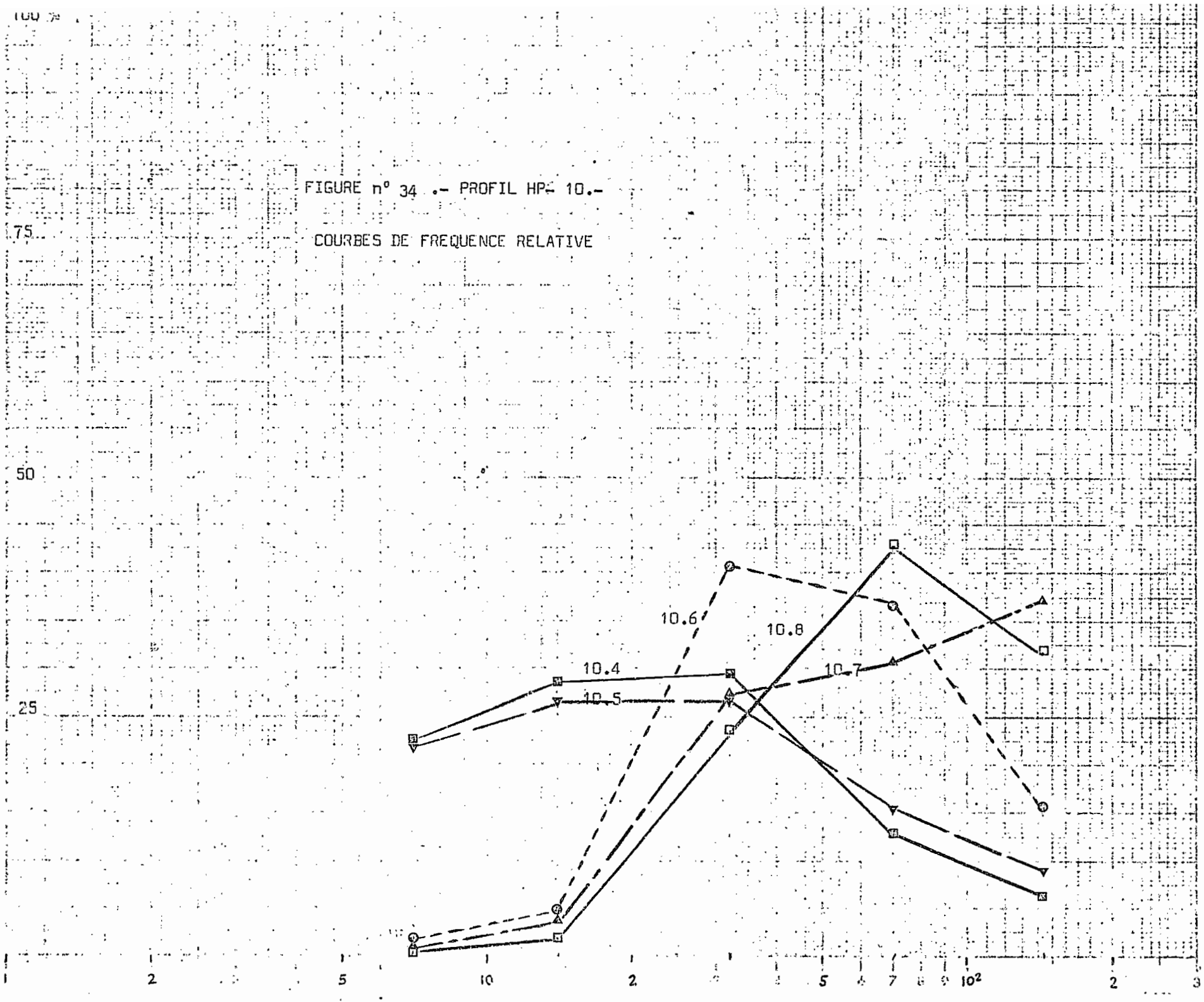
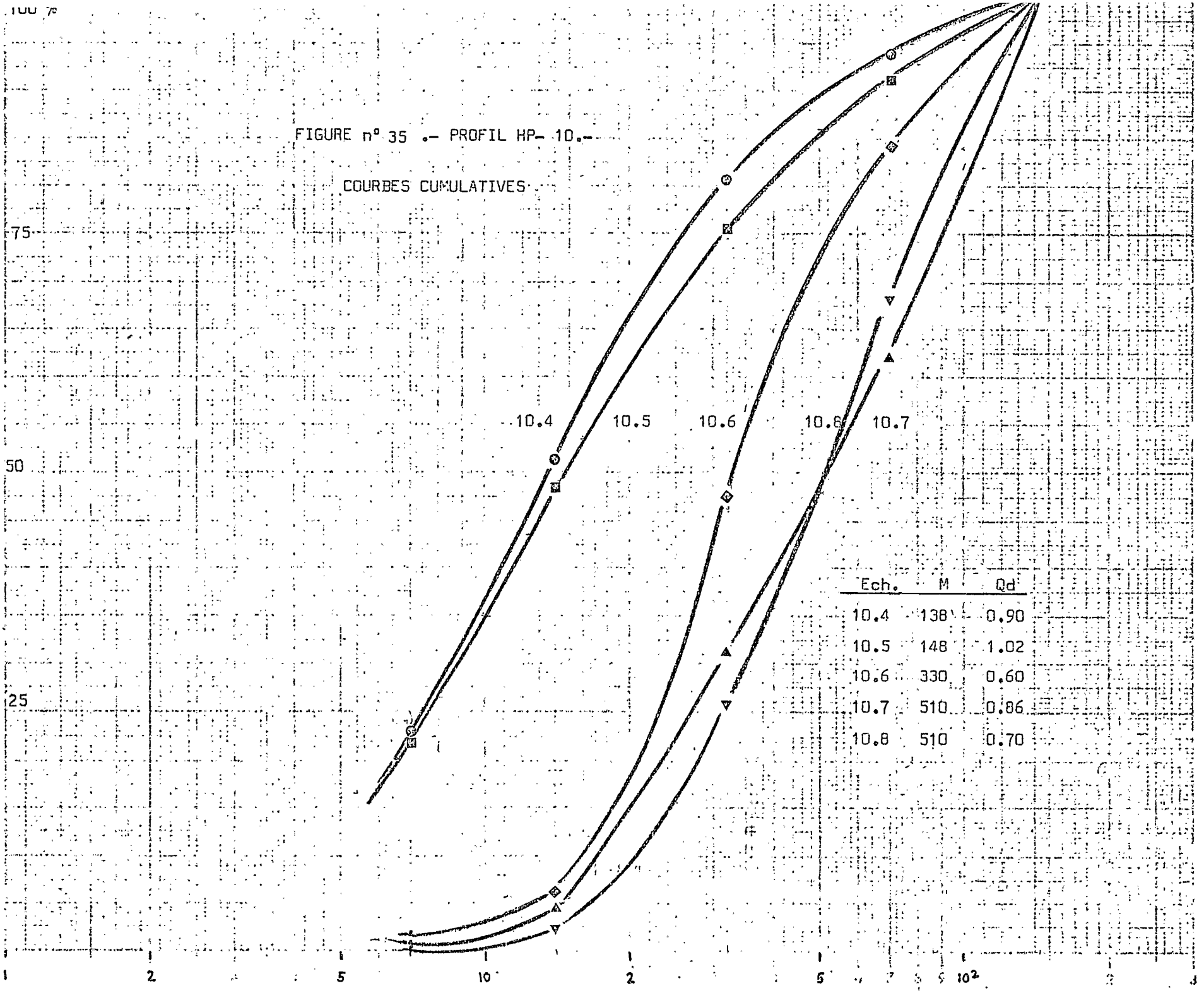


FIGURE n° 35 .- PROFIL HP- 10.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd
10.4	138	0.90
10.5	148	1.02
10.6	330	0.60
10.7	510	0.86
10.8	510	0.70

Tableau n° XLIX Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
				22	28	12	22	2	-	-	2	12
10.2	A1	0-8	83/17	30	40	6	6	8	-	6	-	4
				20	42	6	16	2	-	-	-	14
10.3	A2	8-18	84/16	34	38	4	18	4	-	-	-	2
				6	42	18	-	8	2	16	2	6
10.4	B2h	18-42	74/26	12	50	26	-	6	-	4	-	2
				18	42	4	14	8	-	-	2	12
10.5	A'2	42-60	81/19	42	42	2	10	2	-	-	-	2
				14	22	10	16	6	8	4	-	20
10.6	II B21t+A2 ou + C1	60-78	79/21	32	48	6	10	2	-	-	-	2
				8	34	2	20	4	12	2	6	12
10.7	III B22t+A2 ou + C2	78-117	78/22	14	52	4	22	-	6	-	-	2
				6	52	10	2	-	8	-	-	22
10.8	IV B23t+A2 ou + C3	117-145	80/20	26	42	10	10	-	-	-	-	2

. P h a s e II : (60-180 cm). Constitué de lits fluviatiles stratifiés, avec des lits de graviers et de cailloux, de sables grossiers et fins, etc ... Le matériau est très sableux dans l'ensemble, le taux des sables atteint 87-98 %. Les graviers et cailloux peuvent constituer jusqu'à 69 % de l'échantillon brut. Les rapports SF/SG varient entre 2/98 et 6/94 pour les échantillons moyens. Les strates graveleuses sont presque dépourvues de sables; pour cette raison, l'utilisation des rapports SF/SG est discutable.

L'examen des courbes de fréquence relative montre très nettement la variété des couches fluviatiles dans le profil pour la deuxième phase, toutes les courbes sont différentes (10.6, 10.7, 10.8). Par contre, la première phase est plus homogène (courbes 10.4 et 10.5), non triée, très étalée, sans présenter de fréquences maximales accusées.

Les courbes cumulatives ont la même allure, de type fluviatile à fluviatile remanié. Pour la première phase, les médianes varient entre 138-148 microns et les courbes de la deuxième phase entre des limites plus larges qui vont de 330-510 microns.

1.3.2. Morphoscopie des sables.

Nous observons une contamination éolienne généralisée dans tout le profil. Cette action a été assez forte, comme en témoignent les taux des grains ronds-mats par rapport aux grains éolisés et aux grains d'autres catégories. La teneur varie entre 8-22 % pour les ronds-ovoïdes mats typiques et de 10-38 % pour les éolisés (fraction A).

La catégorie plus importante à l'intérieur des grains éolisés est celle des émoussés picotés qui atteignent dans certains cas 22 %.

Les grains appartenant aux subanguleux luisants (SL) sont le mieux représentés à tous les niveaux du profil; leur taux varie entre 22-52 % pour A et entre 38-52 % pour B.

Les grains anguleux luisants (AL) viennent ensuite, avec un taux faible pour les grains de la fraction A (6-22 %) et un taux plus important pour les grains de la fraction B (12-42 %).

Les émoussés luisants (EL) constituent moins de 18 % pour A et moins de 6 % pour B.

1.3.3. Taux des feldspaths.

Il est assez variable dans le profil; dans la couverture de surface, le taux est faible; en profondeur, dans la phase fluviatile stratifiée, le taux est plus régulier et en moyenne plus élevé (20-22 %).

1.3.4. Conclusions.

Nous avons déterminé deux phases sédimentaires majeures :

. La première concerne la couverture de surface et provient du remaniement d'un matériau fortement éolisé, les cailloux se trouvant dispersés dans la masse. Cette phase est sablo-limoneuse (les sables des différentes fractions sont bien répartis).

La phase profonde a remanié, elle aussi, un matériau fortement éolisé mais est essentiellement fluviatile, les graviers et cailloux se disposant suivant des strates.

1.4. Analyses chimiques.

1.4.1. pH.

Il est très acide dans tout le profil, l'acidification est la plus forte en surface (3.9-4.3) pour les horizons Ao et A1, mais le pH remonte jusqu'à 4.8 dans le B2h. Dans les horizons Bt en bandes du sol ancien, il varie entre 4.4 et 4.7;

1.4.2. Capacité d'échange (T).

Elle est très basse en général, à l'exception des horizons riches en matière organique;

1.4.3. Taux de saturation.

Le profil est très désaturé, le taux de saturation est inférieur à 18 %.

1.4.4. Bases échangeables.

Dans les horizons de surface riches en matière organique et même jusqu'à A_2 à 42 cm, l'hydrogène domine les bases, en particulier le calcium, et ont une importance toute relative seu-

Tableau n° L Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques %C MHT	Mat. humiques %C AH	Mat. humiques %C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
10.1	Ao	3-0	176.	30.3	6.88	2.64	4.24	693	25.4	4.25	1.19	0.85	0.11	6.40	36.3	18.
10.2	A1	0-8	14.7	2.53	4.43	1.64	2.79	.633	23.2	0.52	0.37	0.11	0.03	1.03	5.70	18.
10.3	A2	8-18	3.41	0.58	0.82	0.01*	0.81	.263	13.0	0.05*	0.22	0.08	0.01	0.36	2.65	14.
10.4	B2h	18-42	2.95	0.51	0.91	0.01*	0.90	.330	8.9	0.05*	0.05*	0.08	0.01	0.19	2.75	7.
10.5	A'2	42-60	1.37	0.23	0.23	0	0.23	.120	11.4	0.15	0.05*	0.06	0.01	0.27	1.85	15.
10.6	II B2ht + A2 ou + C1	60-78	1.06	0.18	0.01	0	0.01	.103	10.3							

* traces

Tableau n° LI Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
10.1	Ao	3 - 0	4.3	4.3	0.15	0.080	0.30	0.16	0.068	0.50	1.17
10.2	A1	0 - 8	3.9	3.0	1.08	0.060	0.30	0.15	0.053	0.40	1.07
10.3	A2	8 - 18	4.8	4.1	0.79	0.080	0.32	0.17	0.084	0.47	0.95
10.4	B21h	18 - 42	4.7	4.3	1.02	0.140	0.40	0.23	0.096	0.60	1.45
10.5	A'2	42 - 60	4.7	4.3	1.09	0.108	0.40	0.22	0.052	0.49	2.07
10.6	II B21t+A2 ou + C1	60 - 78	4.4	3.8	4.77	0.288	1.56	0.50	0.165	0.57	1.71
10.7	III B22t+A2 ou + C2	78 - 117	4.6	4.2							
10.8	IV B23t+A2 ou + C3	117 - 145	4.7	4.3							

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

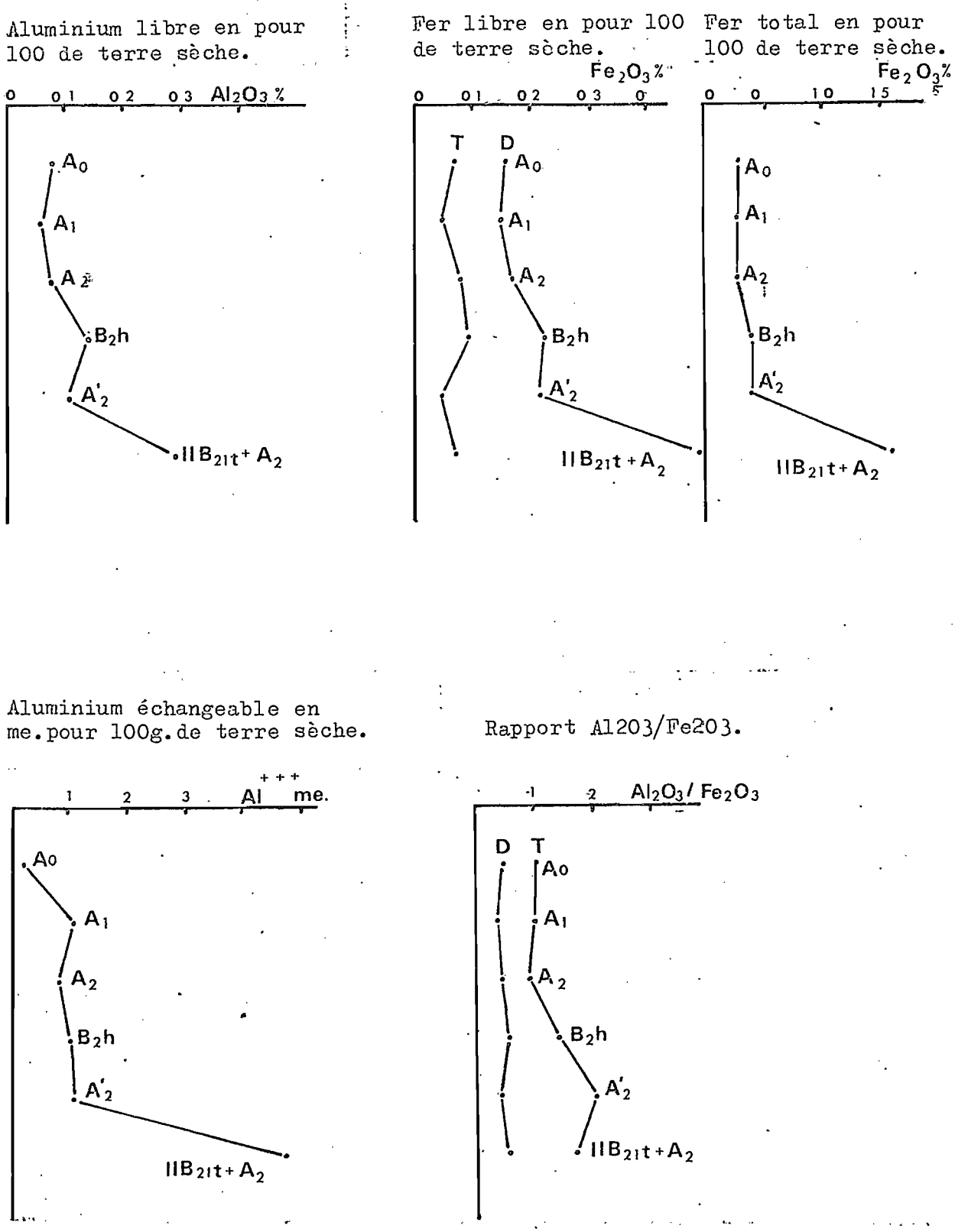


FIGURE n°36 .- PROFIL HP- 10 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

seulement dans l'horizon Ao, et par apport biologique (litière). L'aluminium échangeable devient important à partir de l'horizon B2h et domine largement le complexe dans les horizons Bt;

1.4.5. Carbone total.

Il diminue graduellement en profondeur à partir de l'horizon Al_2 en présentant un palier au niveau de l'horizon B2h. L'horizon A2 est masqué par la pénétration de l'humus;

1.4.6. Azote.

Il diminue en profondeur à l'exception de l'horizon B2h où il augmente considérablement. Le C/N est assez élevé en surface et caractérise un mor-moder (25), pour descendre considérablement dans les horizons B2h (moins de 10), A'2 et Bt du paléosol. Il faut cependant remarquer que les valeurs très basses de l'azote total rendent le C/N assez critiquable.

1.4.7. Humus.

La matière humifiée est constituée en grande partie par les acides fulviques qui, dans les horizons de surface, représentent le double du taux des acides humiques. A partir de l'horizon A2, elle est constituée presque exclusivement par les acides fulviques. La polymérisation des composés humiques est très faible. L'accumulation humique, nette quoique faible dans l'horizon 18-42 cm nous permet de le désigner comme B2h. L'étude micromorphologique nous y a d'ailleurs fait reconnaître les mêmes caractères de la matière organique que dans les horizons analogues des profils précédents.

1.4.8. Fer et Aluminium.

Le comportement du fer et de l'aluminium est assez semblable dans le profil : augmentation légère dans l'horizon B2h et forte dans le Bt. L'accumulation de l'aluminium libre dans le B2h est cependant plus forte que celle du fer libre.

L'aluminium échangeable, peu abondant dans l'horizon Ao, se stabilise ensuite pour augmenter considérablement dans le Bt.

Le fer libre constitue une faible partie du fer total. La podzolisation débutante n'est pas en mesure d'assurer une mobilisation appréciable du fer et de l'aluminium.

Les rapports Al_2O_3 sont assez stables dans le profil (fer, méthode Deb) et inférieurs à l'unité. En utilisant la méthode de Endredy pour le fer, les rapports dépassent l'unité et sont supérieurs à 2 dans les horizons A'2 et B2t.

Nous pouvons conclure que la migration du fer et de l'aluminium sous forme de complexes organo-minéraux est assez limitée. La migration du fer est surtout liée à l'argile lors de la phase de lessivage.

1.5. Minéralogie des argiles.

Nous retrouvons la séquence minéralogique commune aux sols des moyennes terrasses soumis en surface à la podzolisation.

En surface (horizon B2h), la vermiculite-Al prédomine, provenant d'une transformation de l'illite qui subsiste à l'état de traces; ensuite vient la kaolinite qui est héritée. Le quartz fin est très abondant.

En profondeur, la montmorillonite devient prédominante, puis la kaolinite, ensuite l'illite. Le quartz fin est peu important.

Cette évolution nous amène à penser que la géochimie de surface est orientée dans le sens de la podzolisation, même si elle se manifeste peu du point de vue morphologique. La fragmentation du quartz et l'évolution de l'illite sont significatives.

Interprétation et conclusions.

C'est un profil complexe avec une succession de phases sédimentaires et pédologiques très intéressantes.

Une première phase sédimentaire est caractérisée par une terrasse fluviatile stratifiée, sableuse dans l'ensemble. Cette phase est caractérisée par une pédogenèse de lessivage avec la formation des horizons Bt en bandes.

Une nouvelle phase d'apport, de type éolien, remanié, dépose une couverture sablo-limoneuse qui fossilise le sol précédent, tronqué au niveau des horizons Bt.

Cette couverture évolue dans un premier stade en sol lessivé, l'argile d'illuviation s'accumule en surcharge dans les bandes argilliques épaisses au sommet de l'horizon Bt en bandes du paléosol. L'aspect morphologique et la porosité de l'horizon A'2 confirmeraient cette hypothèse. L'acidification progressive du milieu entraînerait postérieurement la podzolisation. Le ca-

rectère sablo-limoneux de la couverture limite la podzolisation et nous avons un sol podzolique.

Les principaux caractères de la pédogenèse du profil sont les suivants :

1°. Paléopédogenèse.

Elle est caractérisée par deux phases de lessivage : l'une dans les dépôts fluviatiles, qui est la plus ancienne, et qui détermine la formation des horizons Bt en bandes avec des argilanes et des ferri-argilanes de grains libres assez épais; l'autre, plus récente, intéresse aussi la couverture sablo-limoneuse et précède la podzolisation; l'argile d'illuviation se dépose en surcharge dans les bandes argilliques de la première phase de lessivage.

2°. Phases actuelles.

La phase actuelle se développe dans la couverture de surface et correspond à la podzolisation. Elle se caractérise par :

- la faible manifestation morphologique des horizons, en particulier de l'horizon A2;
- l'horizon B2h qui présente une accumulation d'humus plus ou moins diffuse;
- la matière organique, de type mor-moder, à haut C/N (26) dans le Ao, mais inférieur à 10 dans le B;
- la production des acides fulviques, assez importante;
- la faible polymérisation des composés humiques;
- la matière organique au niveau de l'horizon B2h, sous forme de boulettes fécales et du produit de leur désintégration, sans formation de véritables pellicules d'humus amorphe;
- le profil très désaturé (taux de saturation inférieur à 20);
- l'évolution des minéraux argileux dans le sens de la Vermiculite-Al;
- la fragmentation poussée du quartz.

2. PROFIL HP-11 - LE PITRE.

Localisation : Carte de Bracieux 3-4 à 1/25.000ème; x = 554.4, y = 296.6.

Végétation : Robinus pseudo-acacia, tapis de Graminées.

Géomorphologie : Terrasse fluviatile recouverte par une formation éolienne remaniée, station subhorizontale.

Altitude : 90 m + 7 m au-dessus du Cosson.

Matériau du sol: Complexe, substrat fluviatile stratifié, sableux à sablo-graveleux dans l'ensemble, recouvert par des dépôts éoliens remaniés assez épais.

Drainage : Bon.

Classification : Sol podzolique anthropomorphe.

2.1. Description du profil.

1 - 0 cm
Ao : Horizon organique formé essentiellement de racines et débris organiques en décomposition - brun très foncé à noir (très irrégulier, remanié).

0 - 5 cm
A11 : Brun grisâtre foncé (10 YR 3/4) - assez humifère - sableux - graviers de quartz fins peu nombreux, arrondis - structure particulaire - meuble - nombreuses racines fines - chaulu - limite inférieure nette et régulière.

5 - 22 cm
A12 : Brun grisâtre foncé à brun foncé (10 YR 4/4-7.5 YR 4/4) - sableux, à sable grossier - nombreux graviers essentiellement quartzeux à arêtes,émoussés - structure particulaire - très friable - quelques racines - limite inférieure tranchée ondulée.

22 - 36 cm
A 2 : Brun jaunâtre (10 YR 5/4) - sableux - quelques graviers - structure particulaire - très friable - rares racines - limite inférieure tranchée ondulée.

36 - 44 cm B1	: Brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4) - sableux - à sable grossier quartzeux - à arêtes émoussées - structure particulaire - friable - rares racines - limite inférieure nette et régulière.
44 - 70 cm B2h	: Brun foncé (7.5 YR 4/4) - sableux - à sable grossier - quelques graviers - structure particulaire - assez consistant par rapport à l'horizon précédent mais meuble - très peu de racines - limite graduelle régulière.
70 - 85 cm B22	: Brun foncé (7.5 YR 4/4), plus clair que le B21h - sableux à sable grossier - quelques graviers - quelques taches plus claires à limite diffuse - structure particulaire - limite inférieure graduelle et régulière.
85 - 99 cm B3	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4-6) - sableux à sable grossier - quelques graviers - très friable - taches plus claires peu abondantes, irrégulières à limite peu contrastée et peu nette - limite graduelle régulière.
99 - 120 cm C1	: Brun jaunâtre (10 YR 5/6) - sableux à sable grossier - quelques graviers - structure particulaire - présente quelques bandes plus foncées, très irrégulières, ondulées, interrompues, qui semblent d'accumulation humique - très peu de taches plus claires, peu contrastées - limite inférieure nette régulière.
120 - 140 cm II C2	: Brun jaunâtre un peu plus clair (10 YR 5-6/6) - sableux à sable grossier - graviers abondants - taches brun rougeâtre légèrement indurées à bords nets et contrastés - nombreuses bandes fines plus foncées irrégulières ondulées interrompues (1-2 mm).
140 - 155 cm III C3	: Strate de circulation préférentielle de l'eau - à sable grossier, riche en graviers, blanchie - nombreuses bandes fines ondulées parfois interrompues d'une couleur plus foncée (moins de 15 %) - limite très irrégulière.
155 - 165 cm IV C4	: Strate similaire mais plus graveleuse et colorée par le fer - présente les mêmes bandes fines.

165 - 190 cm V C5	: Brun jaunâtre foncé - sableux à sable grossier, nombreux graviers - avec des bandes foncées obliques fines, légèrement consistant avec un lit de graviers à la base.
190 - 300 cm VI C6	: Rouge jaunâtre (5 YR 5/10) couleur dominante - stratifications alluviales diverses entrecroisées avec granulométrie variant de sables fins à graviers - quelques liserés de dépôts de Manganèse et de fer - limite inférieure marquée par un caillioutis de base.
300 cm	: Formation de Sologne sablo-argileuse.

2.2. Micromorphologie.

Squelette. Il se compose essentiellement de sables moyens et grossiers, est assez homogène dans l'ensemble. Les sables fins et surtout les limons sont peu abondants.

Du point de vue minéralogique, la composition est également assez régulière. Le quartz domine largement les feldspaths. Dans les fractions plus fines, on note quelques micas. A la base du profil, le sédiment est stratifié avec des lits horizontaux et subhorizontaux.

Plasma. Le matériau est très pauvre en plasma. La matière organique et le fer diffus contribuent à la coloration des horizons. La distribution relative est granulaire dans l'ensemble des horizons, l'assemblage à distribution relative intertextique est très peu développé et se réduit à quelques plages au sommet de la partie stratifiée.

Assemblage plasmique. L'assemblage plasmique asépique est généralisé, à l'exception de petites plages à assemblage squelsépique peu développé.

Structure de base. Elle est monotone, étant donné l'absence presque complète de plasma, avec une très légère accumulation suivant les discontinuités lithologiques à la base de la couverture éolisée.

Matière organique. On observe la même tendance que celle des profils habituels des moyennes terrasses. Le produit de la désintégration des boulettes fécales se plaque contre les grains du squelette, en formant une espèce de fil irrégulier, d'épaisseur variable, parfois discontinu; les espaces intergranulaires sont souvent remplis par leurs petits agrégats. En LN

la couleur est jaunâtre sale d'aspect floconneux. Les pellicules d'humus amorphe sont très peu développées ou absentes.

Vides. Ils sont réduits essentiellement aux vides d'entassement simples.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. Ils sont presque absents, très faiblement développés dans les petites bandes au sommet du substratum stratifié; il s'agit d'argilanes de grains libres très minces, discontinus.

Structure primaire. Le matériau est apédique.

I n t e r p r é t a t i o n

Le profil se développe dans deux matériaux différents : le substratum de type fluviatile stratifié sableux, et la couverture faiblement éolisée remaniée sableuse.

La partie supérieure des dépôts fluviatiles semble affectée par une phase de lessivage peu développée, alors que les horizons Bt en bandes ont été complètement homogénéisés. Dans la partie supérieure, c'est la podzolisation qui l'emporte.

L'évolution de la matière organique sous l'effet de la podzolisation suit la tendance observée déjà dans les sols des moyennes terrasses.

2.3. Sédimentologie.

2.3.1. Granulométrie.

Profil assez homogène dans l'ensemble (voir courbes cumulatives), très sableux, taux des sables supérieur à 88 %; des graviers et de petits cailloux se trouvent dans tout le profil. Nous avons séparé deux phases sédimentaires majeures.

- P h a s e I : (0-120 cm). Sableux, assez homogène. Le taux des sables est de 88-97 %, avec quelques graviers et petits cailloux. La fréquence maximale pour les sables moyens est de 37-46 %. Les rapports SF/SG sont entre 8/92 et 14/86. La teneur en limons est très faible (moins de 6 %) et en argile (moins de 5 %).

Cette phase a d'ailleurs une constitution assez varia-

ble, en surface elle est rechargée en graviers et petits cailloux (gravillons) avec 28-32 % de l'échantillon brut.

- P h a s e II : (120-260 cm). C'est une phase fluviatile très hétérogène, à stratification horizontale et subhorizontale, entrecroisée, sableuse dans l'ensemble. Les graviers et gravillons sont plus abondants que dans la première phase. Les rapports SF/SG varient entre 2/98 et 5/95. Cette phase peut se subdiviser en plusieurs niveaux par des discontinuités lithologiques flagrantes.

L'examen des courbes de fréquence relative met en relief l'hétérogénéité du matériau inférieur et de celui-ci par rapport au matériau superficiel. Les courbes (11.5) et (11.8) de la première phase et la courbe (11.11) de la deuxième montrent une fréquence maximale voisine de 50 % pour les sables moyens, avec des médianes de 300 à 310 microns. La courbe (11.12) représente la deuxième phase et le pic de fréquence maximale est dans les sables grossiers. La médiane est de 380 microns.

Les courbes cumulatives ont toutes la même allure générale, formant un S très allongé.

2.3.2. Morphoscopie des sables.

L'action éolienne est exprimée dans tout le profil par un taux assez important de grains ronds-ovoïdes mats typiques; les grains éolisés sont aussi assez nombreux.

Dans la première phase, le taux des (R/O-M) varie entre 6-18 % (fraction A) et les grains éolisés entre 16-30 %; pour la deuxième phase entre 6-14 % pour les premières et de 16-32 % pour les éolisés.

Les grains subanguleux luisants constituent pour les deux phases la catégorie la plus importante pour la fraction A (24-58 %); pour la fraction B entre 30-56 %.

Les grains anguleux luisants (AL) sont toujours plus abondants dans les fractions fines, et sont moins bien représentés que ceux de la catégorie précédente (6-32 % pour A et 14.50 % pour B).

Les émoussés luisants (EL) sont peu abondants dans les deux phases et pour les deux fractions.

Tableau n° LII Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
11.1	A_{11}	0-5	2.12	2.07	1.44	2.30	7.28	37.08	32.00	13.84	92.50	27.78	10/90
11.2	A_{12}	5-22	1.15	1.85	1.04	1.44	6.06	37.42	34.62	15.50	95.04	31.87	8/92
11.3	A_2	22-36	1.21	1.51	1.02	2.06	6.42	40.50	39.56	8.84	97.38	8.18	9/91
11.4	B_1	36-44	2.63	3.02	1.76	2.40	7.42	43.58	31.12	9.04	93.56	7.80	11/89
11.5	B_{21h}	44-70	4.52	4.01	2.06	2.94	7.60	40.08	29.38	8.00	88.00	7.38	12/88
11.6	B_{22}	70-85	1.95	3.14	2.40	3.64	9.56	45.06	27.86	5.84	91.96	5.78	14/86
11.7	B_{31}	85-99	0.85	2.46	1.80	2.96	8.36	45.60	29.86	7.44	94.22	5.60	12/88
11.8	C_1	99-120	0.83	1.65	1.23	2.36	7.62	43.56	33.66	8.80	96.00	8.33	10/90
11.9	II $C_{2(g)}$	120-140	0.68	1.04	0.40	0.70	4.16	42.02	32.06	18.36	97.30	19.21	5/95
11.10	III C_{3g}	140-155	0.78	1.32	0.60	1.04	3.18	37.26	38.34	16.74	97.56	22.22	4/96
11.11	IV C_{4g}	155-165	1.05	1.20	0.20	0.36	3.00	52.64	35.14	6.04	97.18	12.26	3/97
11.12	V C_{5g}	165-190	1.40	0.45	0.14	0.24	2.04	33.48	44.18	16.98	96.92	12.21	2/98

FIGURE n° 37 .- PROFIL HP- 11.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

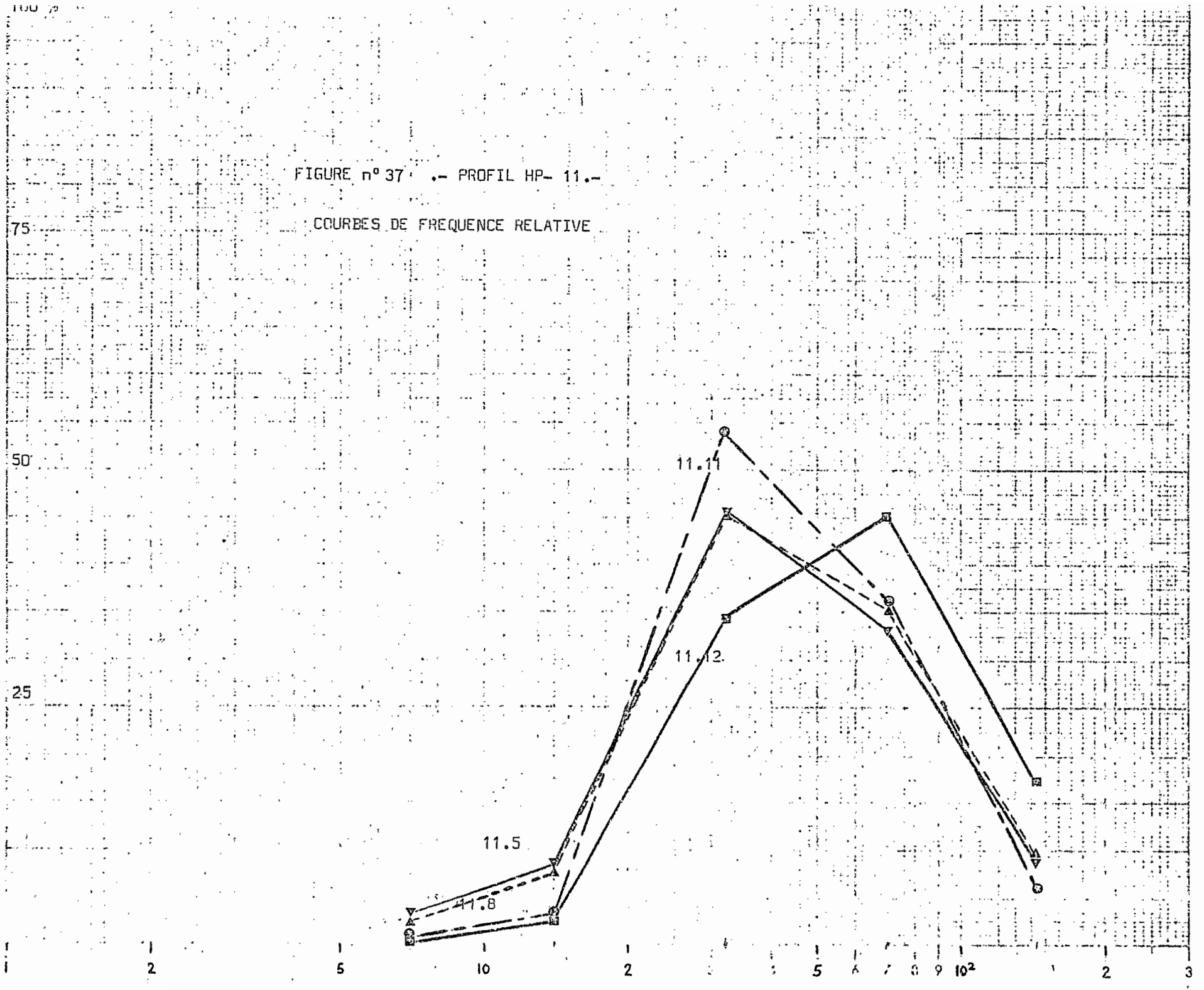
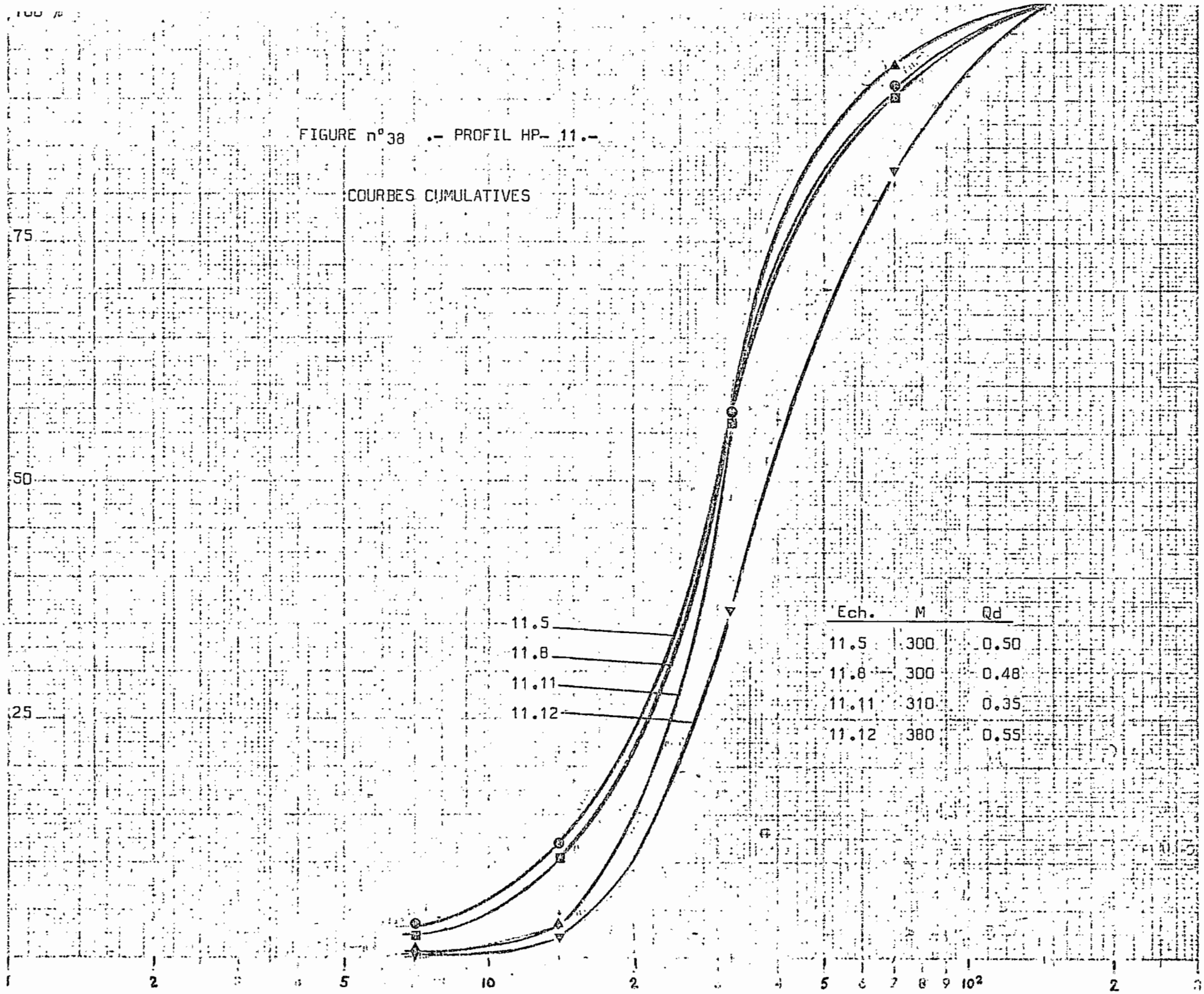


FIGURE n°38 .- PROFIL HP- 11.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd
11.5	300	0.50
11.8	300	0.48
11.11	310	0.35
11.12	380	0.55

Tableau n° LIII Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
				32	32	10	10	2	4	–	–	10
11.1	A_{11}	0-5	76/24	36	34	2	12	2	4	2	–	8
				26	44	10	6	6	4	–	–	4
11.2	A_{12}	5-22	75/25	38	48	–	6	4	2	–	–	2
				20	51	6	11	–	4	2	–	6
11.3	A_2	22-36	78/22	24	56	2	10	6	–	–	–	2
				20	32	8	16	12	2	–	–	10
11.4	B_1	36-44	79/21	20	34	10	20	8	–	–	–	8
				18	44	10	16	4	–	–	–	8
11.5	B_{21h}	44-70	77/23	26	32	14	14	12	–	–	–	2
				6	58	10	–	8	4	6	2	6
11.6	B_{22}	70-85	79/21	14	48	26	2	6	–	2	2	–
				16	36	6	20	2	2	–	2	16
11.7	B_3	85-99	74/26	30	48	4	14	–	–	–	–	4
				20	50	6	10	6	2	–	–	6
11.8	C_1	99-120	78/22	50	30	2	6	10	2	–	–	–
				24	36	10	6	10	–	–	–	14
11.9	II $C_2(g)$	120-140	79/21	40	46	10	4	–	–	–	–	–
				26	50	2	14	–	–	2	–	6
11.10	III C_3g	140-155	84/16	38	38	10	4	8	–	–	–	2
				20	52	4	12	4	2	–	–	6
11.11	IV C_4g	155-165	80/20	26	54	2	12	2	–	–	–	4
				12	24	24	–	12	8	12	2	6
11.12	V C_5g	165-190	82/18	20	38	22	–	10	–	–	6	4

2.3.3. Taux de feldspaths.

Le taux de feldspaths est très variable dans le profil. Ils sont plus abondants en surface qu'en profondeur. Le taux est de l'ordre de 23 %, avec un maximum de 25 % en surface et de 19 % avec un taux maximum de 21 % en profondeur.

2.3.4. Conclusions.

Les critères de la morphoscopie des sables et du taux de feldspaths sont limités pour séparer des phases sédimentaires, si la contamination éolienne est généralisée et si la pédogenèse compromet le comptage par fragmentation des grains des minéraux. Finalement, dans ce profil c'est le caractère stratifié du substrat et l'aspect non stratifié de la couverture qui constituent le meilleur critère.

La couverture éolisée a été remaniée et les graviers et petits cailloux appartenant au substrat enrichissent la couverture.

Il est à remarquer l'étroite parenté entre les sédiments. On retrouve les mêmes familles sédimentaires caractérisées par des fréquences maximales dans les sables moyens, pour tous les sédiments des sols des moyennes terrasses.

2.4. Analyses chimiques.

2.4.1. pH.

Ils sont acides dans tout le profil et varient entre 5 et 4.7; les horizons supérieurs ont les pH plus élevés, contrairement à ce qu'on observe dans un podzol modal.

2.4.2. Capacité d'échange (T).

Elle est très basse, en général, plus élevée en surface grâce aux taux plus élevé de matière organique et dans l'horizon B21h où on observe une légère accumulation d'humus.

2.4.3. Taux de saturation.

Le profil est très désaturé, le taux de saturation est inférieur à 21 %. Au niveau des horizons B21h et B22, il est de 11 %.

2.4.4. Bases échangeables.

En surface, l'hydrogène domine. En même temps, le calcium atteint son maximum relatif. A partir de l'horizon A12, l'aluminium échangeable devient très important, tandis que les bases ont presque complètement disparu.

2.4.5. Carbone total.

Sa teneur est relativement élevée dans le A11, 11.4 % (2 % de matière organique), avec une diminution graduelle en profondeur. Le taux de matière organique dans tout le profil est très faible (0.3 % pour le B21h);

2.4.6. Azote.

La teneur en azote dans tout le profil est très faible et la valeur du C/N, relativement faible, reste discutable par suite de la faible quantité de matière à doser. En surface, le C/N est de 15, plus bas en profondeur.

2.4.7. Humus.

Deux caractères sont à retenir : la matière humifiée est très peu abondante par rapport à la matière organique totale. Les acides fulviques sont largement dominants. La polymérisation des composés humiques est très faible à nulle.

2.4.8. Fer et Aluminium.

Le fer et l'aluminium migrent faiblement en profondeur, pour s'accumuler dans l'horizon B21h. L'aluminium, dans les conditions aérées du profil, migre plus intensément que le fer sous la forme de complexes avec la matière organique. La répartition de l'aluminium échangeable dans le profil est plus anarchique, les taux les plus élevés se situant dans les horizons A12 et B21h. Par rapport à l'aluminium libre, il est important.

Le fer libre dosé constitue une partie faible du fer total (méthode DE ENDREDY). D'après la méthode DEB, il est plus considérable. Ceci indiquerait qu'une partie du fer se trouverait sous une forme para-cristalline (DUCHAUFOUR et SOUCHIER, 1966), probablement adsorbé par l'argile, en particulier la vermiculite en position interfoliaire.

Les rapports Al_2O_3/Fe_2O_3 sont inférieurs à 1 ou voi-

Tableau n° LIV Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org.		Mat.humiques %C			Azote		Bases échang.me/100g sol				S	T	S/T
			C‰	MO‰	MHT	AH	AF	N‰	C/N	Ca++	Mg++	K+	Na+			
11.1	A_{11}	0-5	11.4	2.00	1.11	0.01*	1.10	.767	14.9	0.75	0.07	0.13	0.02	0.97	9.70	21.
11.2	A_{12}	5-22	1.40	0.24	0.22	0.01*	0.21	.170	8.2	0.05*	0.15	0.05	0.01*	0.26	1.50	17.
11.3	A_2	22-36	1.01	0.17	0.02	0.00	0.02	.110	9.2	0.05*	0.05*	0.06	0.01	0.17	0.95	18.
11.4	B_1	36-44	1.08	0.18	0.21	0.01*	0.20	.147	7.3	0.05	0.05*	0.07	0.01*	0.18	1.50	12.
11.5	B_{21}	44-70	1.49	0.26	0.35	0.01*	0.34	.247	6.0	0.07	0.05*	0.12	0.01*	0.25	2.30	11.
11.6	B_{31}	70-85	1.04	0.18	0.20	0.01*	0.19	.153	6.8	0.05*	0.05*	0.04	0.01*	0.15	1.40	11.
11.7	B_{32}	85-99	0.70	0.12	0.01	0.00	0.01	.080	8.8	0.05*	0.16	0.04	0.01	0.21		

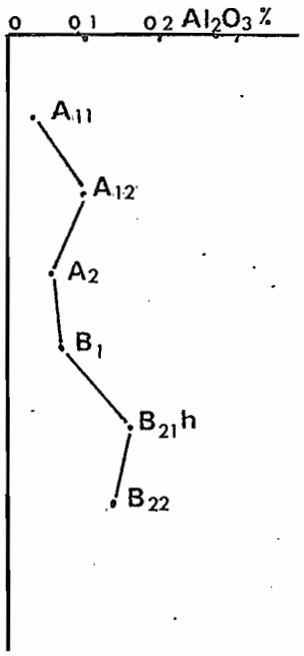
* traces

Tableau n° LV Analyses chimiques

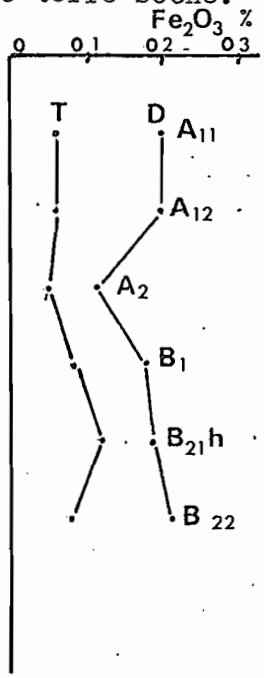
Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH		Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
			H_2O	KCl							
11.1	A_{11}	0-5	5.0	3.9	0.26	0.030	0.26	0.20	0.060	0.15	0.50
11.2	A_{12}	5-22	4.9	4.3	0.67	0.100	0.24	0.20	0.060	0.50	1.66
11.3	A_2	22-36	4.9	4.3	0.46	0.060	0.20	0.11	0.048	0.54	1.25
11.4	B_1	36-44	4.8	4.2	0.63	0.068	0.24	0.18	0.080	0.37	0.85
11.5	B_{2k}	44-70	4.7	4.1	0.82	0.160	0.38	0.19	0.120	0.24	1.33
11.6	B_{31}	70-85	4.7	4.4	0.44	0.140	0.24	0.21	0.080	0.66	1.75
11.7	B_{32}	85-99	4.8	4.5			0.24	0.10			

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

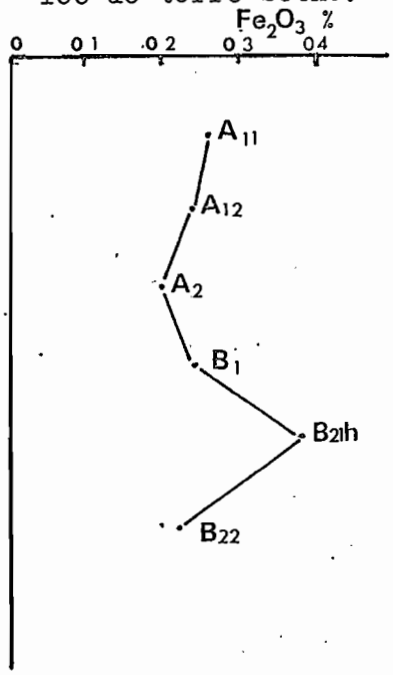
Aluminium libre en pour 100 de terre sèche.



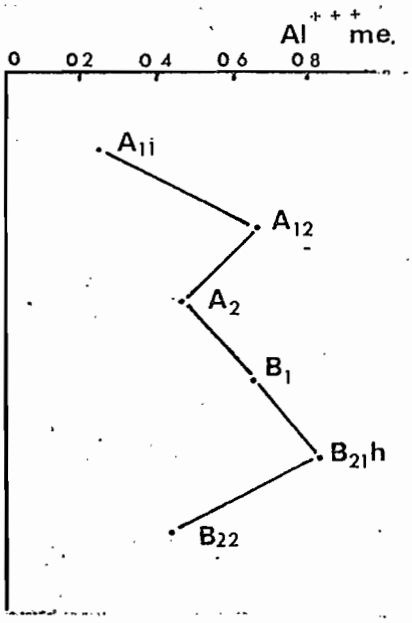
Fer libre en pour 100 de terre sèche.



Fer total en pour 100 de terre sèche.



Aluminium échangeable en me. pour 100g. de terre sèche.



Rapport Al203/Fe203.

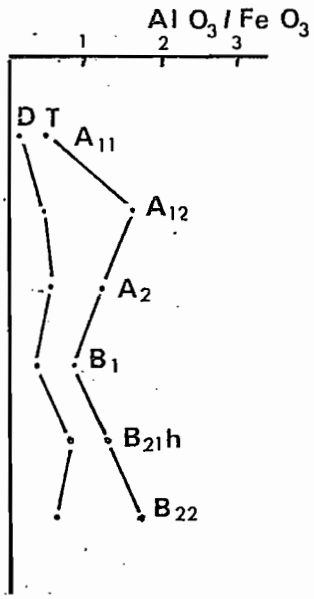


FIGURE n°39 .- PROFIL HP- 11 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al203/Fe203.

sins de l'unité, suivant la méthode d'extraction du fer.

2.5. Minéralogie des argiles.

L'évolution minéralogique des argiles dans le sol podzolique de surface est semblable à celle des autres sols observés : la vermiculite est dominante, formée par évolution à partir de l'illite héritée, la kaolinite vient ensuite, l'illite reste à l'état de traces. On observe une quantité très importante de quartz fin.

Interprétation et conclusions.

Ce profil est relativement complexe, et nous pouvons le rapprocher des sols des moyennes terrasses. Cependant, l'homogénéisation de la stratification originelle semble avoir été plus complète.

Une première phase sédimentaire de type fluviatile remaniant des sédiments éolisés, stratifiés, sableux dans l'ensemble, a subi probablement une phase de lessivage dont il ne reste que quelques îlots résiduels de l'horizon d'accumulation argileuse. Actuellement, c'est surtout l'hydromorphie qui joue à ce niveau, certaines strates permettant une circulation préférentielle de l'eau latéralement avec une redistribution du fer.

Une deuxième phase faiblement éolisée et non stratifiée, se dépose et constitue le siège de la pédogenèse actuelle : la podzolisation.

La podzolisation de la couverture de surface est complexe, parce que l'Homme est intervenu avec une phase anthropique de culture après une première phase de podzolisation. Le sol a été modifié dans ses dans ses caractères morphologiques et physico-chimiques. Il se produit une réactivation biologique de l'horizon B chimique qui s'ameublit, l'horizon A2 est masqué, de couleur plus brunâtre et de structure non caractéristique. Sur le plan chimique et biologique, par l'activation de la décomposition de la matière organique, le C/N devient voisin de 10.

Une fois le sol abandonné, la podzolisation se réinstalle, favorisée par la végétation acidifiante.

Les caractères de cette phase de podzolisation sont les suivants :

- aspect complexe dans l'expression morphologique, dû à l'influence anthropique;

- horizon B2h ameubli et réactivé du point-de-vue biologique;
- modifications physico-chimiques importantes en surface : élévation du pH, matière organique à bas C/N, etc ...
- faible quantité de matière organique et d'humus, acides fulviques dominant les acides humiques dans le profil;
- pas de véritables pellicules d'humus amorphe dans le B2h. Boulettes fécales et produit de leur désintégration;
- évolution des minéraux argileux caractéristique, vers la vermiculite-Al;
- forte fragmentation du quartz.

3. PROFIL 3 - COURTAILLES (Basse terrasse).

Localisation : carte de La Ferté-Saint-Aubin 7-8 à 1/25.000ème; x = 584.0, y = 300.9;

Végétation : Quercus pedunculata, Quercus sessiflora, Pteridium aquilinum, Agrostis vulgaris, Polytrichum formosum, etc ...

Géomorphologie : basse terrasse du Cosson, station horizontale à subhorizontale;

Altitude : 120 m; 1-1,5 m. au-dessus du Cosson;

Matériau du sol: alluvion sableuse récente;

Drainage : bon;

Classification : sol podzolique modal (anthropomorphe).

3.1. Description du profil.

0 - 2 cm : Noir (7.5 YR 2/0) - horizon très humifère - sableux, à sable grossier - nombreuses racines et débris végétaux - les grains de quartz se présentent nus - limite inférieure nette et régulière;

A11

2 - 10 cm A12	: Brun très foncé (10 YR 2/2) - sableux, à sable grossier - grains de quartz nus - nombreuses racines; chevelu partout dans la masse - structure particulaire - très friable - activité biologique importante - limite inférieure graduelle et régulière;
10 - 18 cm A13	: Brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) - sableux à sable grossier - pénétration d'humus importante par endroits, donnant un aspect plus foncé - structure particulaire - nombreuses racines fines et moyennes, chevelu - limite inférieure nette et régulière;
18 - 30 cm A 2	: Brun jaunâtre clair (10 YR 5/4) - quelques taches isolées, brun foncé (7.5 YR 4/4), peu étendues (moins de 5 %) - sableux à sable grossier - très friable, étant plus consistant dans les taches - activité biologique intense - pénétration irrégulière de l'humus - nombreuses racines moyennes - limite inférieure nette et régulière;
30 - 40 cm (B2h)	: Brun foncé (7.5 YR 4/4) - sableux, légèrement argileux - nombreuses taches noires très petites - très consistant par rapport au précédent - structure massive - quelques racines - horizon morcelé avec pénétration de l'horizon précédent - limite inférieure très nette en couleur et consistance;
40 - 52 cm B 3	: Brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4) - sableux à sable grossier - structure particulaire - taches plus claires diffuses et très peu contrastées - friable - limite inférieure graduelle et irrégulière;
52 - 79 cm IIC1	: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) - sableux à sable grossier - très homogène - quelques taches brun vif (7.5 YR 5/8), légèrement plus consistantes, irrégulières à la base de l'horizon et peu contrastées et peu nettes - structure particulaire - très friable - nombreuses racines à la base de l'horizon, zone très meuble à cause de grosses racines qui le traversent horizontalement - limite inférieure graduelle et régulière;

79 - 122 cm C2(g)	: Brun pâle (10 YR 6/3) - sableux à sable grossier - quelques taches d'hydromorphie à la base, peu nettes et contrastées - quelques nodules ferrugineux - structure ture particulaire - très friable - quelques racines - limite inférieure nette et régulière;
122 - 150 cm III Cg	: Gris brunâtre clair (10 YR 6/2) - à taches d'hydromorphie assez abondantes, nettes et contrastées qui représentent 30 % de l'horizon - structure particulaire et très friable.

3.2. Sédimentologie.

3.2.1. Granulométrie.

C'est un profil sableux assez homogène. Le taux des sables est supérieur à 80 %. Les variations sédimentologiques sont très progressives et c'est surtout l'examen du rapport SF/SG et la morphoscopie des sables qui nous permettent de séparer les différentes phases. Il est intéressant de noter que chaque phase sédimentaire est soulignée par une très légère recharge en graviers, qui correspond à des éolisations successives d'intensité variable.

Nous avons séparé trois phases sédimentaires dont les différences sont assez limitées et les variations irrégulièrement progressives.

- Phase I : (0-52 cm), sableuse avec un taux de sables de 82-90 %. Les courbes granulométriques montrent un pic de fréquence maximal pour les sables moyens voisin de 50 %. Les taux de limons et d'argiles sont très faibles (moins de 8 % et de 4 % respectivement). Les rapports SF/SG varient entre 16/85 et 24/76.

- Phase II : (52-122 cm). Il est semblable au précédent mais plus riche en limons (au moins 13 %) et en sables fins. Le pic de fréquence maximale pour les sables moyens est atténué. Le rapport SF/SG est de 26/74 et 28/72.

- Phase III : (122+ cm). Sableuse avec une augmentation nette de sables très grossiers (1-2 mm). Le rapport SF/SG est de 12/88.

Tableau n° LVI Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
3.1	A11	0-2	2.43	2.95	2.26	2.80	9.80	45.38	20.18	4.64	82.80	4.92	15/85
3.2	A12	2-10	2.14	3.82	2.68	3.64	10.84	47.56	20.42	4.76	87.22	tr.	17/83
3.3	A13	10-18	2.68	3.69	2.70	3.18	10.00	47.00	22.74	5.36	88.28	tr.	15/85
3.4	A2	18-30	3.22	2.51	3.00	3.76	12.10	44.34	26.26	1.68	88.14	1.57	18/82
3.5	(B2h)	30-40	3.38	4.13	3.24	4.48	16.28	45.08	21.00	1.00	87.84	tr.	24/76
3.6	B3	40-52	1.56	4.00	3.80	4.14	15.76	46.40	22.60	0.72	89.62	1.08	22/78
3.7	C1	52-79	1.69	5.33	7.44	6.22	17.78	41.74	18.52	0.86	85.12	tr.	28/72
3.8	C2(g)	79-122	1.82	7.16	8.58	6.06	14.82	39.54	19.98	0.84	81.24	tr.	26/74
3.9	nodules	110	10.68	6.66	–	8.74	9.36	31.42	28.90	2.50	80.92	tr.	22/78
3.10	Cg	122-150+	4.21	4.32	3.00	2.76	8.04	46.46	23.10	7.76	88.12	3.52	12/88

FIGURE n°40 .- PROFIL HP - 3.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

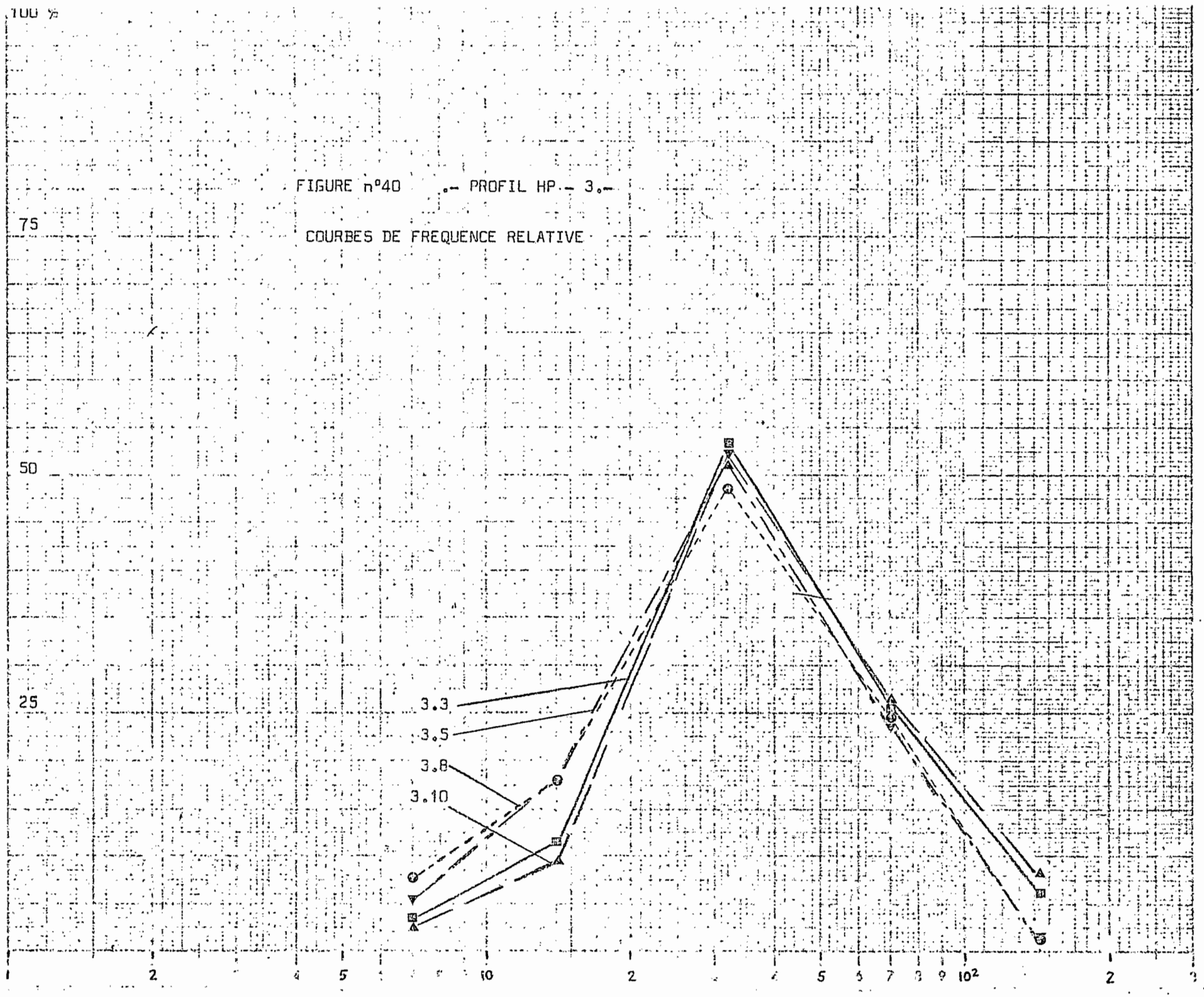
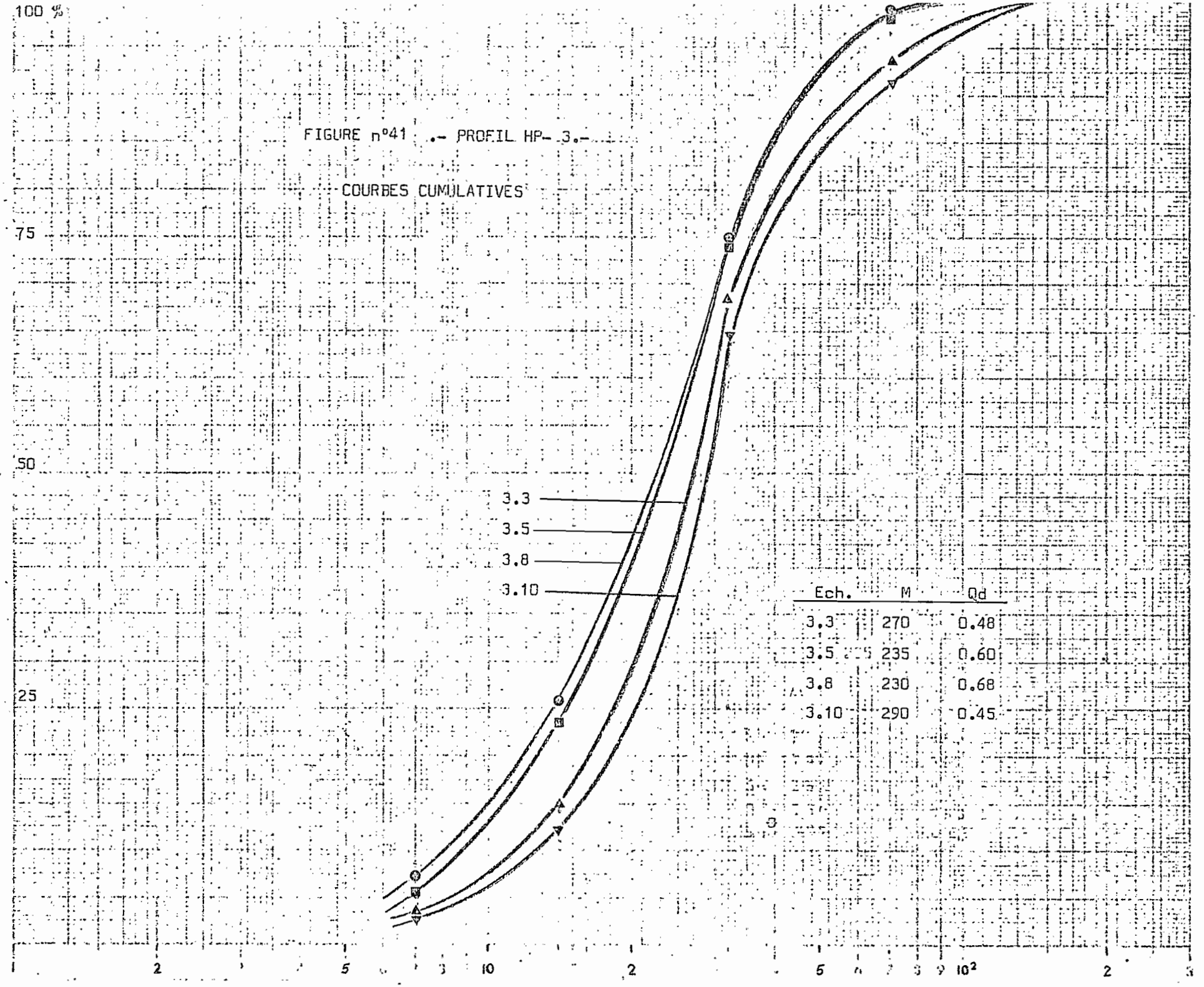


FIGURE n°41 .- PROFIL HP- 3.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd
3.3	270	0.48
3.5	235	0.60
3.8	230	0.68
3.10	290	0.45

Tableau n° LVII Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
3.1	A11	0-2		12	48	22	-	-	2	-	4	12
			71/29	32	42	22	-	-	-	-	-	4
3.2	A12	2-10		13	43	25	-	5	-	3	-	11
			75/25	34	42	14	-	-	-	6	-	14
3.3	A13	10-18		12	42	16	-	-	-	8	8	14
			79/21	26	52	18	-	-	-	-	-	4
3.4	A2	18-30		20	34	36	-	-	-	-	-	10
			86/14	32	36	26	-	-	-	-	-	6
3.5	(B2h)	30-40		16	44	30	-	-	-	-	-	10
			81/19	38	34	26	-	-	-	-	-	2
3.6	B3	40-52		24	32	32	-	-	-	-	-	12
			81/19	38	44	14	-	-	-	-	-	4
3.7	C1(g)	52-79		23	46	24	-	4	-	2	1	-
			79/21	30	56	14	-	-	-	-	-	-
3.8	C2g	79-122		17	53	20	-	-	6	3	1	-
			80/20	50	40	10	-	-	-	-	-	-
3.9	nodules	110		15	41	30	-	6	1	6	-	1
			80/20	36	48	10	-	-	-	-	4	2
3.10	Cg	122-150+		13	47	25	-	4	1	4	-	6
			91/9	30	54	14	-	-	-	-	-	2

Les courbes cumulatives sont assez semblables, deux d'entre elles présentent un meilleur triage (3.3 et 3.10) avec une médiane de 270-290 microns et les deux autres tendent à un S très allongé, avec des médianes de 230-235 microns. Les deux premières présentent une éolisation relativement forte et la courbe (3.8) est très faible.

Les courbes de fréquence relative appartiennent à la même famille sédimentaire. La fréquence maximale correspond à la fraction des sables moyens. Ces caractères rapprochent ces sédiments de la phase d'éolisation superficielle commune aux profils des moyennes terrasses.

3.2.2. Morphoscopie des sables.

La contamination éolienne affecte tout le profil avec une intensité variable.

La phase superficielle a subi une éolisation d'intensité moyenne mais forte par rapport aux phases profondes. Cette éolisation se manifeste par un taux élevé des grains ronds-mats typiques par rapport aux grains éolisés des autres catégories (10-22 % pour la fraction A). Pour les phases profondes, il est inférieur à 6 %.

Les grains appartenant à la catégorie des (SL) constituent la fraction plus abondante pour toutes les phases sédimentaires (32-53 % pour la fraction A et plus élevé pour B).

Les grains émoussés luisants (EL) varient entre 16-36 % pour la fraction A et plus bas encore pour la fraction B.

Les grains anguleux luisants (AL) sont moins abondants, en général, que les grains des autres catégories pour la fraction A (13-24 %); pour la fraction B le taux est plus important (26-50 %).

3.2.3. Taux de feldspaths.

La phase sédimentaire de surface est caractérisée par un taux moyen de 21 %, avec des teneurs extrêmes de 25 et 29 % en feldspaths. La phase II, par contre, a un taux de feldspaths qui ne dépasse pas 21 %, et la phase profonde 9 %. Les grandes différences en surface sont dues à l'effet de la podzolisation et le taux minimum correspond à l'horizon A.

3.2.4. Conclusions.

Nous avons repéré trois phases sédimentaires étroitement apparentées correspondant aux alluvions sableuses récentes du Cosson. Elles sont plus ou moins éolisées et se caractérisent par une fréquence maximale dans les sables moyens.

3.3. Analyses chimiques.

3.3.1. pH.

Il est acide pour tout le profil, entre 4.3 et 4.6 pour les horizons A et 5.2-5.6 pour les horizons B et C;

3.3.2. Capacité d'échange (T).

Sa diminution est graduelle en profondeur. Les valeurs les plus hautes coïncident avec les horizons A qui sont plus riches en matière organique;

3.3.3. Taux de saturation.

La désaturation est relativement forte en surface où une partie très importante du complexe est occupée par l'hydrogène. Les taux les plus bas se situent dans les horizons A12 et A13(11-12 %). En profondeur, le taux est relativement plus élevé avec un maximum de 33 % dans l'horizon C1;

3.3.4. Cations échangeables.

L'hydrogène domine largement. L'aluminium échangeable est relativement constant tout au long du profil avec une très légère élévation dans le A2 et le (B2h). Ceci confirme encore le stade débutant de la podzolisation.

3.3.5. Carbone total.

Sa diminution est graduelle en profondeur. Le taux est maximum en surface avec 60 ‰ de C (10.4 % de matière organique); l'horizon B2h net sur le terrain n'apparaît pas d'après les dosages de matière organique.

Tableau n° LVIII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques ‰C MHT	Mat. humiques ‰C AH	Mat. humiques ‰C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
3.1.	A_{11}	0-2	60.3	104	8.53	3 80	4.73	2.08	29.0	1.37	0 15	0.54	0.02	2.08	12.5	17.
3.2	A_{12}	2-10	15.6	2 68	4.00	2.99	1.01	.800	19.5	0.46	0.05*	0.17	0.04	0.69	6.25	11.
3.3	A_{13}	10-18	10.3	1.77	3.71	2.02	1.69	.537	19.2	0.30	0.05*	0 10	0.01	0.46	4 00	12.
3.4	A_2	18-30	4.10	0.70	1.15	0.48	0.67	.280	14.6	0.30	0.05*	0 07	0 01	0.43	3 25	13.
3.5	(B_{2h})	30-40	1.74	0.30	1 11	0.26	0.85	.180	9.7	0.46	0.21	0 06	0.01*	0.74	3 35	23.
3.6	B_3	40-52	1 26	0.21				.137	9.2	0.30	0.05*	0 04	0 01*	0.40	2.05	20.
3.7	C_1	52-79.	0.55	0.1*				.063	8.7	0.46	0 05*	0.11	0.01*	0.63	1.90	33.

* traces

Tableau n° LIX Analyses chimiques.

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
3.1	A11	0-2	4.3	3.5	0.62	0.20	0.24	0.14	0.08	1.42	2.50
3.2	A12	2-10	4.4	3.7	0.97	0.13	0.25	0.14	0.08	0.92	1.62
3.3	A13	10-18	4.4	3.7	1.01	0.15	0.24	0.15	0.10	1.00	1.50
3.4	A2	18-30	4.6	4.2	1.04	0.15	0.35	0.22	0.13	0.68	1.15
3.5	(B2h)	30-40	5.6	4.8	0.39	0.25	0.40	0.26	0.15	0.96	1.66
3.6	B3	40-52	5.2	4.6	0.52	0.15	0.31	0.17	0.10	0.88	1.50
3.7	C1	52-79	5.3	4.5	0.75	0.15	0.44	0.22	0.08	0.68	1.87
3.8	C2(g)	79-122	5.4	4.8			0.43	0.23			
3.9	nodules	110	4.9	4.2			1.00	0.57			
3.10	C.g	122-150+	4.3	4.1			0.51	0.31			

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

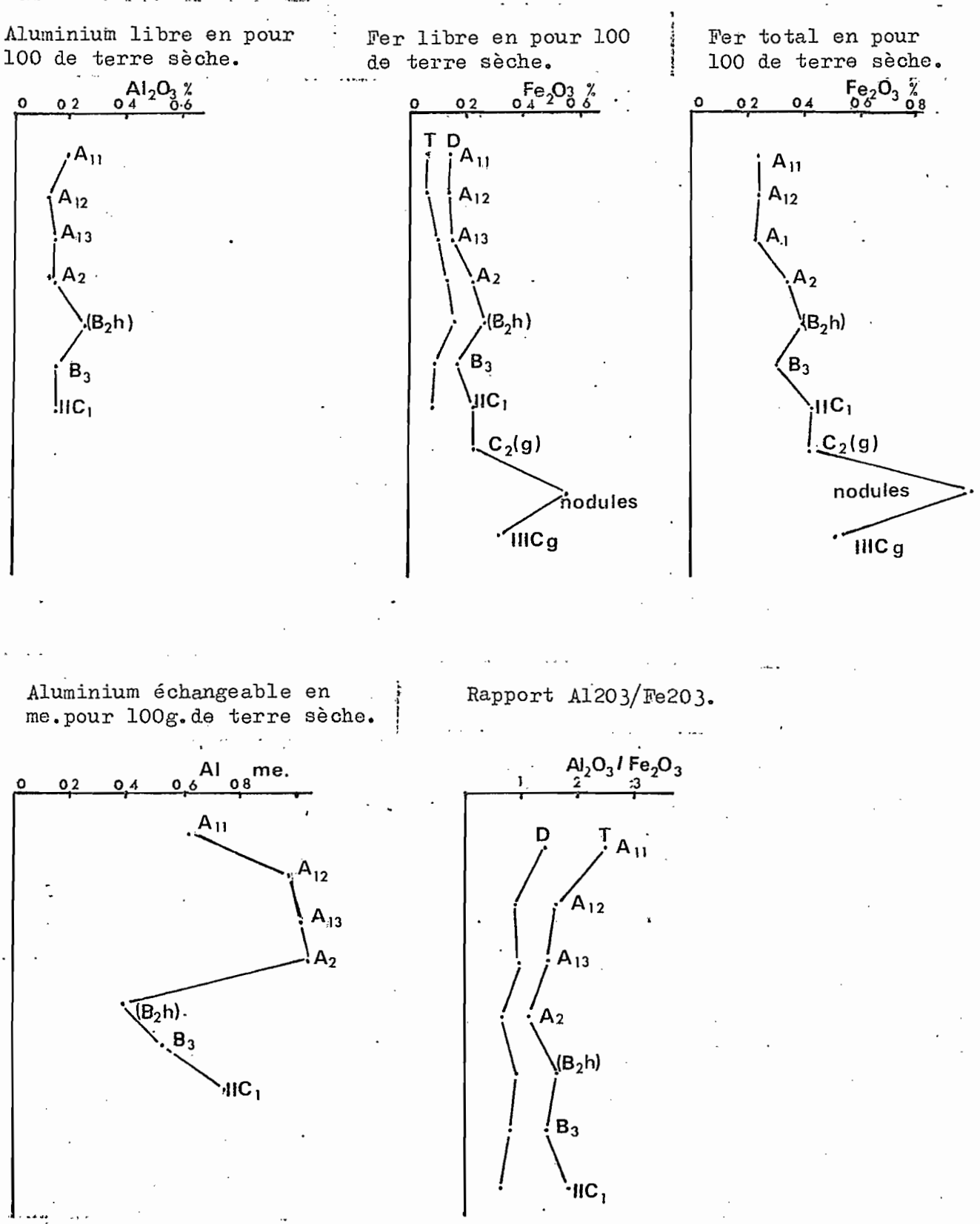


FIGURE n° 42 .- PROFIL HP- 3 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al203/Fe203.

3.3.6. Azote.

Il est faible en surface par rapport au carbone. Le C/N est de 29 dans le A11 et d'environ 20 pour les autres horizons de surface. Dans le C1, il descend à moins de 10.

3.3.7. Humus.

L'humus constitue une faible partie de la matière organique totale dans les horizons de surface, pour augmenter graduellement à partir de l'horizon A13. Il en constitue le 1/3 dans le (B2h).

Les acides fulviques dominent sur les acides humiques dans les horizons A11, A2 et (B2h), en particulier dans le (B2h) où ils atteignent presque trois fois le taux des acides humiques.

A la différence des profils des terrasses moyennes, on observe une polymérisation des composés humiques, quoique faible. Cependant, il y a une migration de l'humus sous la forme des acides fulviques qui augmentent en B2h par rapport aux acides humiques.

3.3.8. Fer et Aluminium.

L'aluminium libre ne montre qu'une variation faible dans le profil. Une très légère accumulation se produit au niveau de l'horizon (B2h).

Le fer libre, apparemment, ne montre pas de fortes variations. Il est probable qu'il a été en partie exporté hors du profil. A la base de l'horizon C2g, on observe une accumulation sous la forme de nodules peu abondants, où il est accompagné de l'aluminium libre.

Le rapport Al_2O_3/Fe_2O_3 est presque constant tout au long du profil.

L'aluminium échangeable est très abondant par rapport à l'aluminium libre, avec un taux très élevé pour les horizons A, ce qui reflète bien l'acidification de surface.

Le fer total suit une tendance similaire à celle de fer fer libre, celui-ci constitue environ la moitié du fer total. Ce comportement révèle probablement une libération de fer par altération sur place. Il pourrait exister une migration du fer dans le profil qui migre verticalement en s'accumulant dans les nodules ferrugineux ou en étant exporté hors du profil.

Le dosage du fer libre dans les différents horizons ne peut par faire ressortir de tels processus. L'aluminium, par contre, migre peu, la podzolisation est faible.

3.4. Minéralogie des argiles.

L'évolution minéralogique des argiles correspond bien à la podzolisation et nous constatons l'évolution classique : dans le (B2h), la vermiculite-Al est dominante, suivie de la kaolinite et de traces d'illite pour la plupart transformée en vermiculite. Aux argiles s'ajoute une quantité très importante de quartz fin.

Interprétation et conclusions.

Le profil est situé en position basse où normalement apparaissent des sols hydromorphes à pseudo-gley. Le caractère très sableux du matériau et l'absence de nappe phréatique ou d'une nappe perchée proche de la surface confèrent au sol un bon drainage interne. A la base du profil se développe une légère hydromorphie.

En absence de phénomènes d'hydromorphie marqués, c'est la podzolisation qui commande la dynamique du profil. La podzolisation, sauf en ce qui concerne les variations du pH, est mal exprimée du point-de-vue morphologique et physico-chimique. On n'observe pas un véritable A2 blanchi. L'horizon B2h est faiblement exprimé. L'horizon A11 est riche en matière organique à C/N assez élevé (29). La production d'acides fulviques est relativement abondante, avec une faible tendance à la polymérisation des composés humiques. La migration de l'aluminium est à peine amorcée.

En conclusion, l'évolution podzolique est évidente, en particulier sur le plan minéralogique. Elle est à un stade de débutant, le matériau du sol étant déjà appauvri en éléments fins avant la mise en place des sédiments.

4. PROFIL HP-4 - BELLE FONTAINE.

Localisation : Carte de La Ferté-Saint-Aubin 7-8 à 1/25.000ème; x = 583.4; y = 302.6;

Végétation : Erica cinerea, Erica scoparia, Calluna vulgaris, Quercus sessiflora, Cladonia sp., etc ...

Géomorphologie : haute terrasse de la Loire, rebord de talus, station sub-horizontale.

Altitude : 37.5; 17-18 m au-dessus du Cosson;

Matériau du sol: complexe; terrasse sablo-argileuse (caillouteuse) et couverture éolisée sablo-limoneuse;

Drainage : Bon;

Classification : Podzol humique (pas très différencié).

4.1. Description du profil.

1 - 0 cm Ao	: Horizon organique - brun sombre (2.5 YR 3/2) - irrégulier semblant avoir été remanié - nombreuses racines et débris végétaux - sables quartzeux à grains nus - limite inférieure nette.
0 - 5 cm A 1	: Brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) - sableux à sable grossier quartzeux - graviers et cailloux peu abondants de 1-2 cm, à bords plus ou moins émoussés - assez humifère - structure particulaire - nombreuses racines, chevelu - meuble - limite inférieure nette et régulière.
5 - 15 cm A 2	: Brun grisâtre (10 YR 5/2) - sablo-graveleux - cailloux peu abondants (5-10 %), quartzeux, à bords émoussés - structure particulaire - friable - nombreuses racines fines, chevelu dans toute la masse - quelques silex - limite inférieure nette (couleur et consistance).
15 - 28 cm B21h	: Brun foncé (7.5 YR 4/4) - sableux, légèrement plus argileux que l'horizon précédent - cailloux et graviers peu abondants (10 %), de 0.5-4 cm - quartz et silex, à arêtes plus ou moins émoussées - structure particulaire - légèrement plus consistant que précédemment - racines fines dans la masse - quelques galeries d'animaux - limite inférieure nette (couleur et granulométrie).

28 - 42 cm B 22	: Brun grisâtre (10 YR 5/4) - sablo-graveleux - graviers et cailloux abondants (30 %) - quartzeux et quelques silex, arêtes plus ou moins émoussées - racines fines peu nombreuses - très friable - taches plus claires brun jaunâtre (10 YR 5/6), 10 % de la surface, peu contrastées et peu nettes - limite inférieure graduelle et régulière.
42 - 60 cm B 23	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4), légèrement plus clair que l'horizon précédent - sablo-graveleux, très riche en graviers fins - cailloux peu abondants (10 %) avec quelques gros silex - poches de matière organique transportée là par les animaux du sol - racines fines, peu nombreuses, à tendance verticale et concentrées dans la zone la plus humifère - à la base de l'horizon un cailloutis de base - limite inférieure distincte et régulière.
60 - 100 cm II Blt(g)+A2	: Horizon complexe - rouge jaunâtre (5 YR 5/8) - sablo-argileux à glosses brun pâle (10 YR 6/3) - sableux à sable grossier dans les glosses qui ont été vidées de leur argile - glosses riches en graviers fins - matrix sablo-argileuse à aspect panaché - assez compact avec des taches ocre à la base - graviers et cailloux peu abondants (moins de 5 %) - glosse présentant un contour irrégulier très contrasté avec le matériau encaissant - les glosses constituent 20 % de l'horizon - racines rares dans tout l'horizon - limite inférieure nette (consistance, panachage plus marqué et apparition nette de l'hydromorphie).
100 - 120 cm B 22tg + A2	: Horizon panaché - rouge jaunâtre et gris clair (5 YR 5/8 - 10 YR 7/2) - taches très contrastées et très nettes - graviers et cailloux peu abondants (moins de 5 %) - taille inférieure à 3 cm - de quartz et silex à arêtes plus ou moins émoussées - compacte et massive - pourcentage d'argile tendant à augmenter en profondeur surtout dans les taches grises.

4.2. Sédimentologie.

4.2.1. Granulométrie.

Sur le terrain, nous avons séparé deux phases sédimentaires nettement différenciées : la couverture de surface (éolienne remaniée, wurmienne) et le substrat d'alluvions anciennes de la Loire, et qui a subi une pédogenèse "chaude". L'examen des courbes cumulatives et de fréquence relative confirme largement cette hypothèse :

- Phase I : (0-60 cm). Sablo-limoneuse et enrichie en graviers et cailloux essentiellement quartzeux avec quelques silex plus ou moins arrondis. La fréquence maximale pour les sables moyens et grossiers oscille entre 50 et 75 %. Les rapports SF/SG sont supérieurs à 13/87.

  a. Mêmes caractères généraux, mais riche en graviers et petits cailloux, fréquence maximale pour les sables moyens (41-45 %);

  b. Mêmes caractères généraux, plus riche en graviers et cailloux que a, fréquence maximale pour les sables grossiers qui indique un remaniement du substrat contemporain au dépôt : rapport SF/SG de 13/87.

- Phase II : (60-120 cm). Sablo-argileux, très compact, fluviatile, stratifié, riche en graviers et cailloux, de la même nature minéralogique que ceux de la phase précédente. Le rapport SF/SG varie entre 5/95 et 9/91.

L'observation des courbes de fréquence relative indique l'existence de trois types de courbes :

- La courbe (4.3) qui caractérise les formations superficielles est semblable à celles des couvertures sableuses des formations de Sologne;

- la courbe (4.4) qui est affectée par le remaniement du substratum;

- finalement les courbes (4.7) et (4.8) appartenant au substratum d'origine fluviatile qui constitue la terrasse ancienne de la Loire.

La courbe (4.6) correspond à une glosse de l'horizon Bt dégradé; elle est affectée par la redistribution du squelette sableux à l'intérieur de la glosse ou bien par la fragmentation du

quartz, phénomène que nous avons déjà trouvé dans les profils précédents.

Les courbes cumulatives présentent une allure fluviatile dans l'ensemble, en forme de S très allongé. Les médianes sont comprises entre 280-400 microns pour la phase I et de 330-400 microns pour la phase II. Les Qd signalent bien l'existence des phases, ils sont de l'ordre de 0.90 pour la première et de 0.48-0.63 pour la seconde.

4.2.2. Morphoscopie des sables.

L'action éolienne est peu notable pour la couverture, absente dans le substrat fluviatile.

Le taux des grains ronds-mats typiques est inférieur à 8 %, les grains éolisés sont en faible pourcentage.

Les grains subanguleux luisants constituent la catégorie la mieux représentée dans les deux phases pour la fraction A (22-58 % pour I et 52-58 % pour II).

Les grains anguleux luisants sont très abondants pour la fraction B (36-52 %) et moins abondants pour les grains appartenant à la fraction B (18-44 %).

Les grains émoussés luisants constituent moins de 28 %, et sont en très faible quantité pour les grains de la fraction B.

4.2.3. Taux de feldspaths.

Le taux de feldspaths ne présente pas de variations notables suivant les deux phases sédimentaires. Les variations sont entre des limites assez larges (16-23 %).

4.2.4. Conclusions.

Deux phases ont été clairement séparées :

. Une, la phase superficielle, faiblement éolisée, remaniée de la couverture sableuse du glacis, enrichie à sa base en graviers et cailloux remaniés du substrat fluviatile;

. le substrat fluviatile correspond aux alluvions anciennes de la Loire.

Tableau n° LX Analyse granulométrique

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Analyse granulométrique %								Total	Refus %	SF/SG
			Argile μ	Limon μ		Sables μ							
			< 2	2-20	20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000			
4.1	A_1	0-5	1.41	4.10	2.86	3.36	8.94	37.78	24.06	11.18	85.32	22.24	14/86
4.2	A_2	5-15	1.67	4.53	3.94	4.24	11.08	40.26	23.84	10.12	89.54	21.56	17/83
4.3	B_{21h}	15-28	5.08	6.94	3.44	3.96	10.28	35.02	21.62	12.24	83.72	37.38	17/83
4.4	B_{22}	28-42	2.88	5.05	2.50	3.10	8.76	24.16	28.20	25.35	89.57	44.21	13/87
4.5	B_{23}	42-60	2.28	4.41	2.64	3.58	7.82	19.70	28.76	29.64	89.50	45.08	13/87
4.6	glosses II $B_{21}t(g)+A_2$	60-100	2.60	0.05	1.52	2.58	5.88	36.60	35.60	11.68	92.34	14.90	9/91
4.7	bandes	60-100	16.35	4.79	0.76	1.04	2.38	23.62	36.70	9.46	73.20	4.91	5/95
4.8	II $B_{22}tg+A_2$	100-120+	21.95	2.50	1.05	1.00	3.40	19.95	32.25	15.60	72.80	29.67	7/93

FIGURE n°43 .- PROFIL HP- 4.-

COURBES DE FREQUENCE RELATIVE

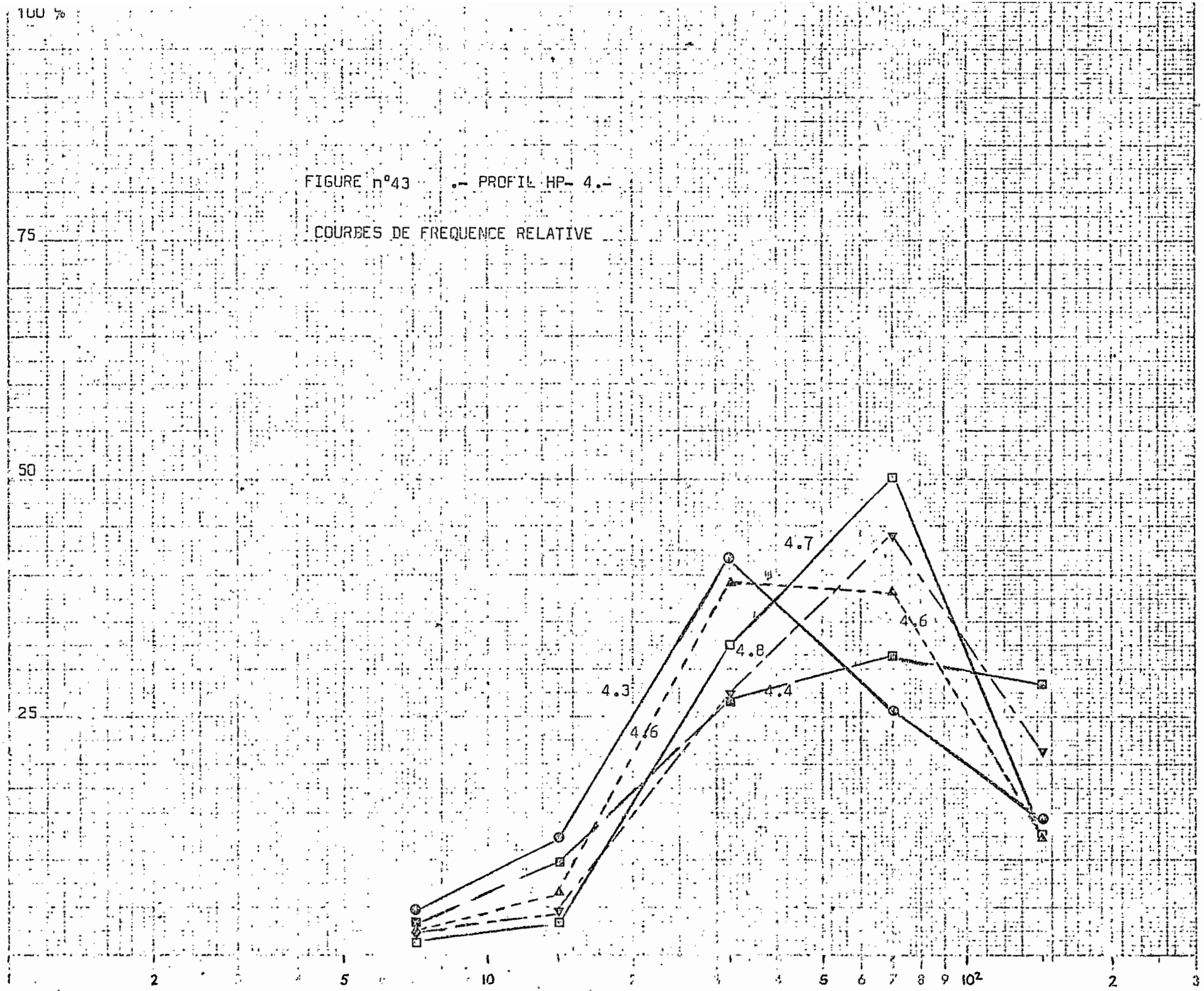
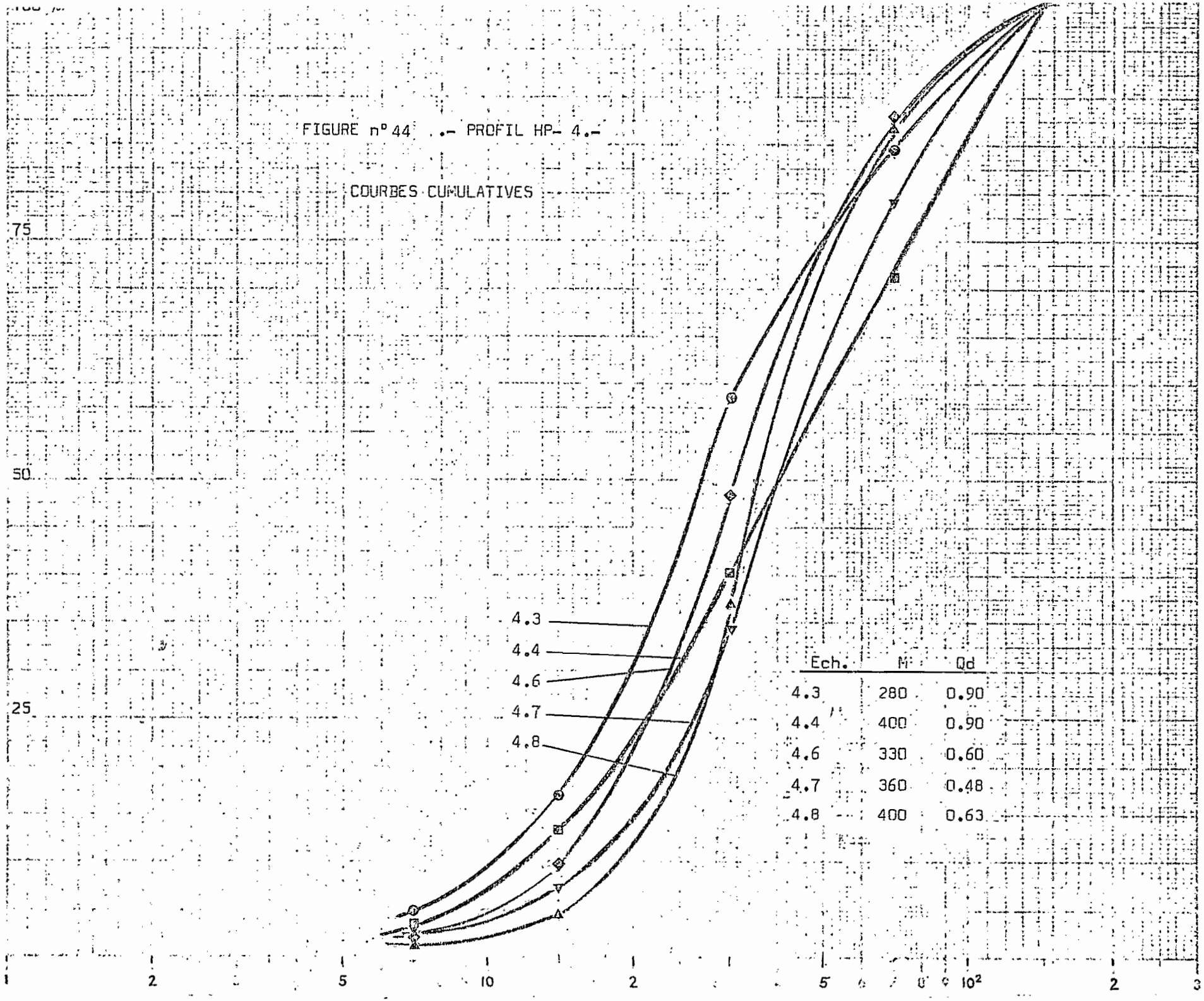


FIGURE n° 44 .- PROFIL HP- 4.-

COURBES CUMULATIVES



Ech.	M	Qd
4.3	280	0.90
4.4	400	0.90
4.6	330	0.60
4.7	360	0.48
4.8	400	0.63

Tableau n° LXI Analyse morphoscopique de sables

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Q/F	AL	SL	EL	SP	EP	SM	EM	OM	RM
				20	58	22	–	–	–	–	–	4
4.1	A_1	0-5	84/16	36	34	26	–	–	–	–	–	–
				21	45	26	1	2	2	–	–	3
4.2	A_2	5-15	77/23	49	29	22	–	–	–	–	–	–
				30	22	28	–	–	–	–	2	8
4.3	B_{21h}	15-28	84/16	48	30	16	–	–	–	–	–	6
				44	28	26	–	–	–	–	–	2
4.4	B_{22}	28-42	80/20	42	46	4	–	–	–	3	–	5
				34	43	18	–	4	–	1	–	–
4.5	B_{23}	42-60	79/21	36	52	8	–	–	–	–	–	4
				30	52	18	–	–	–	–	–	–
4.6	glosses	61-100	80/20	52	44	4	–	–	–	–	–	–
	II $B_{21}t(g)+A_2$			18	58	23	–	–	–	–	–	1
4.7	bandes		82/18	40	52	8	–	–	–	–	–	–
				44	46	10	–	–	–	–	–	–
4.8	$B_{22}tg+A_2$	100-120+	85/15	44	52	4	–	–	–	–	–	–

4.3. Analyses chimiques.

4.3.1. pH.

Ils sont acides dans tout le profil mais moins, en général, que ceux des sables de Sologne proprements dits : 4.8 pour les horizons A et entre 5.1 et 5.5 pour les horizons B du sol actuel. Les horizons B du paléosol ont des pH de 5.0 et 5.2.

4.3.2. Capacité d'échange (T).

Elle est faible et remonte légèrement dans les horizons A1 et B21h du sol actuel.

4.3.3. Cations échangeables.

Le sol est très pauvre en bases; le cation dominant est l'hydrogène pour les horizons A et B du sol actuelet l'aluminium pour les glosses de l'horizon Bt du paléosol.

4.3.4. Carbone total.

Il est relativement élevé dans le A1, pour diminuer graduellement en profondeur à l'exception de l'horizon B21h où l'on observe une accumulation nette.

4.3.5. Azote.

Le sol est plus riche en azote en surface; le C/N est de 20-25 pour les horizons A et inférieur à 15 pour les horizons B.

4.3.6. Humus.

Il présente un comportement similaire à celui de la matière organique en valeur absolue, c'est-à-dire, diminution graduelle en profondeur à partir de l'horizon A2, avec une accumulation importante dans le B21h. Les fractions humiques évoluent différemment; les acides fulviques dominent les acides humiques dans tout le profil. Le rapport AH/AF est voisin de 1 pour l'horizon A1, inférieur d'un tiers dans le A2, presque de la moitié dans le B21h et moins de la moitié pour les horizons B22 et B23. Dans les deux derniers, la matière humifiée est très abondante par rapport à la matière organique totale.

Dans ce sol, une fraction de la matière organique humifiée est polymérisée dès qu'elle est formée dans l'horizon A1, mais la tendance à cette polymérisation reste assez faible. Dans l'horizon B21h, l'humus qui a migré sous la forme des complexes avec le fer et l'aluminium précipite, d'une part à cause de l'élévation du pH et d'autre part par l'enrichissement en aluminium et en fer des complexes au cours de leur migration.

La fraction la plus mobile de l'humus, les acides fulviques, achappe en partie à la précipitation et continue en profondeur où la plupart de l'humus est sous cette forme.

4.3.7. Fer et Aluminium.

La migration de l'aluminium a été plus importante que celle du fer, les horizons A sont fortement appauvris. Les acides fulviques abondants ont favorisé la migration de l'aluminium sous la forme de complexes; une partie de l'aluminium précipite dans l'horizon B2h "spodique" par destruction du complexe.

L'aluminium échangeable augmente régulièrement en profondeur. Le fer s'accumule dans l'horizon B2h ainsi que bien plus fortement d'ailleurs dans les horizons Bt du paléosol où la dégradation de cet horizon lui-même a aussi favorisé la concentration du fer.

Il est probable que là aussi, comme il a été montré dans des sols analogues en d'autres points par HOREMANS (1961) une partie du fer a été éliminée du sol actuel par entraînement latéral.

Le rapport Al_2O_3/Fe_2O_3 dans presque tout le profil est égal ou supérieur à 1 (méthode Deb) et toujours supérieur à 1 (méthode Tamm).

Le fer total présente une courbe qui a le même comportement que celle du fer libre. Ceci pourrait indiquer une altération en place avec la libération du fer.

4.4. Minéralogie des argiles.

Nous retrouvons en surface la même séquence de types argileux que dans les sables de couverture étudiés sur les sols précédents. Sous l'effet de la podzolisation, nous observons l'apparition de la vermiculite-Al qui domine, des traces des interstratifiés illite-vermiculite, ensuite la kaolinite et une grande quantité de quartz fin. Dans l'horizon Bt du paléosol, la kaolinite est légèrement dominante, puis l'illite et peut-être des amorphes. Cette séquence a déjà été remarquée par P. HOREMANS (1961) pour les alluvions anciennes de la Loire

Tableau n° LXII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	Matières org. C‰	Matières org. MO‰	Mat. humiques ‰C MHT	Mat. humiques ‰C AH	Mat. humiques ‰C AF	Azote N‰	Azote C/N	Bases échang. me/100g sol Ca++	Bases échang. me/100g sol Mg++	Bases échang. me/100g sol K+	Bases échang. me/100g sol Na+	S	T	S/T
4.1	A_1	0-5	29.1	5.0	5.79	2.55	3.24	1.19	24.5	1.67	0.15	0.20	0.02	2.04	9.00	23.
4.2	A_2	5-15	4.92	0.84	1.30	0.51	0.79	.240	20.5	0.46	0.05*	0.06	0.01	0.58	2.30	25.
4.3	$B_{21}h$	15-28	6.56	1.13	2.29	0.81	1.48	.440	14.9	0.76	0.09	0.05	0.01	0.91	4.25	21.
4.4	B_{22}	28-42	2.68	0.46	1.00	0.31	0.69	.177	15.1	0.37	0.05*	0.04	0.01	0.47	2.70	17.
4.5	B_{23}	42-60	1.98	0.34	0.67	0.21	0.46	.133	14.9	0.30	0.05*	0.05	0.01*	0.41	2.50	16.
4.6	glosse	60-100								0.30	0.05*	0.04	0.01	0.40	1.75	23.
4.7	II $B_{21}t(g)+A_2$ bande															

Tableau n° LXIII Analyses chimiques

Ech.	Horizons	Prof. cm.	pH H_2O	pH KCl	Al^{+++} mé/100g sol	Al_2O_3 "libre" % (1)	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 "libre" % (2)	Fe_2O_3 "libre" % (3)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (4)	Al_2O_3/Fe_2O_3 (5)
4.1	A_1	0-5	4.8	4.1	0.12	0.08	0.20	0.08	0.05	1.00	1.60
4.2	A_2	5-15	4.8	4.0	0.28	0.08	0.16	0.08	0.05	1.00	1.60
4.3	B_{21h}	15-28	5.5	4.9	0.24	0.33	0.40	0.20	0.13	1.65	2.53
4.4	B_{22}	28-42	5.3	4.7	0.84	0.20	0.36	0.14	0.08	1.42	2.50
4.5	B_{23}	42-60	5.1	4.6	0.90	0.18	0.36	0.15	0.08	1.20	2.25
4.6	gloses	60-100	5.2	4.6	0.94	0.13	0.33	0.15	0.08	0.86	1.62
4.7	II $B_{21t}(g)+A_2$ bandes	60-100	5.0	4.3			1.80	1.13			
4.8	II $B_{22tg}+A_2$	100-120+	5.2	4.2			1.98	1.00			

(1) TAMM (2) DEB (3) DE ENDREDY (4) (1)/(2) (5) (1)/(3)

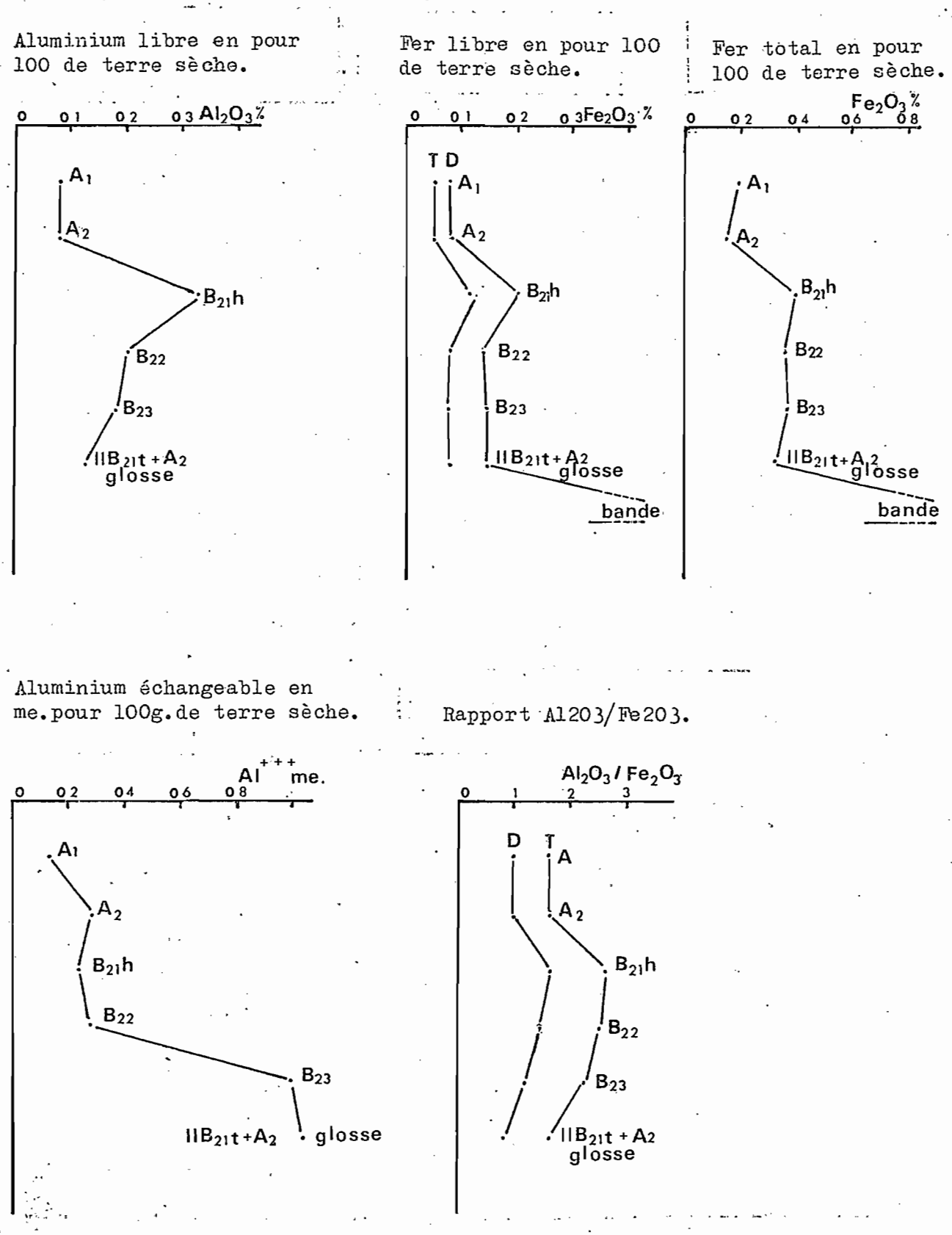


FIGURE n°45 .- PROFIL HP- 4 : Teneur en aluminium libre, fer libre et fer total exprimée en oxydes et en aluminium échangeable.
Rapport Al2O3/Fe2O3.

Interprétation et Conclusions.

Ce profil complexe correspond au glacis polygénique ancien de la Loire. Le profil est situé au sommet d'un lambeau du glacis entaillé par le Bourillon et le Cosson. Sa position en rebord explique que la couverture éolisée wurmienne y soit remaniée et enrichie en graviers et cailloux du substrat. On retrouve la séquence classique des matériaux décrite par HOREMANS (1961) et que nous avons analysée à propos des paragraphes sur la géologie, c'est-à-dire : les Sables de Sologne (Miocène) à la base, les niveaux sablo-argileux (caillouteux) de la terrasse ancienne de la Loire et la couverture éolisée wurmienne.

Dans ce profil, nous retrouvons les caractères de pédogenèse suivants :

1°. Paléopédogenèse.

Elle intéresse le substrat de la terrasse ancienne de la Loire, caractérisée par un lessivage qu'on pourrait rapprocher d'une pédogenèse de type fersiallitique. La proportion d'illite est encore élevée, et la ségrégation du fer importante. Cette terrasse est aussi affectée par une phase de dégradation ancienne des horizons Bt, qui donne des glosses qui avancent et se ramifient dans le B2t, à la faveur des discontinuités lithologiques.

2°. Phases actuelles.

L'évolution pédologique actuelle se développe essentiellement dans la couverture wurmienne, évolution de type podzolisant et secondairement, au sommet des horizons Bt du paléosol par une dégradation de l'horizon favorisée par les acides organiques libérés par la podzolisation de surface.

a. Podzolisation.

La position au rebord du glacis et la nature de la couverture plus ou moins éolisée remaniée (sableuse légèrement limoneuse et caillouteuse) favorisent la podzolisation. Un véritable podzol se développe, avec un horizon A2 mince mais avec une structure cendreuse et une accumulation d'humus nettes.

Les caractères de la podzolisation sont les suivants :

- migration et accumulation de l'humus dans l'horizon B2h;
- matière organique à rapport C/N assez élevé, de 25 dans le A1;
- production des acides fulviques qui s'accumulent dans le B2h;
- tendance faible à la polymérisation des composés humiques.

- migration considérable de l'aluminium qui s'accumule sous la forme libre dans le B2h;

- migration du fer, moins importante que celle de l'aluminium, avec une accumulation dans l'horizon B2h;

- augmentation graduelle en profondeur de l'aluminium échangeable;

- le rapport Al_2O_3/Fe_2O_3 dans les horizons B est supérieur à 2;

- évolution des minéraux argileux (illite) dans le sens de la vermiculite-Al;

- fragmentation poussée du quartz.

Troisième Partie

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

1. LES PRINCIPAUX PHENOMENES PEDOLOGIQUES OBSERVES DANS LES SOLS ETUDIES.

Trois types de pédogenèse ont profondément influencé l'évolution de sols du secteur étudié : le lessivage de l'argile qui le plus souvent n'est plus un phénomène actuel, la podzolisation et l'hydromorphie.

Dans les ensembles considérés, il faut distinguer les sols qui n'ont subi qu'une phase de pédogenèse, donc monophasés, des sols qui ont subi plusieurs phases de pédogenèse (GLANGEAUD, 1956). Les phases pédogénétiques successives sont d'ailleurs souvent séparées par des phases mécaniques de remaniement ou d'apport.

Nous pouvons ainsi distinguer trois ensembles :

. Un premier ensemble groupe les sols caractérisés par des profils complexes polygéniques, qui ne peuvent pas être strictement inclus dans la chronoséquence théorique d'évolution des sols sableux établie par J. AMERYCKX (1960) en Campine Anversoise et par D. RIGHI (1969) à Rambouillet et qui est la suivante :

Régosol-Sol Brun-Sol (Brun) lessivé-Sol à horizon Bt morcelé-Podzol.

Ici s'est produite une coupure dans le temps, soulignée par des phases sédimentaires. Cependant, l'évolution de ces sols est à rapprocher du schéma évolutif précédent, en particulier parce que la couverture éolisée de surface correspond vraisemblablement aux horizons éluviaux des paléosols lessivés, remaniés par le vent au Quaternaire, dans un cadre local et sans dénaturation marquée.

Pour les sols de ce groupe, l'évolution est caractérisée par la formation d'un horizon Bt textural en bandes, typique des sols sableux : les horizons supérieurs éluviaux ont été ensuite plus ou moins érodés, remaniés et redéposés sous l'action du vent, fossilisant les horizons B2t du sol en place. Ce phénomène est caractéristique du Quaternaire de la Loire où les terrasses anciennes sont recouvertes, en période périglaciaire, par les formations plus ou moins éolisées Riss et Wurm (HOREMANS P., 1960, 1961). L'horizon Bt ancien reste cependant fonctionnel et s'intègre au développement du profil (RIGHI, 1969). Le sommet des horizons B2t subit un processus de dégradation avec le morcellement des bandes argilliques. Dans la couverture de surface, on note la formation d'un podzol secondaire, si l'Homme n'a pas contrarié son évolution, qui représente le dernier stade de différenciation pédologique.

La podzolisation, dernière phase d'évolution pédologique, présente elle aussi des caractères très particuliers dans la région étudiée : à une première phase de podzolisation succède une phase anthropique de culture, qui détermine des modifications considérables dans les sols, avec l'apparition des horizons Ap et l'activation biologique qui atteint les horizons Bh des sols podzolisés qui s'ameublissent, et parfois se morcèlent. Ceci est accompagné de l'élévation du pH, surtout dans les horizons de surface, du taux de saturation, etc ... Les sols, une fois abandonnés, peuvent subir une nouvelle phase de podzolisation lorsque les friches ont été envahies par la lande à Ericacées.

. Un deuxième ensemble est constitué par les sols qui ont subi seulement les processus de lessivage et de podzolisation; la dégradation des bandes argilliques des horizons Bt ne s'est pas produite, soit par suite d'une moindre ancienneté, soit par suite de conditions particulières de la station, telles que sa position dans le paysage. Le profil caractéristique de cet ensemble est le profil HP-10.

Ce profil est complexe et polygénique : à une première phase de lessivage en bandes, succède une phase érosive avec le décapage des horizons éluviaux du sol lessivé. Une nouvelle phase d'apport se traduit par une couverture sablo-limoneuse qui fossilise le sol tronqué précédent. L'évolution de cette dernière couverture semble suivre le schéma pédogénétique classique :

Sol jeune (sur matériau très évolué) - sol (brun) lessivé - sol lessivé - sol podzolique.

La podzolisation se développe dans les horizons éluviaux du sol lessivé qui constitue la véritable roche-mère; l'argile provenant du lessivage se superposerait aux bandes argilliques de la première phase de lessivage.

. Un troisième ensemble serait constitué par les sols récents ou modernes qui n'ont subi qu'une phase de pédogenèse. Ce serait le cas du profil HP-3, sol récent non hydromorphe et du profil HP-20, sol moderne hydromorphe; pour le premier, c'est la podzolisation débutante qui se développe directement, pour l'autre c'est l'hydromorphie qui agit sur les sédiments limono-argileux modernes.

. Finalement, nous observons des sols récents qui présentent des caractères hydromorphes renforcés par le lessivage qui entraîne le colmatage progressif des horizons B. C'est le cas du profil HP-18, cependant hydromorphe, où l'acidification progressive du sol a entraîné finalement la podzolisation superficielle.

Les phénomènes de lessivage des sols sableux, à Bt en bandes, et la podzolisation ont une telle importance ici qu'il convient de préciser les différents aspects de ces phases pédogénétiques.

1.1. Lessivage de sols sableux.

La formation des horizons B texturaux est assurée par le processus de lessivage. Dans ce processus de phénomène d'entraînement mécanique de l'argile et du fer en milieu peu acide et biologiquement actif (AUBERT, 1969; DUCHAUFOUR, 1970), l'argile est peu altérée chimiquement. Dans le cas général, il se traduit sur le plan morphologique par la formation des horizons B texturaux, à structure plus ou moins polyédrique ou prismatique. Dans les sols sableux, très pauvres en argile, l'aspect des horizons Bt est particulier : l'accumulation de l'argile se fait souvent sous la forme de bandes Bt d'épaisseur variable de 1 mm jusqu'à plusieurs cm. Les bandes peuvent atteindre une profondeur considérable, elles ont été décrites à une profondeur de 4 mm (VANDAMME-DE LEENHEER, 1968).

Ces bandes étaient considérées à l'origine comme de simples discontinuités lithologiques, ayant une origine sédimentaire. Les études postérieures de laboratoire sur colonnes de sol, BREWER et HALDANE (1957) et de terrain sur profils complétées par l'examen micromorphologique ont définitivement conclu au rôle important du processus de lessivage.

De nombreux auteurs ont étudié la nature et l'origine de bandes trouvées dans les sols sableux à sablo-limoneux (bandes argilliques, ferriques ou humiques); SCHEYS-DUDAL-BAEYENS, 1954; FOLCKS-RIECKEN, 1956; WURMANN et al., 1959; AMERYCKX, 1960; DE CONINCK, 1964; BARTELLI-ODELL, 1960; VANDAMME-DE LEENHEER, 1968, etc ...

La formation des bandes Bt est considérée par certains auteurs comme des polyséquums (FOLCKS-RIECKEN, 1956), où chaque bande provient de l'interbande du dessus (C ou A2) et pour d'autres, VANDAMME-DE LEENHEER (1968) comme un phénomène global, la migration de l'argile progressant par "sauts successifs".

Diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer le mécanisme de formation des bandes. Les discontinuités lithologiques est le mécanisme plus fréquemment cité. Les interactions chimiques entre les différents composants colloïdaux dans certains cas déterminent aussi la précipitation des complexes migrant en profondeur. Le fait que les bandes Bt sont aussi le lieu d'accumulation des oxydes de fer, souvent de l'humus et dans une phase plus avancée de pédogenèse de l'aluminium, semble confirmer cette hypothèse.

Nous n'avons pas étudié en particulier les phénomènes de formation des bandes Bt, mais les résultats obtenus nous permettent de les rapprocher de ceux notés dans la bibliographie. Le caractère complexe des profils examinés, avec des phases sédimentaires différentes que séparent souvent des phases de pédogenèse, nous empêchent d'en tirer certaines conclusions, en particulier concernant la migration préférentielle de l'argile. La dégradation des horizons Bt, qui commence au sommet, contribue aussi à compliquer l'interprétation des résultats des analyses des argiles.

Ainsi, nous avons constaté que :

- l'accumulation d'argile sous la forme de bandes se fait jusqu'à une profondeur considérable qui dépasse souvent le mètre;

- les bandes argilliques se forment suivant les discontinuités lithologiques qui le plus souvent sont très nuancées et ne sont pas observables sur le terrain; la micromorphologie permet de les mettre en évidence. L'origine pédologique a été clairement démontrée en utilisant la micromorphologie; l'argile et le fer se déposent par couches fines successives sur la surface des grains, ils sont fortement orientés comme l'avaient constaté BREWER-HALDANE (1957), BARTELLI-ODELL (1960).

- souvent, une très fine strate de sable plus grossier ou de graviers souligne les bandes; cependant, les bandes peuvent se former à l'intérieur des horizons de toutes les granulométries, caillouteuses (profil PH-10) ou sableuses (profil HP-8);

- l'épaisseur des bandes est très variable, d'environ 1 mm à quelques cm; les bandes plus grosses se trouvent souvent au sommet des horizons Bt;

- en général, les bandes argilliques sont aussi ferriques (les ferri-argilanes sont largement prédominants sur les argilanes.

- les bandes au sommet des horizons Bt sont aussi enrichies en aluminium libre, ceci est dû en grande partie à l'aluminium libéré par dégradation des horizons Bt et à l'aluminium libéré en surface sous l'effet de la podzolisation.

Nature des argiles.

La nature des argiles des horizons Bt est variable suivant le degré de dégradation des bandes argilliques. Dans les cas extrêmes où la dégradation est très avancée (ex. horizon B21t du profil HP-1) la composition minéralogique ressemble beaucoup à celle qu'on trouve en surface dans les sols podzolisés.

La kaolinite est largement prédominante, ensuite viennent l'illite, un peu de vermiculite-Al, des traces possibles de montmorillonite et une quantité très importante de quartz et de feldspaths très fins.

Dans les horizons Bt bien conservés à la base de profils, ou dans les bandes plus ou moins intactes des horizons B2t en voie de dégradation, la séquence minéralogique est différente : montmorillonite dominante, suivie de près par la kaolinite, l'illite étant subordonnée. Dans les bandes relativement intactes des horizons Bt, on observe aussi une certaine quantité de quartz fin, mais très peu abondante par rapport aux sols podzolisés. Il est bien probable qu'au niveau des bandes dégradées il y a des produits amorphes, comme l'indiquent les analyses chimiques et comme l'a déjà démontré DE CONINCK (1969).

Dans le profil HP-8, au niveau du sol ancien correspondant pourtant à la terrasse ancienne rubéfiée du Cosson, la séquence minéralogique est semblable, c'est-à-dire la montmorillonite est le minéral argileux prédominant, suivi de la kaolinite et ensuite subordonnée, l'illite. Ceci prouve que les conditions géochimiques d'évolution n'ont pas été trop agressives, l'évolution du sol ancien serait à rapprocher de la fersiallitisation.

Origine des argiles.

Dans la plupart des cas les argiles sont héritées; les niveaux argileux bien conservés de la base des profils présentent la même séquence minéralogique que les niveaux situés dans des conditions plus agressives, plus haut dans les profils. Par ailleurs, les pics de réflexion aux rayons-X de la montmorillonite sont très nets et distincts et dénotent des minéraux bien cristallisés, tandis que les montmorillonites provenant d'une néoformation ne donnent normalement pas de réflexions bien nettes.

La kaolinite est le minéral argileux qui prédomine dans le matériau géologique de Sologne (Miocène).

L'illite est aussi héritée de la roche-mère. Dans les processus de dégradation assez poussés et dans la podzolisation, l'illite évolue dans le sens de la vermiculite, puis de la vermiculite alumineuse en passant par les interstratifiés.

Les caractères micromorphologiques des horizons Bt expriment bien leur mode de formation. La présence des argilanes et des ferri-argilanes lités ou lamellés indiquent des dépôts successifs, parfois des phases évolutives, formant des cutanes complexes : argilanes assez épais - des dépôts grossiers - et des argilanes minces.

Il est possible cependant qu'une partie des argilanes constitués par un plasma squelsépique, proviennent d'une argillification sur place. La distinction entre le plasma squelsépique provenant de l'argillification sur place ou des argilanes des grains libres est souvent délicate (RIGHI, 1969). Les argilanes ont été décrits dans un premier stade d'évolution des sols sableux par DE CONINCK (1969) en Campine Anversoise : dans les sols glauconifères, ils proviennent en partie de l'argillification de la glauconie. Dans notre cas, il nous semble qu'une partie considérable a une origine illuviale et que la néoformation d'argile est assez limitée.

1.2. La dégradation des horizons Bt.

La dégradation des horizons Bt a été étudiée par de nombreux auteurs, en particulier dans les sols sableux par DE CONINCK (1966, 1969) et par RIGHI (1969).

Nous avons constaté ce phénomène dans les sols des moyennes terrasses,

donc d'une certaine ancienneté.

Du point-de-vue morphologique, elle se manifeste sur le terrain par l'apparition des langues de dégradation (glosses), qui recoupent les bandes argilliques et qui se propagent de préférence dans les lits plus grossiers du profil dans les niveaux stratifiés. Dans les bandes argilliques du sommet de cet horizon, à un stade avancé de dégradation, elles finissent par disparaître (ex : HP-7), de même que la stratification originelle : ce phénomène est appelé homogénéisation par DE CONINCK (1969).

En micromorphologie, le phénomène se traduit par une structure de base très hétérogène, la répartition du squelette et du plasma est complexe : des plages de sables lavés, dépourvues de plasma, se juxtaposent à des plages à plasma argileux plus abondant, constituant des bandes qui présentent, en général, un assemblage à distribution relative intertextique. Les plages où le plasma est plus abondant correspondent aux parties plus ou moins intactes des horizons Bt. Les plages dégradées ont été dépourvues du fer et de l'argile, ce qui leur confère un aspect blanchi et une consistance meuble. Nous avons également parfois constaté une disposition particulière des éléments fins du squelette à l'intérieur des glosses qui paraît dû à leur redistribution sinon à une véritable migration.

Les bandes argilliques résiduelles, segmentées, au sommet des horizons Bt, souvent assez grosses (HP-1, HP-6) sont à leur tour attaquées par la dégradation avec destruction au moins partielle des argiles, et la libération du fer, de l'aluminium et aussi de la silice, comme l'a constaté DE CONINCK (1969). Le plasma argileux disparaît presque complètement, à l'exception de quelques petits domaines biréfringents isolés dans la masse. L'aspect des bandes devient "silteux", et finalement la perte de la biréfringence se produit.

Une partie des argiles est remise en mouvement au cours de la dégradation, favorisée probablement par des conditions d'hydormorphie temporaire qui se produisent au niveau des bandes et surtout à la base des profils dans les niveaux les plus argileux; le phénomène reste cependant assez limité et se réduit à une redistribution d'argile à l'intérieur d'un horizon, plus qu'à un véritable lessivage d'un horizon à l'autre. A la base des profils, on retrouve cette argile sous la forme d'argilanes jaune pâle cireux, assez épais et fortement biréfringents.

Sur le plan minéralogique, la dégradation assez forte (bandes au sommet du Bt du profil HP-6) se rapproche de la podzolisation : évolution de l'illite vers la vermiculite-Al, fragmentation du quartz, quoique moins forte que dans la podzolisation. La montmorillonite, souvent présente dans les bandes intac-

tes au même niveau sont les premières à se détruire.

Sur le plan chimique, se produit une ségrégation des oxydes de fer d'autant plus accentuée que les conditions d'engorgement sont plus prononcées, avec la formation des zones blanchies et des taches de rouille. Si le mouvement du fer se poursuit, il y a même formation de nodules et de concrétions (RIGHI, 1969). Dans les sols observés, les nodules sont plutôt rares, les conditions de drainage sont bonnes sauf à la base des profils. Le fer et l'aluminium libérés migrent latéralement et en profondeur pour s'accumuler dans les bandes résiduelles et intactes des horizons Bt. Cette accumulation est plus marquée dans les bandes en voie de dégradation que dans les horizons B2h des sols podzolisés au sommet.

1.3. La podzolisation.

Pendant longtemps, on a attribué la formation des podzols à la présence d'une végétation de Résineux ou de Bruyères conditionnant l'existence d'un humus brut (mor). Actuellement, cette végétation n'est plus considérée comme indispensable pour déclencher le phénomène (EDELMAN, 1960; BLOOMFIELD, 1965). D'autre part, les études expérimentales utilisant des extraits de litières de feuillus et de résineux (LOSSAINT, 1959; BLOOMFIELD, 1965) ont montré que les extraits de litières de feuillus ont un plus grand pouvoir d'extraction du fer que les résineux et que cette capacité d'extraction diminue rapidement avec la transformation en humus amorphe. D'autres auteurs ont constaté le même phénomène (BRUCKERT et JAQUIN, 1965).

Les acides fulviques libérés en grandes quantités sont responsables d'une altération poussée des silicates allant jusqu'à la destruction des argiles et d'une complexation importante du fer et de l'aluminium (CPCS, 1968).

Cette définition montre l'importance croissante qu'a pris l'aluminium comme critère du phénomène de la podzolisation par rapport au fer considéré auparavant comme fondamental (PEDRO G., 1964; DUCHAUFOUR Ph., 1965).

La matière organique forme des complexes organo-métalliques avec le fer et l'aluminium, pouvoir qui est plus développé pour les acides fulviques que pour les acides humiques (DUCHAUFOUR, 1964; ALEXANDER, 1960-1967; SCHNITZER et SKINNER, 1964).

La podzolisation, sous l'influence d'une évolution particulière de la matière organique (DE CONINCK, 1954-1964; RIGHI, 1969) se manifeste donc par son aspect macromorphologique de différenciation du profil, par les phénomènes de migration du fer et

de l'aluminium (DUCHAUFOUR, 1964; RIGHI, 1969, etc ...) et sur le plan minéralogique par l'évolution des minéraux argileux dans le sens de la vermiculite (MILLOT, 1964; DE CONINCK, 1969) et la fragmentation du quartz (DE CONINCK, 1969).

Nous allons successivement analyser ces aspects dans les sols de Sologne que nous avons étudiés. Il faut cependant remarquer que nos résultats sont limités parce que notre étude n'a pas porté sur le processus de podzolisation lui-même, mais plutôt sur la répartition géographique des phénomènes pédologiques.

1.3.1. Certains aspects de l'évolution de la matière organique dans les sols podzolisés.

Nous avons déjà constaté que la podzolisation présente dans la région des caractères très particuliers liés à l'action de l'Homme qui a modifié les caractères des sols à la suite d'interventions répétées dans le temps.

Deux aspects de l'évolution de la matière organique ont retenu notre attention :

. Les caractères micromorphologiques de cette évolution dans les horizons B des sols, suivant en celà les méthodes utilisées par RIGHI D. (1969), dans son étude très complète de ces sols, en Forêt de Rambouillet.

1.3.1.1. Aspects micromorphologiques de la matière organique.

Cet aspect a été abordé dans les sols des moyennes terrasses, les plus étendus dans le secteur.

Les caractères micromorphologiques de la matière organique sont semblables pour tous les sols étudiés.

La matière organique se présente au niveau des horizons B2h essentiellement sous la forme de boulettes fécales en état variable de désintégration. Les unes sont plus ou moins intactes, d'une couleur brunâtre foncée à faible grossissement et brun clair à jaunâtre sale à fort grossissement. Les autres ont perdu, par fragmentation, la forme originelle, plus ou moins ovoïde à sphérique.

Les boulettes fécales examinées à fort grossissement présentent un mélange plus ou moins intime entre la matière organique et la fraction minérale plus fine du squelette; en lumière polarisée, on observe facilement les phénomènes d'extinction des minéraux

qui y sont inclus. La couleur est brunâtre foncé et la matrice organique non biréfringente. Cet aspect définit le moder (JONGERIUS et SCHELLING, 1960; JONGERIUS, 1956) ou le mull-moder de RIGHI (1969). La matière organique semble peu transformée sur le plan chimique : une partie des boulettes fécales paraît cependant subir une transformation chimique, les contours deviennent assez flous et les boulettes noircissent ...

Les boulettes fécales se désintègrent progressivement pour donner comme de petits agrégats, des pellicules irrégulières discontinues qui se plaquent contre les grains du squelette, formant souvent des ponts entre eux; ils arrivent parfois à remplir les espaces intergranulaires. A fort grossissement, ils semblent conserver l'aspect particulier déjà décrit, la couleur jaunâtre et les phénomènes optiques dus à la présence des minéraux; à faible grossissement, ils ressemblent aux pellicules d'humus amorphe.

Dans les horizons B3 et/ou B22, la désintégration des boulettes fécales est plus poussée et on retrouve surtout les pellicules déjà décrites qui se collent contre les grains du squelette.

L'existence des boulettes fécales ou des petits agrégats de moder dans les horizons B2h a été attribuée en partie au transport par les animaux fouisseurs et en partie à une véritable illuviation mécanique des boulettes fécales (JONGERIUS, 1960; RIGHI, 1969).

La désintégration des boulettes fécales a été attribuée à une cause purement mécanique, influencée par le régime hydrique, la stabilité des boulettes fécales à l'eau étant limitée (JONGERIUS, 1960).

L'évolution de l'horizon B2h et la formation des horizons B21h et B22h décrite par DE CONINCK (1964) n'est pas atteinte, la formation des pellicules d'humus amorphe reste très limitée. Il est évident que l'action de l'Homme constatée à l'examen des profils a influencé aussi le caractère de la matière organique des horizons B. La réactivation biologique des horizons B2h a accéléré l'évolution de la matière organique, le rapport C/N descend aux environs de 10.

L'évolution en surface de la matière organique semble suivre le schéma théorique proposé en détail par RIGHI (1969) après les travaux de MM. KONONOVA , BACHELIER, etc ...; la matière organique fraîche arrivant à la surface des sols est prise par les consommateurs primaires de la faune du sol qui la transforment en boulettes fécales. Ces boulettes fécales se fragmentent mécaniquement et subissent une faible transformation chimique. La matière organique est alors attaquée par des microorganismes autres que les consommateurs primaires qui le mélangent

intimement avec la matière minérale. Ce mélange est transporté en profondeur par les animaux fouisseurs, une autre partie est produite sur place. Le processus continue avec la désintégration des boulettes fécales ainsi transportées et la formation de ponts entre les grains du squelette et des revêtements sur les grains.

1.3.1.2. Evolution chimique de la matière organique.

L'évolution chimique de la matière organique a été abordée d'une manière restreinte, en étudiant l'évolution en profondeur de la matière organique totale et des composés humiques, en particulier des acides fulviques et des acides humiques.

Nous avons constaté pour la plupart des profils les caractères suivants :

- matière organique totale relativement abondante dans les premiers centimètres pour diminuer brusquement;

- à partir des horizons A11 ou A12 elle diminue graduellement en profondeur; l'horizon A2, quoique plus pauvre, n'en est cependant généralement pas aussi dépourvu que dans les sols podzoliques typiques;

- dans un certain nombre de cas, il existe une légère accumulation de matière organique dans les horizons B; elle n'est cependant souvent décelable que par une modification des proportions des deux constituants de l'humus. Les horizons inférieurs à ce B2h sont toujours beaucoup plus pauvres;

- les acides fulviques dominent largement sur les acides humiques tout au long des profils;

- la production des acides fulviques est déjà assez intense à partir de l'horizon Ao s'il existe;

- dans les horizons B2h, le rapport acides fulviques/acides humiques est supérieur à 2, pour beaucoup de cas supérieur à 3;

- dans les horizons B3, le rapport est souvent encore plus élevé, la matière organique en profondeur est presque exclusivement représentée par les acides fulviques;

- faible tendance à la polymérisation des composés humiques;

- la fraction humifiée de la matière organique totale est très peu représentée en surface et devient importante à partir des horizons A2;

- les sols sableux de Sologne sont, en général, très pauvres en matière organique, mais celle-ci est capable de migrer jusqu'à une grande profondeur.

Nous constatons ainsi une tendance générale de ces sols sableux à la production des composés humiques peu polymérisés; cette tendance est commune aux sols secs et pauvres et ne se traduit pas en micromorphologie par la formation de pellicules d'humus amorphe sur les grains, comme l'a observé RIGHI dans les podzols secs de Rambouillet. Il nous semble probable qu'une partie des acides fulviques, au niveau de l'horizon B2h, pourrait être associée à la désintégration des boulettes fécales, qui déjà subissent une transformation chimique, comme la teinte jaunâtre semble l'indiquer (JONGERIUS, 1956).

1.3.2. Aspects physico-chimiques : dynamique du fer et de l'aluminium.

1.3.2.1. Aluminium.

Le comportement de l'aluminium est lié non seulement à la podzolisation, mais aussi à la dégradation des horizons Bt texturaux.

La mobilité de l'aluminium est en grande partie conditionnée par les formes complexées avec la matière organique, qui dans des conditions de drainage suffisant migrent pour s'accumuler dans l'horizon B2h. En conditions d'hydromorphie (profil HP-18), la migration reste faible.

Nous avons constaté une tendance de l'aluminium libre à s'accumuler dans l'horizon B2h, dans certains cas dans l'horizon B1 et plus rarement dans le B3. La migration en profondeur des acides fulviques dépasse la couverture de surface permettant à l'aluminium de migrer et de s'ajouter à l'aluminium libéré par dégradation dans les bandes résiduelles des horizons Bt dégradés des sols anciens.

Il faut également noter que la mobilité de l'aluminium est, en général, faible par rapport à celle du fer.

Une partie de l'aluminium libéré reste bloquée entre les feuillets d'illite ouverts; il se forme de la vermiculite alumineuse, comme nous l'avons signalé à propos de l'évolution des minéraux argileux. L'alumine montre de plus, vis-à-vis de la silice, une affinité beaucoup plus grande que les oxydes de fer (DE CONINCK, 1969). Les rapports Al_2O_3/Fe_2O_3 restent, en gé-

néral, inférieurs ou égaux à 1. La composition minéralogique de la couverture est assez pauvre en minéraux altérables susceptibles d'apporter de l'aluminium.

Le comportement de l'aluminium échangeable est moins régulier et présente de grandes variations en profondeur; il domine soit à la base des horizons A ou au sommet des horizons B, horizon B1 et aussi B2h, mais pas d'une façon régulière. Souvent l'aluminium échangeable tend à augmenter en profondeur pour atteindre le maximum dans les bandes plus ou moins dégradées au sommet des horizons Bt du paléosol.

1.3.2.2. Fer.

La répartition du fer est fortement influencée par le régime hydrique du profil.

Dans les profils temporairement hydromorphes, il se produit une remise en mouvement du fer qui s'accumule dans les taches et dans les nodules, et qui peut même être exporté en grande partie hors du profil.

Dans les profils bien drainants, la dynamique du fer est assez voisine de celle de l'aluminium; le fer a une tendance à s'accumuler dans les horizons B du sol actuel et dans les bandes argileuses des horizons Bt en voie de dégradation. Ces bandes paraissent constituer des "pièges" pédologiques qui favorisent l'accumulation du fer migrant en profondeur. La matière organique provoquerait la complexation ou la réduction du fer ferrique en fer ferreux, qui est alors entraîné (BETREMIEUX, 1971; BLOOMFIELD, 1951; LOSSAINT, 1958; SEGALEN, 1964). Ces complexes sont adsorbés de façon intense par les oxydes ferriques et faiblement réoxydés en présence de l'air (BLOOMFIELD, 1951); la migration sous la forme ferrique est aussi possible (SCHNITZER, 1959). Une partie du fer est libéré sur place lors de la dégradation des bandes argileuses. Les bandes elles-mêmes peuvent provoquer des conditions d'engorgement temporaire qui facilite alors ce phénomène.

1.3.3. Aspect minéralogique de la podzolisation.

1.3.3.1. Evolution des argiles.

Nous avons analysé aux rayons-X la plupart des horizons B2h des sols podzolisés et d'autres horizons de profondeur, bandes argilliques des paléosols en particulier.

A partir de ces analyses, forcément limitées, nous pouvons dégager une série de conclusions (figure n° 46) :

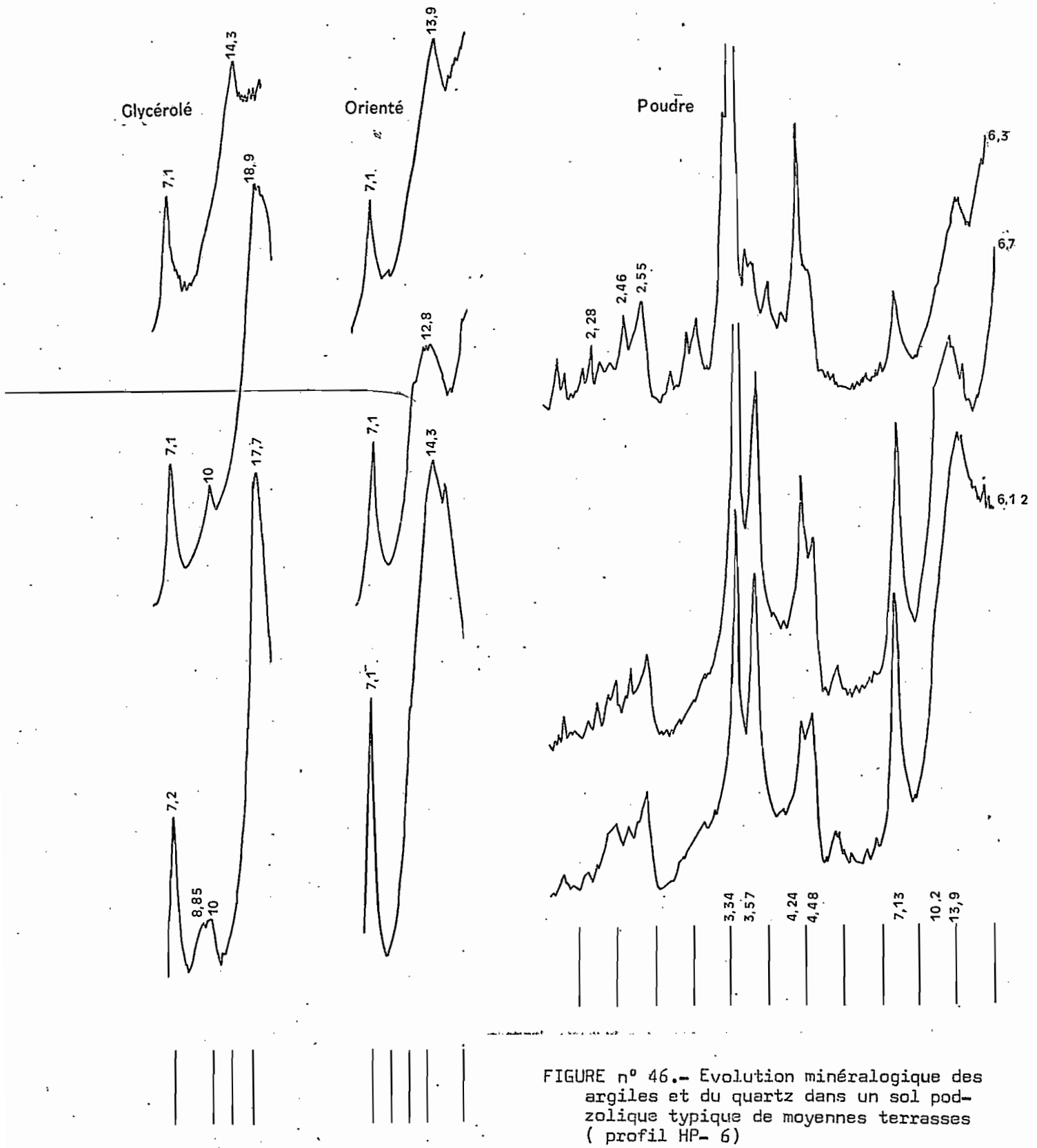


FIGURE n° 46.- Evolution minéralogique des argiles et du quartz dans un sol podzolique typique de moyennes terrasses (profil HP- 6)

. la plupart des sols, qui sont étroitement apparentés du point-de-vue sédimentologique, ont hérité les mêmes types de minéraux argileux : la montmorillonite et la kaolinite qui sont prédominantes et l'illite qui est subordonnée;

. dans les horizons superficiels des sols podzolisés se produit une évolution des argiles, de l'illite, en particulier dans le sens de la vermiculite, l'illite tend à disparaître;

. dans une première phase, les illites se transforment, par perte d'ions K + interfoliaires, en vermiculite simple en passant par les interstratifiés illite-vermiculite;

. une deuxième phase serait constituée par la vermiculite-Al, puis la vermiculite alumineuse chloritisée, par libération de l'aluminium tétracoordonné qui prend la place du potassium entre les feuillets (PEDRO G., comm. pers.; MILLOT, 1964);

. donc, dans le profil, de haut en bas, la vermiculite-Al et les interstratifiés apparaissent, l'illite tend à disparaître, la kaolinite persiste. En profondeur, la vermiculite tend à disparaître mais persiste encore dans les bandes très dégradées de l'horizon Bt et du sol ancien; l'illite devient plus importante et la kaolinite reste dominante; dans les horizons Bt plus profonds à la base des profils domine la montmorillonite mais la kaolinite reste abondante et l'illite subordonnée.

1.3.3.2. Fragmentation du quartz.

La fragmentation du quartz a été mise en évidence expérimentalement par PEDRO (1958) et par DE CONINCK (1969) dans les sols. Elle est caractéristique des niveaux affectés par la podzolisation et aussi par la dégradation poussée dans les horizons Bt en voie de dégradation. Ce phénomène se traduit par des pics de quartz très développés dans les diagrammes de rayons-X. En profondeur, dans les horizons non affectés par la podzolisation ou la dégradation, les raies correspondant au quartz disparaissent. Dans les bandes résiduelles relativement intactes où débute la dégradation, les raies du quartz sont peu développées (figure n° 46).

2. ASPECT SEDIMENTOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE DES MATERIAUX DES SOLS.

Nos observations sur le terrain et l'analyse détaillée de courbes de fréquence relative et cumulative, ainsi que les données de la morphoscopie des sables nous permettent de conclure :

. à l'existence de véritables terrasses du Cosson repérées en particulier sur le terrain par la nature stratifiée du matériau, caractéristique des alluvions;

. ces terrasses sont recouvertes partout par un manteau de sables plus ou moins évolués d'épaisseur variable, non stratifié, sableux à sablo-limoneux;

. l'origine commune ou voisine de ces sables éolisés est en général la parenté étroite entre les sédiments des différentes phases sédimentaires, les "Sables de Sologne" qui recouvrent la région se caractérisent par une zone de fréquence maximale pour les sables moyens;

. l'action éolienne est généralisée partout, affectant les sables de Sologne dans la couverture ou sous la forme de terrasse fluviatile qui a remanié des sédiments déjà éolisés. La terrasse fluviatile la plus ancienne au Briou du Lude (profil HP-8) et la Sologne (Miocène) en place sont exceptuées;

. l'influence des terrasses anciennes de la Loire (glacis polygénique) se manifeste par l'apport de matériaux grossiers, graviers et cailloux de quartz et silice au sein de formations essentiellement sableuses;

. la nature minéralogique des fractions grossières est assez homogène dans la région avec une large prédominance de quartz suivie de feldspaths (environ 20 %); dans les fractions plus fines on observe des micas.

3. ASPECT CHRONOLOGIQUE ET DE PEDOGENESE.

Nous avons pu montrer l'existence de véritables terrasses fluviatiles du Cosson, étagées, comme c'était le cas pour les terrasses de la Loire; on n'observe cependant pas nécessairement, du point-de-vue de la pédogenèse, une augmentation de l'évolution pédogénétique avec l'altitude (voire l'ancienneté des dépôts), sauf dans le cas de la terrasse ancienne de 16 m (Briou du Lude) et des alluvions modernes et récentes du Cosson, au niveau inférieur à 3 m. Toute la zone intermédiaire entre ces deux pôles peut être considérée comme plus ou moins uniforme quant aux caractères complexes des profils. Dans les profils que nous avons dénommés "de moyennes terrasses", les sols anciens sont plus ou moins affectés par la dégradation des bandes argilliques, plus en fonction de l'évolution podzolique de la couverture de surface que de leur âge relatif et même de leur position dans le paysage.

La nature minéralogique des formations superficielles

et leur origine, en particulier leur pauvreté en minéraux altérables et le fait d'avoir déjà subi une pédogenèse préalable, favorisent un peu partout le développement de la podzolisation. L'action préalable de l'Homme qui à long terme l'accentue, malgré des modifications contraires mais temporaires dues à la mise en culture pendant des périodes variables jamais très prolongées, finit par homogénéiser pour ainsi dire la pédogenèse de surface, à l'exception des alluvions récentes et modernes du Cosson, en position basse où l'hydromorphie l'emporte et, pour une part, de la terrasse ancienne fossile du Briou du Lude (profil HP-8) qui a subi une pédogenèse chaude de type fersiallitique avant la mise en place de la couverture wurmienne.

En l'absence de moyens plus précis de datation, nous ne pouvons qu'essayer d'établir une chronologie toute relative, en particulier en nous fondant sur les caractères des phases sédimentaires successives.

Les "sables de couverture de Sologne", malgré leur caractère éolisé limité sauf en quelques points, correspondent vraisemblablement aux dernières périodes d'éolisation wurmiennes responsables de la mise en mouvement le plus souvent à faible distance, de matériaux provenant en grande partie des horizons éluviaux des sols lessivés qui pouvaient d'ailleurs être déjà à un stade podzolique.

Les matériaux stratifiés riches en sable fin plus ou moins éolisés des terrasses fluviatiles qui constituent le substrat et le siège des accumulations en bandes dans tous les niveaux, que nous avons appelés de moyennes terrasses, pourraient correspondre vraisemblablement soit aux périodes d'éolisation au début du Wurm (Wurm ancien), soit à la fin Riss, étant donné qu'on n'observe pas de rubéfaction marquée.

La terrasse ancienne du Cosson, rubéfiée et soumise aux effets d'une phase relativement chaude et contrastée, correspondrait plutôt à une pédogenèse de type fersiallitique (rubéfaction, nature et proportion de minéraux argileux), voisine du Riss ancien ou à une période plus récente. Les terrasses anciennes de la Loire étudiées par HOREMANS (1960, 1961) présentent déjà au Riss une faible proportion d'illite et la montmorillonite en est absente. Ces terrasses ont été citées avec précision. Ceci nous amène à penser que l'enfoncement du bassin du Cosson a été plus progressif et avec un certain décalage par rapport au creusement de la vallée de la Loire. Notre témoin du glacis (profil HP-4) est beaucoup plus évolué que la terrasse la plus ancienne du Cosson.

Quatrième Partie

ANNEXE

1. ANALYSE MORPHOSCOPIQUE DES SABLES.

1.1. Procédure.

Les sables procédant de l'analyse granulométrique ont été séparés en deux lots par tamisage : la fraction A (entre 0.8-1 mm) et la fraction B (entre 0.4-0.5 mm). Le choix de ces catégories nous a été inspiré par le travail de J. HARRAULT (1960) réalisé en Sologne; les grains des catégories choisies montraient bien l'action éolienne.

L'observation se fait à la loupe binoculaire sur fond noir, avec un éclairage par réflexion, faisceau lumineux aussi ponctuel que possible.

Les grains tamisés sont mis dans une boîte en plastique, divisée en carrés; pour chaque échantillon, on compte 50 grains suivant les carreaux en diagonale.

1.2. Définitions des catégories.

Pour la séparation des différentes catégories, nous avons utilisé la classification de TRICART (1963) modifiée à l'ORSTOM (DELAUNE, comm. pers.). Nous allons préciser les caractères de ces différentes catégories de grains :

<u>Anguleux luisants</u> (AL) : correspondent aux grains non usés de A. CAILLEUX. Le plus souvent, le contour est anguleux, les arêtes aiguës prédominant nettement sur celles qui sont légèrement émoussées. Les phases correspondent quelquefois à la forme originelle du cristal, planes lisses ou légèrement striées. Souvent, il s'agit de cassures ou de faces gauches, irrégulières, formant entre elles des angles aigus, obtus ou droits. L'image de réflexion est donnée par une face presque entièrement brillante.

Nous avons inclus dans cette catégorie les grains anguleux brillants de TRICART.

<u>Subanguleux luisants</u> (SL) : il s'agit de grains peu usés, qui dérivent des précédents par une légère usure. Les arêtes émoussées deviennent prédominantes, mais on devine la forme originelle. Les arêtes aiguës sont en minorité, les contours s'adoucissent.

Emoussés luisants (EL) : l'usure devient plus évidente, les arêtes aiguës disparaissent complètement, on observe une tendance à la forme subarrondie. Les arêtes sont plutôt bombées; les grains deviennent à surface très propre à éclat vif. L'image par réflexion est donnée par son sommet bombé ou par une arête. Si on fait bouger l'éclairage ou si l'on déplace le grain, il y a toujours des images de réflexion.

Ces trois catégories représentent l'action de l'eau dans le sens croissant. En Sologne, on ne trouve pas d'ovoïdes ou ronds-luisants qui seraient le stade final de l'action de l'eau et que l'on trouve dans certains sables marins.

Subanguleux-picotés (SP) : les grains appartenant à cette catégorie semblent provenir de subanguleux luisants qui ont subi une faible action éolienne. La surface est revêtue d'un picotis fin peu abondant. Les marques de chocs sous la forme d'écailles sont rares.

Emoussés-picotés (EP) : les grains appartenant à cette catégorie sont plus controversés. La surface est revêtue d'un picotis fin qui leur donne parfois un aspect moiré qui reste néanmoins luisant, la transparence reste le plus souvent observable. L'origine de ces grains est mal connue; TRICART et CAILLEUX précisent qu'il s'agit d'une corrosion chimique. Les (EP) décrits en en Sologne, concordant avec LE HOUEROU (1961), nous semblent plutôt affectés par une action éolienne faible et constituent une espèce d'intermédiaire avec les grains mats, l'aspect picoté étant accompagné souvent du caractère mat; nous avons inclus ces grains dans la catégorie des grains émoussés picotés, lorsque le picotis était dominant et dans la catégorie des grains émoussés mats lorsque l'aspect mat l'emportait.

Emoussés mats (EM) : grains à contours émoussés et à caractère mat, sans éclat. La surface sous la loupe binoculaire est entièrement dépolie, picotée, constellée de minuscules marques de chocs. L'action éolienne est plus poussée que pour les catégories (SM) et (EP).

Ovoïdes-mats (OM) : les grains possèdent le caractère mat et leur forme est très régulière, plus ou moins symétrique et allongée. L'action éolienne est forte.

Ronds-mats (RM) : le contour général est très arrondi ou rond. La surface des grains est complètement dépolie et opaque, constellée de minuscules marques de chocs en coups d'ongle. L'action éolienne est maximale.

D'autres types de grains observés en Sologne correspondent aux quartz bipyramidaux, qui ont été classés de la même ma-

nière que les autres, par les caractères de la surface et/ou de l'usure; la plupart appartiennent aux (SL). Les grains irréguliers peu mats d'ALIMEN ont été inclus dans la catégorie des émoussés picotés ou subanguleux picotés lorsque les parties picotées étaient peu abondantes. Il nous semble que ces grains correspondent aux éolisés qui au départ étaient irréguliers et qui ensuite ont été repris par l'eau; l'usure a épargné les concavités des grains qui restent picotés mats.

Suivant A. CAILLEUX et J. TRICART (1963), l'action des différents agents dans le façonnement de quartz est variée (grains de 0.3 - 2 mm) :

. le gel et les glaciers donnent exclusivement des grains non usés;

. la solifluxion, les éboulements et coulées boueuses ne montrent pas d'usure décelable;

. le vent façonne à la longue, après une action prolongée de ronds-mats, cette action est plus sensible pour les grains d'environ 0.7 mm de long;

. l'action de l'eau se manifeste sous la forme d'un brassage mécanique qui émousse les grains et les rend luisants; cet effet est net vers 1 mm de long; la vitesse d'acquisition de l'aspect émoussé est très faible;

. l'action de brassage des houles dans les dépôts de plages marines tend à accentuer l'émoussée des grains;

. les remaniements se manifestent par des modifications à l'aspect primitif de grains qui prennent des aspects divers suivant l'agent et l'intensité de cette reprise.

2. ANALYSE MICROMORPHOLOGIQUE.

2.1. Description des lames minces.

La description des lames se fait suivant la terminologie de R. BREWER (1964), fondée sur l'étude de la distribution et de l'orientation des éléments constitutifs du sol. Il nous semble convenable de donner, en annexe, un bref résumé de cette technique descriptive et des termes micromorphologiques utilisés (d'après D. RIGHI, 1969).

1. Distribution.

. Distribution de base : C'est celle d'individus semblables les les uns par rapport aux autres. Des individus peuvent être distribués au hasard dans le matériau du sol; ils peuvent être, au contraire, groupés ou distribués de façon radiale, concentrique.

. Distribution par référence : C'est la distribution d'individus semblables par rapport à un élément spécifique. La distribution cutanique, c'est-à-dire l'association des individus aux surfaces naturelles du sol est une des plus importantes à l'intérieur de ce type.

. Distribution relative : C'est la distribution d'individus semblables par rapport à des individus différents. La distribution du plasma par rapport au squelette est importante. Cette distribution peut être porphyrosquélique, agglomeroplasmique, intertextique ou granulaire.

2. L'orientation.

L'orientation des individus peut être décrite et mesurée si ceux-ci sont directement observables avec les techniques mises en oeuvre.

Le microscope polarisant ne permet pas, en pratique, d'observer des individus dont la taille est inférieure à 5μ, ceci exclut toutes les particules de la taille des argiles. Cependant, l'orientation peut en être déterminée avec le microscope polarisant par l'interprétation des phénomènes d'extinction en nicols croisés. Par contre, on ne peut rien dire de l'orientation des éléments inférieurs à 5μ qui sont opaques ou isotropes.

Pour la mesure de l'orientation, on utilise les axes cristallographiques des minéraux ou pour d'autres individus les axes naturels définis par leur forme.

L'interprétation des phénomènes d'extinction du plasma en vue d'y déterminer des orientations préférentielles demande la connaissance des propriétés optiques des minéraux qui en sont à l'origine.

La majorité des minéraux du plasma qui présentent des orientations préférentielles sont les minéraux argileux et plus particulièrement ceux possédant une structure en feuillets. Ces minéraux argileux ont des propriétés cristallographiques et optiques similaires à celles des micas. Sous nicols croisés, ces minéraux s'éteignent si leurs plans de clivage sont parallèles à la direction de vibration de l'analyseur ou du polariseur. Ainsi, les positions d'extinction indiquent que la direction de vibration de l'analyseur ou du polariseur est dans le plan de la plus grande face et que ces faces sont parallèles entre elles.

Comme pour la distribution, plusieurs types d'orientation sont définis.

. Orientation de base : C'est l'orientation d'individus semblables entre eux.

Les grains du plasma forment de petits domaines élémentaires que l'on ne peut voir qu'à des grossissements importants. Ainsi, ce que nous allons observer, ce sont des domaines complexes à limite souvent indistincte du fait de l'imbrication et de la superposition de nombreux petits domaines dans l'épaisseur de la lame.

L'orientation de base comprend le degré d'orientation et le type d'orientation.

Le degré d'orientation est mesuré par trois facteurs : la taille des domaines anisotropes, l'orientation plus ou moins forte des grains à l'intérieur du domaine, le rapport entre les domaines anisotropes et les domaines apparemment isotropes.

Si l'orientation des grains à l'intérieur d'un domaine est forte et linéaire, il y aura extinction de tous les grains pour une position de la platine. Si les grains sont fortement orientés, mais suivant une courbe, l'orientation se traduit par une bande d'extinction qui se déplace quand la platine tourne. Plus la bande est sombre, plus les éléments sont orientés, la largeur indique le changement plus ou moins rapide de la direction de l'orientation.

Le type d'orientation exprime l'orientation des domaines les uns par rapport aux autres. Si ces domaines ont des orientations préférentielles, le plasma sera plus illuminé pour une position déterminée.

Le degré apparent d'anisotropie dépend du grossissement utilisé, à chaque grossissement correspond un rapport particulier.

. Orientation par référence : C'est l'orientation d'individus semblables par rapport à un caractère spécifique. Ici également, l'orientation par rapport aux surfaces matricielles est importante.

. Orientation relative : C'est l'orientation d'individus semblables par rapport à des groupes d'individus différents.

2.2. Glossaire des termes micromorphologiques employés.

R. BREWER (1964) propose, pour la description de lames minces, un certain nombre de termes bâtis à partir d'un nombre limité de racines auxquelles on ajoute préfixe ou suffixe. L'emploi de cette terminologie impose une discipline d'observation particulièrement efficace.

Le f o n d m a t r i c i e l englobe tout le matériel d'un agrégat élémentaire ou le matériel non agrégé dans lequel se développe la pédogenèse. Il comprend le plasma, le squelette et les vides.

Le plasma est la fraction du sol qui peut être déplacée, réorganisée et concentrée par des processus pédogénétiques. Il comprend tout le matériel, minéral ou organique, dont la taille n'excède pas 2 microns.

L'assemblage élémentaire définit le mode de répartition des constituants les plus simples parmi le squelette, le plasma, la matière organique non colloïdale, associés à des agrégats ou non.

Il peut être :

. porphyrique : le plasma apparaît comme une masse dense dans laquelle sont emballés les grains du squelette à la manière de phénocristaux dans une roche porphyroïde;

. agglomeré : le plasma apparaît comme un remplissage assez lâche entre les grains du squelette;

. intertextique : les grains du squelette sont liés par des ponts plasmiques ou sont disposés dans un plasma poreux;

. granulaire : le plasma est absent.

La description des assemblages plasmiques est basée sur l'interprétation des propriétés optiques en nicols croisés. On décrit le mode de répartition des domaines biréfringents et le degré d'orientation des argiles minéralogiques.

Une séparation plasmique correspond à un changement significatif dans la répartition des constituants plutôt qu'à un changement dans la concentration d'une quelconque fraction du plasma.

Une concentration plasmique correspond à un changement dans la concentration d'une quelconque fraction du plasma.

Un assemblage plasmique sans séparation plasmique est dit asépique, celui qui en possède est appelé sépique. On classe les assemblages plasmiques en :

. insépique : les séparations plasmiques à orientation striée constituent des plages isolées dans un plasma non biréfringent;

. mosépique : les séparations plasmiques orientées, mais non ordonnées, sont prépondérantes dans le plasma;

. vosépique : les séparations plasmiques sont disposées parallèlement aux parois des vides;

. squelsépique : les grains du squelette possèdent une auréole orientée;

. m a s é p i q u e : les séparations plasmiques se regroupent suivant des directions privilégiées;

. l a t i s é p i q u e : les séparations plasmiques discontinues, courtes, de forme elliptique, se regroupent suivant deux directions perpendiculaires;

. o m n i s é p i q u e : les séparations plasmiques disposées sans ordre couvrent tout le plasma.

Le c u t a n e est soit une modification in-situ du plasma, soit une concentration d'un constituant particulier du sol sur une surface naturelle. Il peut être formé de n'importe quel constituant du sol. D'après leur origine, les cutanes sont classés en cutanes d ' i l l u v i a t i o n , en cutanes de d i f f u s i o n et en cutanes de t e n s i o n.

Suivant la composition des cutanes, on distingue des :

. a r g i l a n e s : les minéraux argileux y prédominent, ils sont jaune clair, quelquefois blancs;

. f e r r i - a r g i l a n e s : mélange de minéraux argileux et d'oxydes ou hydroxydes de fer;

. s e s q u a n e s : les sesquioxydes y prédominent;

. o r g a n a n e s : la matière organique en est le constituant essentiel.

Un p e d o t u b u l e est un trait pédologique composé des matériaux du sol (squelette, squelette et plasma) et ayant une forme tubulaire simple ou ramifiée. Les limites externes sont relativement nettes.

Un a g r o t u b u l e est un pedotubule formé d'agrégats de squelette et de plasma à l'intérieur desquels il n'y a pas d'arrangement en relation avec la forme externe. Dans le cas d'un agrotubule organique, le plasma est un plasma organique.

. m o d e r : mélange de débris végétaux, boulettes fécales et éléments minéraux sans liens entre la fraction minérale et la fraction organique.

Bibliographie

ALLORGE (A.) et GAUME (P.) - 1925 - Esquisse phytogéographique de la Sologne.
Bull. Soc. Bot. Fr., t. 72, pp. 5-58.

AMERYCKX (J.) - 1960 - La pédogenèse en Flandre sablonneuse.
Pédologie, X, n° 1, pp. 124-190.

AUBERT (G.) - 1945 - Observations sur les sols de l'Anjou.
C.R.Acad.Sci., t. 221, pp. 755-757.

AUBERT (G.) - 1969 - Pédologie générale.
Cours ORSTOM (non publié).

BARTELLI (L.J.) et ODELL (R.T.) - 1960 - Laboratory studies and genesis of a clay-enriched horizon in the lowest part of the solum of some Brunizem and Gray-Brown Podzolic Soils in Illinois.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 24, pp. 390-395.

BLOOMFIELD (C.) - 1955 - A study of podzolisation. VI. The immobilisation of Iron and Aluminium.
J. Soil Sci., 6 : 248-292.

BREWER (R.) et HALDANE (A.D.) - 1957 - Preliminary experiments in the development of clay orientation in soils.
Soil Sci., 84 : 301-309.

BREWER (R.) - 1964 - Fabric and mineral analysis of soils.
John Wiley and Sons, 470 p.

CAILLEUX (A.) et TRICART (J.) - 1963 - Initiation à l'étude des sables et des galets.
C.D.U., Paris, 369 p.

C.P.C.S. - 1963-1967 - Classification des sols.
Multigr. ENSA de Grignon, Pédologie.

CRAWFORD (D.V.) - 1962 - Physico-chemical and biological aspects of podzolisation.
Transactions joint meeting comm. IV et V. Int. Soc. Soil Sci., New-Zealand, pp. 230-234.

DABIN (B.) - 1965 - Application des dosages automatiques à l'analyse des sols-Technicon.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. 3, n° 4, pp. 335-366.

DE GROSSOUVRE (A.) - 1897 - Tertiaire de la Sologne.
B.S.G.F. (IX), 58, pp. 265-268.

DENIZOT (G.) - 1960 - Formation éolienne importante dans le sud de la Sologne.
Bull. Carte géol. Fr., n° 261, t. LVII, pp. 49-54.

DENIZOT (G.) - 1960 - L'établissement du Bassin de la Loire dans la région orléanaise.
Bull. Nat. Orléanais, IX, pp. 3-10.

DOLFUSS (G.) - 1897 - Observations sur la géologie de l'Orléanais.
B.S.G.F. (3), XXV, pp. 465-469.

DOUVILLE (H.) - 1879 - Sur les relations des sables de l'Orléanais, des sables de Sologne et des faluns de la Touraine.
AFAS, VII, pp. 557-563.

DE CONINCK (F.) - 1954 - Différences dans la morphologie des podzols suivant l'humidité (Campine anversoise).
Trans. Int. Congr. Soil Sci. 5th. Leopoldville, 4 : 412-417.

DE CONINCK (F.) et LARUELLE (J.) - 1960 - L'influence de la composition minéralogique sur la formation de podzols.
7 th Int. Congr. Soil Sci. Madison V. 22, pp. 157-164.

DE CONINCK (F.) et HERBILLON (A.) - 1969 - Evolution minéralogique et chimique des fractions argileuses dans des Alfisols et des Spodosols de la Campine (Belgique).
Pédologie, XIX, 2.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1948 - Recherches écologiques sur la Chênaie atlantique française.
Extrait des Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1950 - Dégradation des sols forestiers par évolution pédologique défavorable.
RFF, n° 5, pp. 242-245.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1953 - De l'influence de la chaleur et de la radiation sur l'activation de l'humus forestier.
RFF, n° 3, pp. 204-212.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1953 - La dégradation de la structure des sols forestiers.
RFF, n° 10, pp. 657-665.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1954 - Evolution des sols forestiers en liaison avec la végétation forestière.
RFF, n° 11, pp. 640-647.

DE CONINCK (F.) et LARUELLE (J.) - 1964 - Soil development in sandy materials of the Belgian Campine.
Elsevier Co. A. Jongerius ed.
Proc. 2nd Int. Working meeting on Soil Micromorphology.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1964 - Evolution de l'Aluminium et du Fer complexés par la matière organique dans certains sols.
Sci. du Sol, n° 2, pp. 3-18.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1964 - Sur la dynamique de l'aluminium dans les sols podzoliques.
C.R.Acad.Sci., t. 259, pp. 3307-3309.

DUCHAUFOUR (Ph.) et SOUCHIER (B.) - Note sur une méthode d'extraction combinée de l'aluminium et du fer libre dans les sols.
Sci. du Sol, n° 1, pp. 17-29.

DELIBRIAS (G.), DUTIL (P.) et JUSTE (C.) - 1966 - Premiers résultats de mesure d'âge sur la matière organique de l'horizon d'accumulation des podzols humiques développés sur les sables des Landes.
C.R.Acad.Sci., t. 263, pp. 1300-1302.

DUCHAUFOUR (Ph.) et SOUCHIER (B.) - 1965 - Note sur un problème de Classification. Podzolisation chimique et différenciation du profil.
Pédologie, XV, 2, pp. 143-158.

DUCHAUFOUR (Ph.) et SOUCHIER (B.) - 1968 - Note sur la migration sélective de l'aluminium dans les sols cryptopodzoliques.
C.R.Acad.Sci., Paris, t. 266, pp. 204-206.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1966-1970 - Précis de Pédologie.
Masson et Cie, 3ème éd., 438 p., Paris.

EDELMAN (C.H.) - 1960 - Podzols forestiers et podzols de bruyères.
Pédologie, X, pp. 229-249.

EMBERGER (L.) et al. - 1964 - Notice détaillée. Carte phyto-écologique et carte de l'occupation des terres de Sologne.
C.E.P.E., Montpellier.

FEDOROFF (N.) - 1967 - L'étude de la micromorphologie des sols en Europe occidentale.
Doc. multigr. Lab. de Pédologie, ENSA, Grignon.

FEDOROFF (N.) - 1968 - Genèse et morphologie des sols à horizon B textural en France Atlantique.
Sci. du Sol, n° 1, pp. 29-65.

FOLKS (H.C.) et RIECKEN (F.F.) - 1956 - Physical and chemical properties of some Iowa soil profils with clay iron bands.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 20 : 575-580.

GAUCHERY (P.) - 1893 - Essai sur la géologie de la Sologne.
F.J.N. XXIII, n° 269, 20 p.

GEZE (B.) - 1959 - La notion d'âge du sol, son application à quelques exemples régionaux.
Ann. agron., 3, pp. 237-255.

GLANGEAUD (L.) - 1956 - Classification des sols et hiérarchie des phénomènes en Pédologie.
VI°. Congr. Int. Sci. Sol, Paris, vol. A, p. 178.

HARRAULT (J.) - 1960 - Etude morphologique de quelques sables de Sologne.
DES. Paris.

HOREMANS (P.) - 1961 - Contribution à l'étude pédologique des terrasses alluviales de la Loire moyenne.
Thèse Fac. Sci., Paris, 2 cart., 164 p.

JAMAGNE (M.) et FEDOROFF (N.) - 1969 - Comparaison micromorphologique de quelques sols sur limon du Bassin Parisien.
Mém. H.S. Soc. géol. Fr., n° 5, pp. 73-79.

JONGERIUS (A.) - 1956 - Etude micromorphologique des sols sableux des bois et des bruyères aux Pays-Bas.
VI CISS. Paris, Rapport E, pp. 353-357.

JONGERIUS (A.) et SCHELLING (J.) - 1960 - Micromorphology of organic matter formed under the influence of soil organisms, specially soil fauna.
7th Int. Congr. Soil Sci. USA III. 35, pp. 702-710.

LE HOUEROU (H.N.) - 1961 - Contribution à l'étude des sables et argiles de Sologne.
DES. Montpellier, 73 p.

LUCAS (J.), CAMEZ (Th.) et MILLOT (G.) - 1959 - Détermination pratique aux rayons-X des minéraux argileux simples et interstratifiés.
Bull. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr., t. 12, fasc. 21.

MARTIN (A.E.) et REEVE (R.) - 1957 - Chemical studies of podzolic illuvial horizons.
J. Soil Sci., 8, 2, pp. 268-286.

MARTIN (A.E.) et REEVE (R.) - 1960 - Chemical studies of podzolic illuvial horizons. IV. The flocculation of humus by aluminium.
J. Soil Sci., 11, 2, pp. 369-381.

MARTIN (A.E.) et REEVE (R.) - 1960 - Chemical studies of podzolic illuvial horizons. V. Flocculation of humus by ferric and ferrous iron and by nickel.
J. Soil Sci., 11, 2, pp. 382-393.

PEDRO (G.) - 1958 - Etude par voie expérimentale du processus de formation d'éléments fins par altération de roches à l'aide d'eau pure.
Bull. Gr. Fr. Argiles, 10, pp. 45-61.

PLANCHAIS (N.) - 1971 - Histoire de la végétation post-würmienne des plaines du Bassin de la Loire. D'après l'analyse pollinique.
Thèse Doc. es Sci. Univ. Sci. et Techn. du Languedoc.

POISSONET (J.) - 1968 - Essai d'approche quantitative de l'interprétation des thèmes cartographiques de la végétation et de son écologie en Sologne.
CNRS - CEPE, Doc. n° 44, Montpellier.

RIGHI (D.) - 1960 - Aspects morphologiques et physico-chimiques de la podzolisation en forêt de Rambouillet.
Thèse Fac. Sci. Paris.

SCHEYS (G.), DUDAL (R.) et BAEYENS (L.) - 1954 - Une interprétation de la morphologie de podzols humo-ferriques.
5° Congr. Int. Sci. Sol, 4, pp. 274-281, Léopoldville.

SCHNITZER et SKINNER - 1964 - Organo-metallic interactions in soils. 3. Properties of iron and aluminium organic matter complexes prepared in the laboratory and extracted from a soil.
Soil Sci., vol. 98, n° 3.

SEDDOH (F.K.), PEDRO (G.), ROBERT (M.) et DEJOU (J.) - 1969 - Sur l'évolution des biotites et la formation d'intergrades à 14 A (Vermiculite-Chlorite) dans les arènes gramitiques de Tazilly.
C.R.Acad.Sci., Paris, t. 268, pp. 1901-1904.

SEGALEN (P.) - 1964 - Le fer dans les sols.
ORSTOM, Init. Doc. Techn.

SEGALEN (P.) - 1968 - Problèmes posés par la détermination du fer libre dans les sols à sesquioxydes.
ORSTOM, doc. multigr., 24 p.

SOIL SURVEY STAFF - 1960 - Soil Classification and comprehensive system. 7 th Approximation.
Soil Survey Staff USA Dep. Agric.

VANDAMME (J.) et DE LEENHEER - 1968 - On the formation and relationship between different morphological B- bands under different genetic conditions in the sandy soils of the Campine (Northern Belgium).
Pedologie, XVIII, 3, Bull. Soc. Belg. Pedol.

VATAN (A.) - 1937 - Sur la présence de sables éoliens sur la bordure sud-est de la Sologne.
C.R.Somm.Soc.Géol.Fr., 179 p.

WURMAN (E.), WHITESIDE (E.P.) et MORTLAND (M.M.) - 1959 - Properties and Genesis of finer textured subsoil bands in some sandy Michigan soils.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 23, pp. 135-143.

ZONN (S.V.) - 1966 - Development of brown earths, Pseudopodzols and Podzols.
Pochvovedenie, n° 7, pp. 751-758

Table des Matières

Introduction 1

Première Partie

ASPECT GENERAL

Chapitre Premier

METHODES ET TECHNIQUES

1. TERRAIN 7

1.1. Choix de l'implantation des profils étudiés 7
1.2. Méthodes de profilage 8

2. LABORATOIRE 9

2.1. Analyses pédologiques courantes 9
2.2. Analyses spéciales 10
2.3. Minéralogie des Argiles 12
2.4. Micromorphologie 12

Chapitre II

FACTEURS D'EVOLUTION
ET DE REPARTITION DES SOLS

1. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE.

1.1. Généralités 15
1.2. Géologie régionale 15
1.3. Origine des matériaux quaternaires du Bassin du Cosson ... 19
1.4. Les matériaux du Cosson 23
1.5. Conclusions 24

2. LE CLIMAT.

2.1. Généralités 25
2.2. Températures 25
2.3. Précipitations 26
2.4. Climat et sol 28
2.5. Conclusions 30
2.6. Les paléoclimats 31

3. LA VEGETATION.

3.1. Considérations générales 32
3.2. La végétation, le sol et l'Homme 33

4. L'HOMME 36

5. LE TEMPS 39

Deuxième Partie

PRESENTATION DES PROFILS ETUDIES

Chapitre Premier

TOPOSEQUENCE DE REFERENCE BOIS DU ROI - BRIOU-DU-LUDE

1. PROFIL HP-8 : LE BRIOU-DU-LUDE 43

1.1. Description du profil 44
1.2. Micromorphologie 47
1.3. Sédimentologie 49
1.4. Analyses chimiques 51
1.5. Minéralogie des Argiles 53
Interprétation et Conclusions 54

2. PROFIL HP-17 : LE BOIS DU ROI 56

2.1. Description du profil 56
2.2. Sédimentologie 58
2.3. Analyses chimiques 60
2.4. Minéralogie des argiles 61
Interprétation et Conclusions 62

3. PROFIL HP-18 : LE BOIS DU ROI 63

3.1. Description du profil 64
3.2. Sédimentologie 66
3.3. Analyses chimiques 68
3.4. Minéralogie des argiles 69
Interprétation et Conclusions 70

4. PROFIL HP-19 : LE BOIS DU ROI 71

4.1. Description du profil 72
4.2. Sédimentologie 73
4.3. Analyses chimiques 75
4.4. Minéralogie des Argiles 76
Interprétation et Conclusions 77

5. PROFIL HP-20 : LE BOIS DU ROI 77

5.1. Description du profil 78
5.2. Sédimentologie 79
5.3. Analyses chimiques 79
Interprétation et Conclusions 80

Chapitre II

LES PROFILS DES MOYENNES TERRASSES

1. PROFIL HP-1 : LA SCIERIE 84

1.1. Description du profil 85
1.2. Micromorphologie 86
1.3. Sédimentologie 90
1.4. Analyses chimiques 93
1.5. Minéralogie des Argiles 95
Interprétation et Conclusions 95

2. PROFIL HP-6 : LE BY 97

2.1. Description du profil 98
2.2. Micromorphologie 100
2.3. Sédimentologie 102
2.4. Analyses chimiques 104
2.5. Minéralogie des argiles 106
Interprétation et Conclusions 107

3. PROFIL HP-7 : LE VINAUGER 110

3.1. Description du profil 111
3.2. Micromorphologie 113
3.3. Sédimentologie 115
3.4. Analyses chimiques 117
3.5. Minéralogie des argiles 119
Interprétation et Conclusions 119

4. PROFIL HP-2 : COURTAILLES (HAUTE TERRASSE) 121

4.1. Description du profil 122
4.2. Sédimentologie 124
4.3. Analyses chimiques 126
4.4. Minéralogie des Argiles 127
Interprétation et Conclusions 128

5. PROFIL HP-9 : LA CHEVRIE 130

5.1. Description du profil 130
5.2. Micromorphologie 132
5.3. Sédimentologie 134
5.4. Analyses chimiques 136
5.5. Minéralogie des Argiles 138
Interprétation et Conclusions 138

Chapitre III

AUTRES PROFILS ETUDIES

1. PROFIL HP-10 : LA GRANGE 142

1.1. Description du profil 143
1.2. Micromorphologie 144
1.3. Sédimentologie 146
1.4. Analyses chimiques 148
1.5. Minéralogie des Argiles 150
Interprétation et Conclusions 150

2. PROFIL HP-11 : LE PITRE 152

2.1. Description du profil 152
2.2. Micromorphologie 154
2.3. Sédimentologie 155
2.4. Analyses chimiques 157
2.5. Minéralogie des Argiles 159
Interprétation et Conclusions 159

3. PROFIL HP-3 : COURTAILLES (BASSE TERRASSE) 160

3.1. Description du profil 160
3.2. Sédimentologie 162
3.3. Analyses chimiques 164
3.4. Minéralogie des Argiles 166
Interprétation et Conclusions 166

4. PROFIL HP-4 : BELLE FONTAINE 166

4.1. Description du profil 167
4.2. Sédimentologie 169
4.3. Analyses chimiques 171
4.4. Minéralogie des Argiles 172
Interprétation et Conclusions 173

Troisième Partie

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

1. LES PRINCIPAUX PHENOMENES PEDOLOGIQUES EN ACTION 177

1.1. Lessivage des sols sableux 179
1.2. La dégradation des horizons Bt 181
1.3. Podzolisation 183

2. ASPECT SEDIMENTOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE DES MATERIAUX DES SOLS .. 189

3. ASPECT CHRONOLOGIQUE ET DE PEDOGENESE 190

Quatrième Partie

ANNEXE

1. ANALYSE MORPHOSCOPIQUE DES SABLES 195

1.1. Procédure 195
1.2. Définitions des catégories 195

2. ANALYSE MICROMORPHOLOGIQUE 197

2.1. Description des lames minces 197
2.2. Glossaire des termes micromorphologiques employés 199

Bibliographie 203