

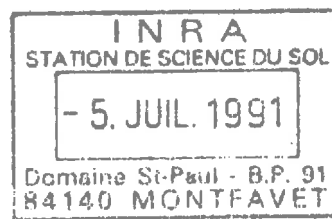
~~IA 18~~

FC12

à saisir

THESE
présentée à
L'UNIVERSITE DE NANCY I
pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE NANCY I
en Science du Sol
par

Mohamed Abdullah AL SIDDIK



CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE
DE L'HUMIFICATION DES SOLS HYDROMORPHES
DU RIED ELLO-RHENAN
(Région d'Illhaeusern, Haut-Rhin)

Soutenue publiquement le 2 juillet 1986 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury

- MM. A. HERBILLON, Professeur à l'Université de Nancy I, Président
- G. MONNIER, Directeur de Recherche à l'I.N.R.A.
- B. SOUCHIER, Professeur à l'Université de Grenoble
- R. CARBIENER, Professeur à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg
- B. GUILLET, Directeur de Recherche au C.N.R.S.
- A. MARIOTTI, Maître de Conférence à l'Université P. et M. Curie, Paris
- H. METTAUER, Directeur de Recherche à l'I.N.R.A.

AVANT-PROPOS

Que tous ceux qui m'ont aidé et soutenu dans ce travail soient chaleureusement remerciés.

Ma première pensée est pour M. B. SOUCHIER, Professeur à l'Université de Grenoble, ancien Directeur du Centre de Pédologie Biologique du C.N.R.S. de Nancy, qui m'a accueilli dans son laboratoire et m'a fait profiter de son expérience sur le terrain et m'a orienté dans la réalisation de ce travail.

Ma très grande reconnaissance va également à M. le Professeur A. HERBILLON nouveau Directeur du Centre de Pédologie Biologique, qui a bien voulu s'intéresser à ce travail, et pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le Jury.

J'ai trouvé, à l'I.N.R.A. de Colmar, un accueil chaleureux et des conseils judicieux auprès de M. H. METTAUER, Directeur de Recherche à l'I.N.R.A., et de M. Ch. SCHENCK, Ingénieur. Je leur en suis reconnaissant.

M. G. MONNIER, Directeur de Recherche à l'I.N.R.A. d'Avignon, et M. A. MARIOTTI, Maître de Conférence à l'Université P. et M. Curie de Paris, m'ont fait l'honneur de juger ce travail, l'un apportant sa compétence en Application agronomique, l'autre en isotopes stables ; je les en remercie très sincèrement.

Je remercie M. R. CARBIENER, Professeur à l'Université Louis Pasteur, à Strasbourg, qui m'a fait partager ses connaissances des Rieûs d'Alsace.

J'adresse toute ma gratitude à M. B. GUILLET, Directeur de recherche au C.N.R.S., qui m'a donné les facilités de poursuivre mes recherches malgré de multiples difficultés. Il m'a fait partager ses compétences en matière de datation par le ^{14}C ; sa vue très large des problèmes de la dynamique et de l'histoire de la matière organique par des datations m'ont été d'un secours sans prix. Me consacrant un temps précieux, il a porté à mon texte une grande attention, m'a prodigué de nombreuses suggestions et conseils constructifs. C'est grâce à lui que ce travail a vu le jour. Je le remercie aussi pour ses rares qualités humaines, son amitié, qui m'ont été du plus grand secours dans moments difficiles.

Les discussions que j'ai pu avoir avec M. J. BALESSENT ont été très utiles ; je tiens donc à l'en remercier.

Mes remerciements vont aussi à MM. F. ANDREUX et F. TOUTAIN, Directeurs de recherche au C.N.R.S., pour les nombreuses discussions que j'ai eues avec eux, et pour le soutien qu'ils m'ont accordé au cours de mes recherches.

Mes remerciements vont également à Mme B. GERARD et MM. J. ROUILLER et J.M. PORTAL pour leur aide à la réalisation de ce travail. M. M. BLOIN a pris une part active à la réalisation du dispositif expérimental (bac d'incubation) ; je l'en remercie.

J'ai pu trouver à l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie, une aide amicale et efficace auprès de M. R. JAEGY. Je l'en remercie.

La qualité de la présentation de ce mémoire est due aux soins de M. MERCIER qui en a assuré les dessins dans un délai extrêmement court. Je dois le remercier pour le soir qu'il y a apporté.

La reproduction de ce travail a été assuré par Mme M.J. PAPIS ; qu'elle en soit ici remerciée.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : LE MILIEU NATUREL	5
I.- LE CADRE GEOGRAPHIQUE	5
I.1.- Situation de la plaine d'Alsace	5
I.2.- Les Rieds d'Alsace	7
I.3.- Limite du secteur d'étude	9
II.- GEOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES	9
II.1.- Caractères généraux	9
II.2.- Chronostratigraphie relative des formations alluviales	11
1. Formations d'âge Pléistocène	11
2. Formations holocènes	11
III.- DONNEES CLIMATOLOGIQUES	12
IV.- DONNEES HYDROGRAPHIQUES	14
IV.1.- Régime hydrique de l'Ill	14
IV.2. Champs d'inondation de l'Ill	16
IV.3. La nappe phréatique	16
V.- LA VEGETATION	18
DEUXIEME PARTIE : LES SOLS D'ILLHAEUSERN ET LEUR HISTOIRE	21
I.- PRINCIPAUX CARACTERES DES SOLS DU RIED D'ILLHAEUSERN	21
I.1.- La matière organique	21
I.2. Analyse granulométrique et texture	22
I.3. Calcaire total	25

II.- REPRESENTATION BIDIMENSIONNELLE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE	25
II.1.- Synthèse cartographique (Party, 1984)	25
1. Les sols minéraux à gley	25
2. Les sols à profils complexes et à gley peu profond	27
3. Les unités 18A et 21A	27
II.2.- Etude de transects	28
1. Objectif de l'étude	28
2. Méthode d'étude	28
3. Définition et inventaire des horizons pédologiques	28
II.3.- Agencement des horizons dans les transects	30
1. Agencement dans le transect A-B	30
2. Agencement selon le transect C-D	32
3. Conclusion	36
III.- DATATION DES TOURBES PAR LE ¹⁴ C	37
III.1- Prélèvement, préparation des échantillons et méthodes	37
III.2- Résultats de datation par le ¹⁴ C	37
1. Mise en place des tourbes	37
2. Fin de l'épisode de développement des tourbes	39
3. Passage de la tourbe à l'anmoor	40
CONCLUSION	42
TROISIEME PARTIE : DYNAMIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE. COMPARAISON ENTRE SOL DE PRAIRIE ET SOL CULTIVE	45
I.- INTRODUCTION	45
II.- DESCRIPTION ET PROPRIETES DES SOLS	47
II.1.- Profil d'Illhaeusern 7	47
1. Principaux horizons	47
2. Composition minéralogique des argiles	47
3. Propriétés physiques des horizons de surface	48
4. Caractères de la couche de tourbe	50
II.2.- Profil d'Illhaeusern 2	50
1. Principaux horizons	50
2. Composition minéralogique des argiles	50
3. Propriétés physiques des horizons de surface	50
4. Caractères de la couche de tourbe	52

III.- METHODES	52
III.1.- Préparation des échantillons	52
III.2.- Protocole d'extraction des matières organiques	52
III.3.- Technique de l'hydrolyse acide	54
III.4.- Méthodes d'analyses	55
IV.- RESULTATS ET DISCUSSION	57
IV.1.- Activités des matières organiques globales du sol	57
1. Comparaison des activités des horizons A ₁ et A _p	57
2. Différence d'activité entre les horizons G _r et A ₁ ou A _p . Hypothèse du mélange de deux pools de stabilité différente	58
IV.2.- Fractionnement des matières organiques des hydromull	60
1. Bilan du fractionnement du carbone organique	60
2. Bilan du fractionnement de l'azote organique	62
IV.3.- Activités ¹⁴ C des fractions	64
IV.4.- Effet du retournement de la prairie : Evolution des compartiments organiques	65
IV.5. Hydrolyse des humines	68
CONCLUSIONS	70
QUATRIEME PARTIE : EXPERIENCE D'INCUBATION DES SOLS ENRICHIS OU NON EN COMPOSTS PETROLIERS	73
I.- INTRODUCTION	75
II.- PREPARATION DES ECHANTILLONS	76
II.1.- Dates des prélèvements et conditionnement	76
II.2.- Elaboration du mélange sol-compost pétrolier	76
II.3.- Caractéristiques des sols et des mélanges	77
III.- METHODES	78
III.1.- Dispositif d'incubation	78
III.2.- Analyses et expression des résultats	79

IV.- RESULTATS	80
IV.1.- Evaluation, par voie chimique, des taux de minéralisation	80
IV.2.- Confrontation de l'activité ^{14}C naturelle	84
IV.3.- Apport du $\delta^{13}\text{C}$	85
V.- DISCUSSION	86
V.1.- Conversion $\Delta^{14}\text{C}$ - Age moyen	86
V.2.- Dynamique de l'humification	88
VI.- CONCLUSION	91
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION

Les sols situés dans les Rieds d'Alsace sont des sols hydromorphes humifères à texture souvent argileuse, lourde, reposant sur des tourbes qui témoignent de conditions pédoclimatiques révolues différentes des conditions actuelles. Depuis quelques siècles, l'homme a transformé ces régions palustres en terres plus hospitalières.

Dans le Ried ello-rhénan, entre Colmar et Sélestat, les systèmes d'exploitation agricoles connaissent, depuis quelques années, une profonde évolution. C'est ainsi qu'aux prairies permanentes se substituent partiellement des cultures annuelles de céréales (blé, orge, maïs).

La mise en valeur agricole des terrains, dont la caractéristique la plus instantanée et la plus spectaculaire est la disparition de la couverture prairiale, a pour conséquence majeure et immédiate de rompre les équilibres naturels préexistants. Le passage d'un système prairial à un système cultivé se traduit par une accélération des cycles biologiques du carbone et de l'azote, et par voie de conséquence, par la décroissance du stock organique des sols (BOIFFIN et FLEURY, 1974 ; DELPHIN, 1979).

Notre recherche tend à préciser l'évolution de la matière organique des sols de prairie récemment labourés et retournés. Pour cela, mais aussi pour caler l'histoire de ces sols, nous utiliserons le ^{14}C naturel comme moyen de datation et d'évaluation des vitesses de transformation.

Cette étude prend donc une place parmi les nombreux travaux entrepris au cours de ces dernières années en matière d'utilisation du ^{14}C pour reconstituer l'histoire et la dynamique de la matière organique (PAUL et al., 1964 ; NAKHLA et DELIBRIAS, 1967 ; GUILLET, 1972 ; SCHARPENSEEL, 1974 ; BALESSENT, 1982).

Récemment, dans des situations où l'on pratique des monocultures continues de maïs, et grâce à un cycle de photosynthèse différent entre le maïs et les espèces graminéennes tempérées, on a prouvé que l'utilisation des isotopes stables du carbone pouvait être d'un grand secours si l'on veut étudier les vitesses de renouvellement et le temps de turnover des matières organiques des sols cultivés (BALESSENT et al., 1986).

Notre recherche est centrée sur deux points :

- L'aspect historique sera abordé par la mise en oeuvre de techniques de représentation spatiale des horizons pédologiques et par leur datation.

- L'aspect cinétique de l'humification sera abordé en couplant le fractionnement des matières organiques de sol de prairie et de sol cultivé aux datations des fractions. On aboutira à la notion de compartiments. On tentera, par des techniques inédites de marquages isotopiques naturels, d'évaluer les caractéristiques de l'un d'entre eux : le compartiment des substances biodégradables, que l'on assimilera au gaz carbonique produit par la minéralisation in vitro des matières organiques du sol.

PREMIERE PARTIE

LE MILIEU NATUREL

LE MILIEU NATUREL

I.- LE CADRE GEOGRAPHIQUE

I.1. Situation de la Plaine d'Alsace



Figure 1.- Position de l'Alsace dans la France.

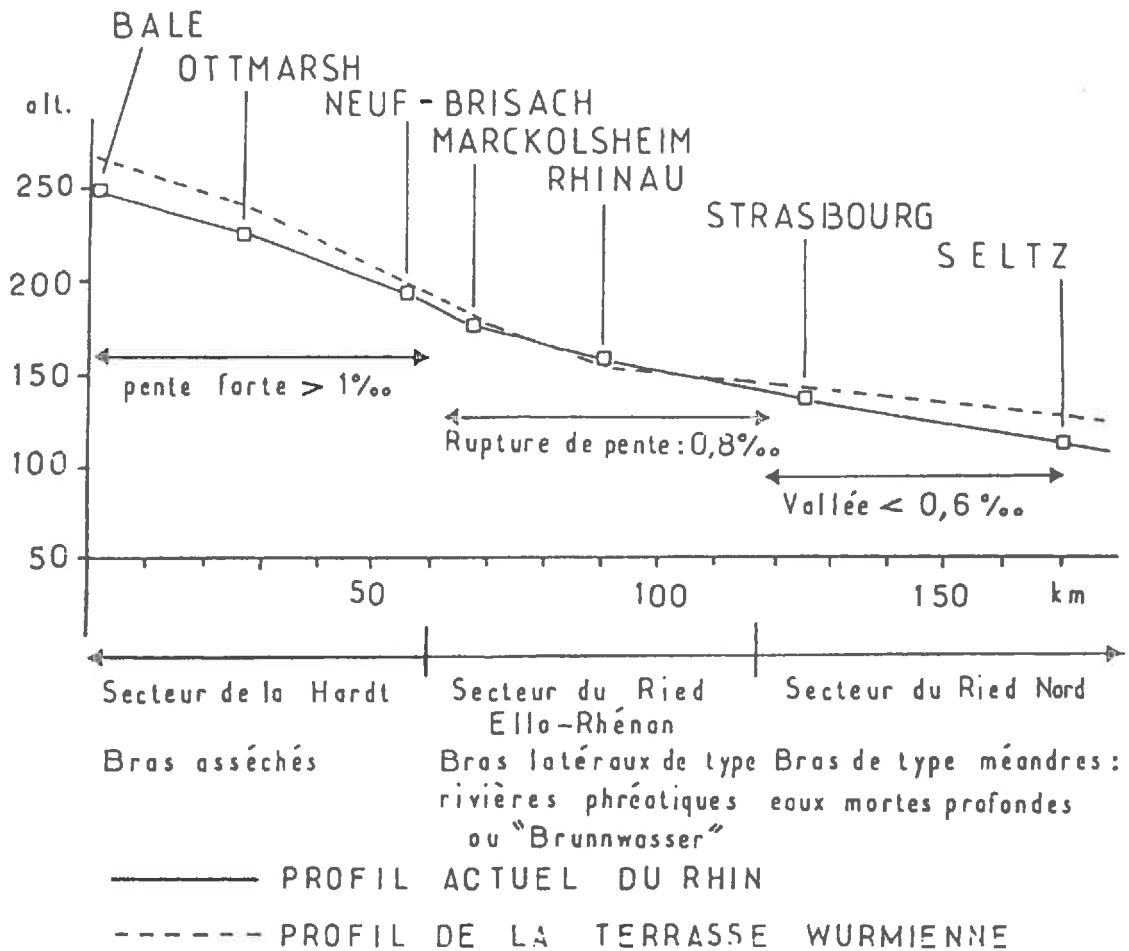


Figure 2.- Profils longitudinaux du Rhin et de la terrasse würmienne (d'après CARBIENER, 1969). On notera qu'entre Markolsheim et Rhinau, le profil du Rhin est situé au-dessus de celui de la terrasse würmienne. Cela est dû au caractère subsident de la région Centre-Alsace dans la dépression de l'Ill entre Sélestat et Colmar.

Située au Nord-Est de la France (Figure 1), l'Alsace fait partie d'une unité géographiquement connue sous le nom du Fossé Rhénan. Cette unité, qui se développe de Bâle, au Sud, à Mayence, au Nord, sur une distance de 300 km, correspond à la plaine alluviale du Rhin. Quant à la plaine alsacienne, elle se situe entre les villes de Saint-Louis, au Sud, et de Lauterbourg, au Nord, distantes de 160 km. La différence d'altitude entre ces deux villes est de 115 m (225 et 110 m respectivement) de sorte que la pente moyenne est de 0,7 ‰.

La Plaine d'Alsace est bordée à l'Ouest par les collines sous-vosgiennes, généralement réservées au vignoble, dont l'altitude varie de 300 à 500 m. A l'Est, elle est limitée par le Rhin, dont le profil ne s'avère pas uniforme. CARBIENER (1969) et HIRTH (1971) distinguent trois secteurs du profil en long du Rhin. La figure 2 désigne clairement ces trois secteurs. Nous signalerons simplement que la région que nous étudierons, c'est-à-dire le Ried d'Illaeusern, se situe 8 km à l'Ouest de Marckolsheim.

1.2. Les "Rieds" d'Alsace

On rencontre dans la Plaine d'Alsace des zones caractérisées par des dépôts d'alluvions récentes, par la présence d'une nappe phréatique située à faible profondeur, et par des sols hydromorphes. Ces zones sont inondables, car les sols gorgés d'eau en permanence réagissent immédiatement aux excès pluviométriques.

Ces zones sont appelées "Rieds", dénomination assez vague, et pourtant répandue (THEOBALD, 1948 ; DUPUIS, 1953 ; DUBOIS et FRANC DE FERRIERE, 1955 ; DELPONT et al., 1955 ; PLAISANCE ET CAILLEUX, 1958 ; CARBIENER, 1969-1983 ; HIRTH, 1981), qui s'applique à des terrains marécageux de montagne ou de plaine. Ce terme de "ried" proviendrait d'un vieux terme populaire du Moyen-Age allemand "Heriot" (DUPUIS, 1953), qui veut dire roseau. Au XII^{ème} siècle, on signale déjà l'utilisation du vocable "ried" dans le langage populaire et il désigne toujours des endroits marécageux.

Un Ried est donc un type de paysage de roseaux, accompagnés de leur cortège habituel, notamment d'espèces de la famille des Cypéracées, comprenant surtout des laïches (*Carex*) (OCHSENBEIN, 1969).

Les principaux rieds alsaciens sont localisés au Nord de Strasbourg, entre Reichstett et Rhorwiller (Ried de Hoerd), aux environs d'Andlau (Ried d'Andlau) et à l'Est d'une ligne allant de Sélestat à Colmar (Ried Centre-Alsace au Ried Ello-Rhénan)

Le Ried Centre-Alsace est une région naturelle, d'une vingtaine de milliers d'hectares, située pour un tiers dans le Haut-Rhin, et pour deux tiers dans le Bas-Rhin. Il est centré sur l'Ill et ses ruisseaux affluents.

L'homme songe, depuis longtemps, à conquérir les Rieds en asséchant les sols. Des projets se sont succédés depuis le XVII^{ème} Siècle jusqu'au XIX^{ème} Siècle, notamment à l'époque allemande, mais tout échouait en raison des réticences des habitants (MARESQUELLE, 1969).



Figure 3.- Limites de la zone étudiée (Echelle : 1/200 000°).

Récemment, grâce aux travaux de canalisation du Rhin, et secondairement de l'Ill, qui ont limité les débordements, le paysage s'est trouvé modifié, même dans les Rieds. Ainsi, depuis une quarantaine d'années, les marécages ont été reconvertis en prairies. Bien plus, les progrès du machinisme agricole ont permis la mise en culture des sols lourds, jusqu'alors consacrés aux prairies.

Ce sont les conséquences de cet aménagement des secteurs cultivés que nous tenterons d'analyser en étudiant l'évolution de la matière organique des sols initialement sous prairies. Le secteur géographique que nous avons choisi à cet effet se situe dans le Ried Ello-Rhénan, sur la commune d'Illhaeusern.

I.3. Limite du secteur d'étude

La figure 3 précise la position du secteur d'étude par rapport à Colmar et Sélestat. Il s'agit du Ried d'Illhaeusern, qui correspond à une partie basse de la Plaine de l'Ill, d'altitude moyenne de 176 m, et qui se trouve de 2 à 4 m au-dessous du niveau des bras endigués du Rhin. Le village d'Illhaeusern occupe à peu près le centre de cette dépression, entièrement mise en valeur et dont ne subsiste aucun marécage primitif.

II.- GEOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES

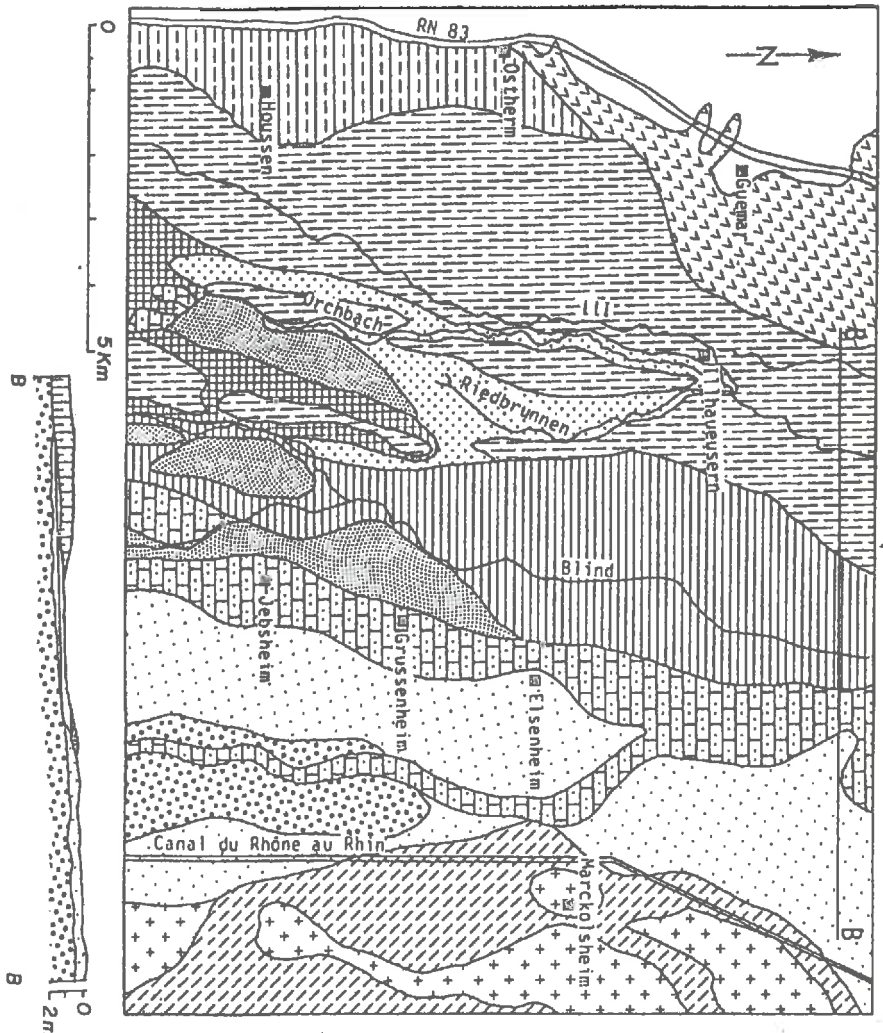
II.1. Caractères généraux

La structure et l'histoire des formations superficielles du fossé rhénan en Alsace sont assez bien connues avec les travaux de DELBOS et OECHLIN-SCHLUMBERGER (1867), THEOBALD (1947, 1948), MAROCKE (1962, 1963, 1964), HIRTH (1972) et DUPART et al. (1979).

Les principales formations superficielles de la Plaine d'Alsace sont les lehm, limons argileux décarbonatés, situés principalement dans le Sundgau, les loess carbonatés et les masses alluviales.

Les alluvions se distinguent par leur nature et leur chronologie relative. On différencie d'une part les alluvions pliocènes, décrites par THEOBALD (1949) sur la partie sud de l'Alsace, qui sont les plus anciennes, et d'autre part les alluvions quaternaires, qui occupent la majeure partie de la Plaine d'Alsace.

Les alluvions d'Alsace ont été généralement considérées comme des dépôts fluvio-glaciaires (BRIQUET, 1923), très épais, présentant une granulométrie extrêmement variable. Pour s'en tenir aux alluvions à texture grossière et moyenne, deux origines différentes les caractérisent. Les unes, situées dans la partie occidentale de la Plaine d'Alsace, sont acides, composées de matériaux de roches polycristallines, et correspondent aux épandages des cônes de déjection des rivières vosgiennes. Ces matériaux acides rencontrent les cailloutis et gravillons de la nappe alluviale rhénane, d'origine alpine, et comportant des éléments calcaires. Ces cailloutis forment la basse terrasse



Quaternaire	
Holocène	
Fz	Cailloutis ("terrasse" dite holocène)
Fz4I'	Limons de 1'III, remaniés à l'époque subactuelle et actuelle.
Fz4I	Alluvions sablo-limoneuses actuelles et subactuelles ("Ried brun" de 1'III)
Fz4R	Alluvions subactuelles : sables et graviers ("Ried rhénan")
Fz3-4I	Limons post-romains et actuels de 1'III.
Fz3R	Limons et sables historiques.
Fz2R	Graviers et limons, Préboréal à Atlantique ("Ried noir" du Rhin)
Fz1R	Cailloutis rhénans remaniés à partir du début de 1'Holocène.
FzR / Fy	Alluvions rhénanes postglaciaires à historiques : dépôt discontinu de chenal sur alluvions würmiennes.
Pléistocène indifférencié	
Cailloutis d'origine alpine	
FyR	Formation intacte ("Basse terrasse du Rhin, Hardt rouge").
FyR'	Formation entamée au cours de 1'Holocène. ("Hardt grise")
Fy	Cailloutis des cônes de déjection de la Fecht, de la Weiss, du Strangbach et de la Dreisam.

Figure 4.- Extrait de la carte géologique de Colmar-Artoisheim.

du Rhin et se sont déposés pendant les divagations du fleuve. Un tri granulométrique a pu s'effectuer. Les gros éléments se sont déposés dans le cours vif, tandis que des particules de plus en plus fines se trouvent dans les anciens bras morts à courant plus lent (MILLOT et al., 1963).

En ce qui concerne la région située au Nord de Colmar, la carte géologique au 1/50 000 de Colmar-Artolsheim (Figure 4) précise que des formations alluviales de texture moyenne à fine recouvrent les formations plus grossières. Des sables et limons calcaires surmontent le cailloutis rhénan et sont disposés entre la rive gauche du Rhin et la plaine alluviale de l'Ill. Cette dernière est caractérisée par des dépôts fins non calcaires, qui surmontent soit le cailloutis rhénan calcaire, soit les alluvions vosgiennes.

II.2. Chronostratigraphie relative des formations alluviales

La coupe de la figure 4, empruntée à la carte géologique, montre la disposition relative des divers types d'alluvions. Les indications d'âge de ces formations et la nomenclature qui s'y rapporte sont extraites de la notice de la carte géologique.

1.- Formations d'âge pléistocène

Il s'agit, en fait, des matériaux mis en place au cours du dernier épisode glaciaire et parfois remaniés au cours du Post-glaciaire. On distingue les formations suivantes :

- Les cailloutis de cônes de déjections des torrents vosgiens (Jx-Y).

Ils sont constitués de matériaux grossiers acides faisant place graduellement, vers leur sommet, à des matériaux enrichis en éléments fins.

- Les cailloutis d'origine alpine de la basse terrasse du Rhin (FyR)

Ils sont constitués, à près de 50 %, par des cailloux calcaires déposés en une nappe fluvio-glaciaire continue depuis Bâle. Des niveaux à galets alternent avec des lentilles graveleuses. Ces cailloutis constituent l'immense réservoir de la nappe phréatique d'Alsace. Souvent, au niveau du battement de la nappe, ils sont consolidés par des encroûtements calcaires. Un paléosol rubéfié a été décrit au sommet de la formation par MAROCKE (1962, 1963-1964) et VOGT et MAROCKE (1973). Par extension, on appelle "Hardt rouge", les secteurs de la terrasse où l'on trouve ces formations, dont la terre fine est décalcifiée et rubéfiée (METTAUER, 1969). Au cours de l'Holocène, la partie superficielle de la terrasse a été remaniée par les crues du Rhin, qui y ont creusé un réseau de chenaux anastomosés, de plus en plus dense de Marckolsheim jusqu'à Rhinau. Des matériaux sablo-graveleux - sablo-limoneux alternent avec le cailloutis remanié. Cette formation (FYR') a reçu le nom de "Hardt grise".

2.- Formations holocènes

A côté des alluvions de l'Ill, la carte géologique mentionne des formations sablo-limoneuses et limoneuses calcaires (FZ2R et FZR) déposées dans des chenaux ou des cuvettes de décantation à des époques variées de l'Holocène.

Lorsque ces formations calcaires, de texture fine, sont affleurantes, on est indécis sur la date précise de leur dépôt, qui a pu survenir à n'importe quel moment de l'Holocène, à la faveur de crues du Rhin. Ces formations de chenaux (FZR) sont essentiellement post-glaciaires.

En certains endroits, les alluvions de l'Ill, en recouvrant ces formations calcaires, permettent la datation. On estime que la sédimentation dans les cuvettes de décantation (formation FZ2R) a cessé à la fin de l'Atlantique (5 000 ans B.P.). Les alluvions de l'Ill (FZ3-4I) ont une texture fine. A partir d'Houssen (au Nord de Colmar), elles se sont déposées dans une dépression dont la surface actuelle se trouve 2 à 4 m en dessous du niveau du Rhin. Le village d'Illhaeusern occupe le centre de cette région, aux sols noirs, organiques et lourds. Ces alluvions ont une texture argilo-limoneuse et sont exemptes de carbonate de calcium. Ces dépôts sont relativement récents et, comme nous le verrons, ils fossilisent des formations tourbeuses que nous daterons. L'enfouissement de sites romains (Camp d'Argentovaria à Horbourg) sous les alluvions fines témoignent de la subsidence d'une région soumise alors à la sédimentation des champs d'inondation. A l'Holocène, à la faveur de crues du Rhin, ces formations de chenaux (FZR) sont essentiellement post-glaciaires.

III.- DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Depuis quelques temps (DUCHAFOUR et JACQUIN, 1959 ; KONONOVA, 1961 ; NGUYEN KHA et al., 1969 ; NGUYEN KHA et DOMMERGUES, 1970 ; DUCHAFOUR, 1984) on connaît l'importance des conditions climatiques sur l'évolution de la matière organique des sols.

Les données climatiques que nous présentons sont celles collectées par l'I.N.R.A. de Colmar. Ces données ont l'avantage d'être recueillies non loin du secteur d'étude fixé au Sud d'Illhaeusern. Elles concernent la période de 1972-1984 pour les températures, et de 1973-1985 pour la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle (ETP).

La température : les valeurs moyennes mensuelles et annuelles sont portées sur le Tableau I. La moyenne annuelle est proche de 10°, janvier étant le mois le plus froid et juillet le mois le plus chaud.

Tableau I.- Données climatiques mensuelles et annuelles (compilation de Ch. SCHENCK, I.N.R.A. Colmar).

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne ou Total
T°C	1.4	2.7	6.4	8.9	13.0	16.8	19.0	18.4	15.1	9.8	5.1	2.0	9.9
P (mm)	35.9	31.5	33.8	35.8	70.4	66.3	64.6	65.9	41.3	40.8	47.0	47.1	580.4
ETP (mm)	11.5	18.5	46.9	74.7	100.3	119.8	125.2	104.4	67.0	29.9	13.7	9.7	726.6
P-ETP (mm)	+ 24.4	+ 13.0	- 13.1	- 38.9	- 29.9	- 53.5	- 60.6	- 38.5	- 25.7	+ 10.9	+ 33.3	+ 37.4	- 141.2

La pluviométrie : d'une façon générale, l'Alsace est protégée des vents d'Ouest par le Massif vosgien. Il en résulte une pluviométrie plus faible qu'en Lorraine (800 mm à Nancy, 1 200 mm à Saint-Dié dans les Vosges). A Colmar, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 580 mm. La pluviométrie maximum a lieu pendant le mois de mai, et secondairement en juin, juillet et août. On notera donc que les pluies sont plutôt concentrées pendant la période végétative, ce qui est favorable à l'agriculture. Si l'on établit le rapport du total pluviométrique de mai à octobre sur la pluviométrie des autres mois de l'année, on obtient un indice supérieur à 1 (1,20) qui marque l'influence d'une continentalité pluviale.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) et bilan hydrique : L'évapotranspiration potentielle correspond à la demande en eau exercée par les facteurs climatiques sur les végétaux. L'ETP exerce donc une grande influence sur la croissance des végétaux et sur le rendement des cultures. L'ETP a été calculée à l'I.N.R.A. de Colmar, selon la formule de PENMAN.(HUFTY, 1976).

Les données mensuelles de pluies et d'ETP (Tableau I et Figure 5) font apparaître un excédent des pluies en hiver et un déficit hydrique au printemps et en été. Le bilan hydrique climatique annuel est toutefois déficitaire (- 141 mm). Le climat général de la région de Colmar apparaît comme étant de type continental à tendance semi-aride, caractérisé par un déficit hydrique important.

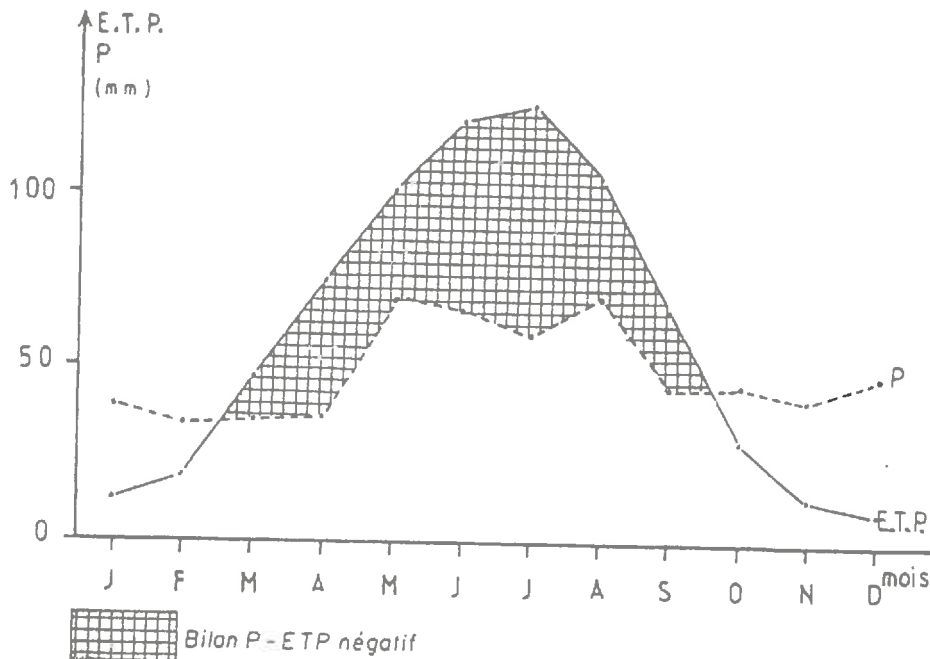


Figure 5.- Bilan P-EPT établi à partir de données (année 1973-1984) recueillies à Colmar. Courbes dressées par Ch. SCHENCK.

Sur le terrain, les effets du déficit hydrique n'apparaissent pas évidents. Cela est dû à la forte réserve en eau des sols, généralement profonds et à texture limoneuse, et souvent à la proximité de la nappe phréatique. Signalons toutefois que certains sols caillouteux comme ceux de la Hardt souffrent effectivement du déficit hydrique.

IV.- DONNEES HYDROGRAPHIQUES

VI.1. Régime hydrique de l'Ill

La région ello-rhénane est dotée d'un réseau hydrographique très dense (Figure 6), représenté par les rivières qui proviennent surtout des Vosges, du Jura alsacien pour l'Ill et des Alpes pour le Rhin.

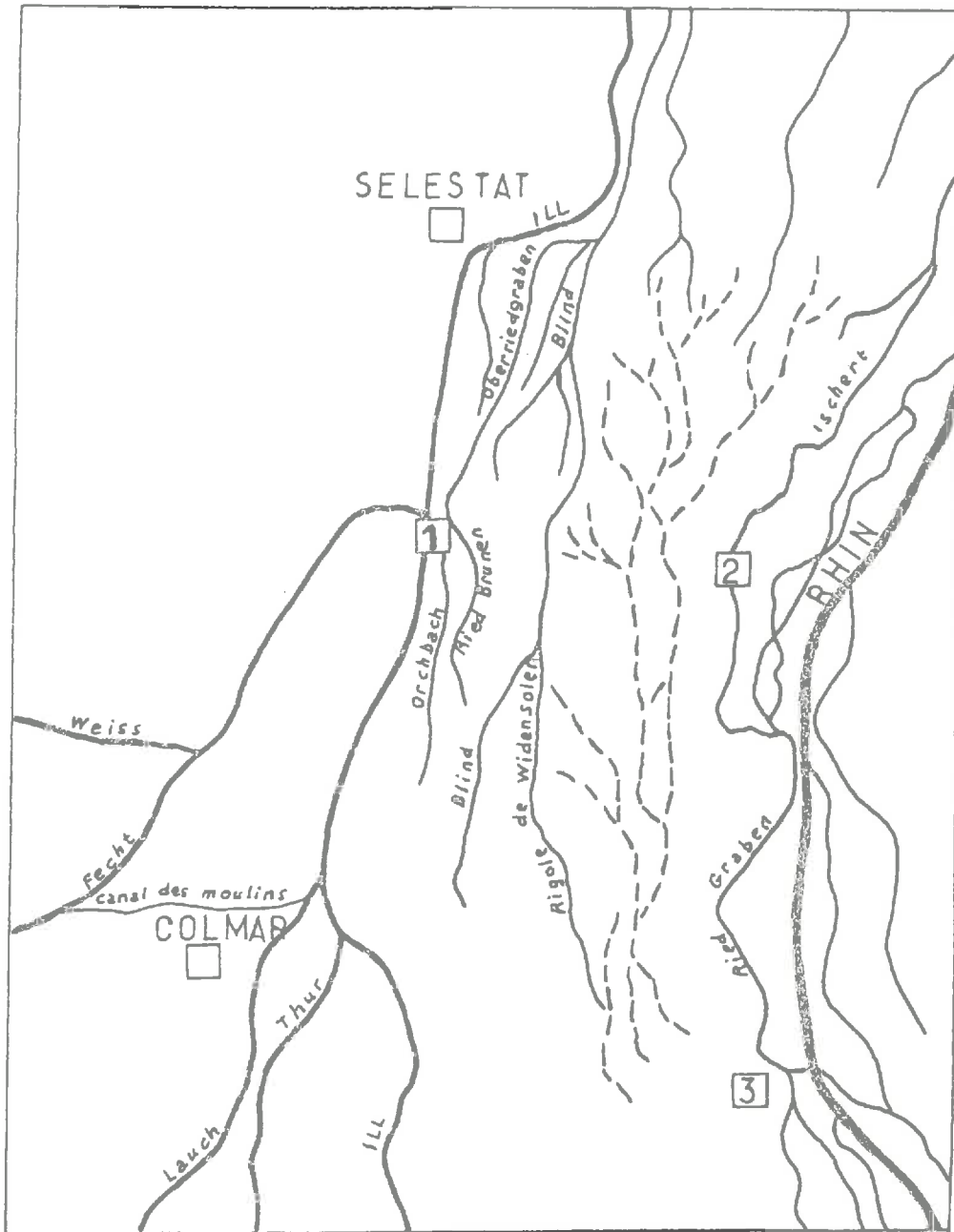
L'Ill, principal affluent du Rhin sur sa rive gauche, prend sa source au Galserberg, dans les collines jurassiennes, près de la frontière suisse, traverse les collines du Sundgau pour entrer dans la Plaine d'Alsace à Mulhouse. Elle coule parallèlement au Rhin d'Illfurth à Strasbourg sur 180 km ; elle reçoit, sur sa rive gauche, les rivières vosgiennes (Thur, Lauch, Fecht, Giessen) depuis le Sundgau.

Les rivières vosgiennes présentent une période de hautes eaux en hiver ou fin d'automne, en partie dues aux perturbations d'Ouest amenant des pluies importantes sur le Massif vosgien. Les chutes de neige sont fréquentes, mais peu durables. En outre, un effet de foehn est généralement noté sur le versant Est des Vosges, facilitant la fonte des neiges en hiver.

Ces conditions entraînent à cette saison des inondations importantes dans les Rieds, et qui peuvent se produire à plusieurs reprises dans le cours de l'hiver. La période de basses eaux a lieu en fin d'été (Hautes-Vosges) et au début de l'automne (collines sous-vosgiennes).

A l'inverse, le Rhin a une période de hautes eaux en été (fonte des neiges dans les Alpes) et basses eaux en hiver.

L'influence du régime hydrique de l'Ill et de ses affluents n'est vraiment importante qu'à partir du confluent de la Thur et de la Lauch avec l'Ill, entre Andolsheim et Colmar. Les débits moyens annuels sont alors de 9 à 10 m³/s, les maxima de 150 m³/s, les minima de 0,3 m³/s (HIRTH, 1971). Ces valeurs illustrent l'importance des apports vosgiens, les maxima passant de 40 m³/s avant la confluence à 150 m³/s après. Le Tableau II donne les valeurs du débit moyen de l'Ill et certains de ses affluents. On notera que le débit de l'Ill croît du Sud vers le Nord, en fonction des apports dûs aux affluents vosgiens.



— Difffluences résurgentes de l'ILL et du RHIN

--- Anciens chenaux rhénans

① ILLHAEUSERN

② MARCKOLSHEIM

③ NEUF-BRISACH

Echelle = 1/200 000

Figure 6.- Le réseau hydrographique du Ried ello-rhénois, caractérisé par les "rivières phréatiques" (d'après HIRTH, 1971).

Tableau II.- Les débits de certaines rivières dans la région ello-rhénane (d'après "Atlas des Ressources Naturelles et Aménagement de la Région Alsace")

Nom de la station	Rivière	Période d'observation	Module interannuel m ³ /s	Débit décennal mensuel d'étiage m ³ /s
Grussenheim	Blind	72-74	0.74	-
Ostheim	Fecht	72-74	3.81	-
Colmar-Ladhof	Ill	59-74	19.5	0.260
Horbourg	Ill	57-76	10.3	0.116
Buhl	Lauch	65-76	1.83	0.2
Ensisheim	Ill	57-76	7.8	0.06
Ensisheim	Thur	57-76	4.99	0.090

Le débit moyen du Rhin est de l'ordre de 1 100 m³/s au niveau de Strasbourg, avec un débit moyen mensuel d'étiage de 800 m³/s et un débit moyen mensuel de hautes eaux de 1 530 m³/s (d'après "Atlas des Ressources Naturelles et Aménagement de la Région Alsace").

IV.2. Champs d'inondation de l'Ill

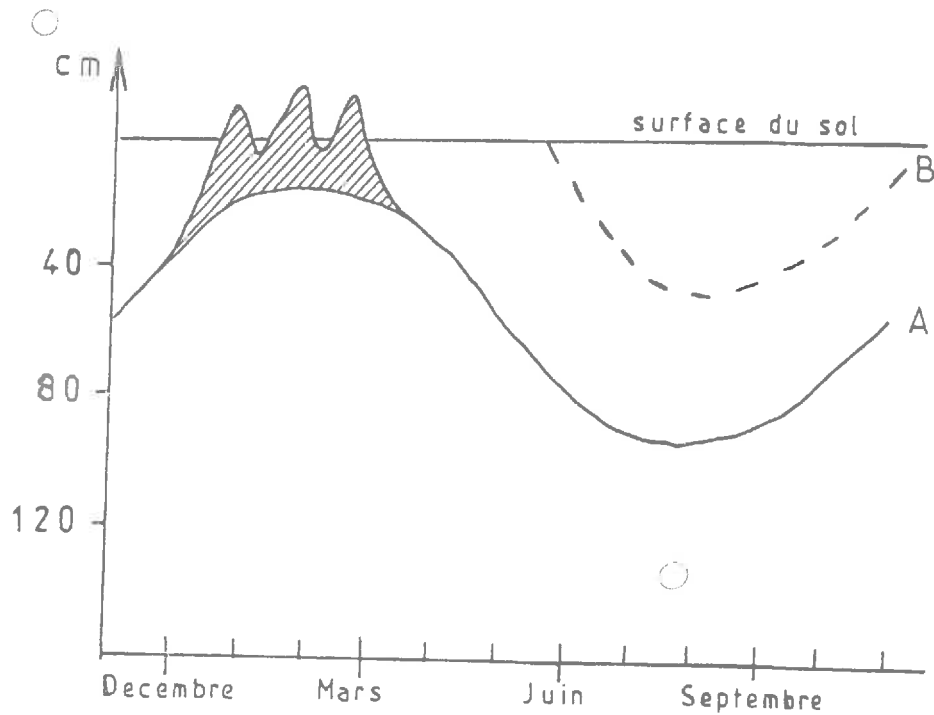
Le mécanisme des inondations occasionnées par l'Ill et ses affluents au Nord de Colmar a été particulièrement bien étudié par HIRTH (1971) Immédiatement au Nord de Colmar, l'Ill est endiguée et les débordements sont limités. Après le village de Houssen, les courants de l'Ill déplacent la crue sur sa rive gauche. Les champs d'inondation sont encore limités.

Par contre, au Sud d'Illhaeusern, les champs d'inondations occupent une largeur de plusieurs kilomètres. Selon HIRTH (1971), cela est dû au fait que la nappe phréatique alimentée par la Fecht, elle-même en crue, et qui arrive sur la droite de l'Ill, voit son toit s'élever rapidement. Les inondations dues au relèvement de la nappe, plutôt qu'au débordement de l'Ill, envoient de larges étendues sous une lame d'eau de l'ordre de quelques décimètres.

IV.3. La nappe phréatique

L'aquifère alsacien constitue un immense réservoir, qui s'étale entre les Vosges, le Sundgau et le Rhin. Cette nappe coule dans le complexe alluvionnaire déposé dans le fossé rhénan. Elle s'écoule en général vers le Nord, parallèlement au Rhin et d'Ouest en Est, sur la partie occidentale de la plaine. Son alimentation est due au sous-écoulement des rivières vosgiennes, de l'Ill et du Rhin.

Dans le secteur qui nous intéresse (Illhaeusern), le niveau du toit de la nappe se rapproche de la surface du sol, passant de plus de 10 m de profondeur sur la terrasse würmienne à moins de 2 m, voire quelques décimètres, dans les Rieds. Là, la nappe est captée sous une couche d'alluvions argileuses ou argilo-limoneuses.



A = niveau de la nappe - B niveau de la frange capillaire
 Hachuré : phase d'inondation par remontée du toit de la nappe.

Figure 7.- Représentation schématique du régime d'oscillations de la nappe phréatique dans le Ried gris (d'après CARBIENER, 1969).

Il s'agit d'argiles de débordement de l'Ill, déposées jusqu'à notre époque, et dont nous verrons qu'elles correspondent aux horizons de gley. La présence d'un réseau très dense de petits ruisseaux montre que l'eau se trouve constamment à très faible profondeur de la surface du sol. Le fonctionnement dynamique de cette nappe est réglé par les apports pluviométriques et par le niveau des rivières ; la persistance du toit de la nappe à proximité de la surface est l'un des facteurs les plus importants de l'évolution des sols hydromorphes humifères noirs d'une région que l'on qualifie de Ried noir, et où les chenaux tourbeux sont fréquemment subaffleurants.

La Figure 7, empruntée à CARBIENER (1969) montre schématiquement l'oscillation saisonnière du toit de la nappe, et illustre le mécanisme d'inondation par remontée brusque du toit.

Ailleurs, dans les secteurs situés surtout à l'Est de l'Ill, les inondations à la confluence des rivières vosgiennes se font par débordement périodique des rivières. L'apport d'alluvions contribue au développement de sols limono-argileux de teinte claire, caractérisant une région qui fut appelée Ried gris, et qui s'oppose au Ried noir par la couleur des sols. Quant au Ried brun, défini par CARBIENER (1969), il s'agit de levées limoneuses du Rhin, pas ou peu inondables, aux sols bien drainés.

V.- LA VEGETATION

Le mot "Ried" désigne un milieu marqué par un paysage végétal bien précis, tout comme "champ cultivé", "prairie" ou "forêt" sont des mots qui visent d'autres paysages.

Pour les phytosociologues (SCHNITZLER-LENOBLE et CARBIENER, 1982 ; CARBIENER, 1983), le Ried n'est pas uniquement un paysage ouvert. Il existe des îlots de forêts qui se répartissent l'espace avec des ensembles prairiaux et des terres cultivées qui proviennent de lieux autrefois marécageux.

Les forêts du champ d'inondation actuel ou sub-actuel de l'Ill et ses annexes constituent un complexe phytosociologique très caractéristique de ce milieu naturel et connu sous le nom de "Forêt d'Ill". Elles se décomposent en deux unités sociologiques majeures (d'après SCHNITZLER-LENOBLE et CARBIENER, 1982 ; CARBIENER, 1983).

La première de ces unités concerne l'Aulnaie à Frêne et sous-bois de Merisier à grappes (Prunus pandus). Elle occupe les niveaux topographiques bas, fréquemment inondés. La strate herbacée est discriminée, entre autres, par Carex strigosa, une laiche forestière subatlantique à très larges feuilles, et Impatiens noli tangere.

La deuxième unité concerne la Chênaie-Charmaie alluviale. Elle occupe les terrasses et niveaux topographiques inondés seulement épisodiquement, ou sur de courtes périodes, mais à nappe phréatique toujours peu profonde et accessible aux racines des arbres.

La composition floristique des prairies reflète les conditions hydriques du milieu. L'origine de la flore est très complexe, et l'on admet que les espèces végétales peuplant les prairies du Ried proviennent du Nord de l'Europe, des régions atlantiques et méditerranéennes, et surtout de l'Europe orientale par la voie danubienne (DUPUIS, 1953).

D'après ISSLER (1932), c'est surtout le facteur hydrique, plutôt que la richesse du sol en éléments nutritifs, qui régit la distribution des espèces prairiales. Ces prairies de l'Ill, incluses dans le "Ried gris" de CARBIENER (1969), sont constituées de diverses sous-associations et variantes en fonction de leur niveau topographique, leur distance par rapport aux talwegs et la teneur du sol en argile.

On a distingué (OBERDORFER, 1967 ; CARBIENER, 1969) les prairies à fromental, fraîches à modérément sèches (association floristique de l'Arrhenatheretum) de celles, plus humides, où pousse un chardon à peine épineux (Cirsium oleraceum de l'association de l'Angelico-Cirsietum). Exploitées comme prairies de fauche, ces ensembles prairiaux peuvent assurer de hauts rendements, jusqu'à 7 t MS/ha avec les prairies à Arrhenatheretalia.

Toutefois, les prairies de l'Ill sont aujourd'hui en recul. Les cultures céréalières progressent et occupent une surface de plus en plus importante. Les agriculteurs tendent à privilégier la culture du maïs, avec le blé et l'orge.

DEUXIEME PARTIE

LES SOLS D'ILLHAEUSERN ET LEUR HISTOIRE

LES SOLS D'ILLHAEUSERN ET LEUR HISTOIRE

Les sols du Ried d'Illhaeusern sont des sols jeunes, formés aux dépens des alluvions apportées le long des chenaux par le lit mouvant de l'ancien Rhin et de l'Ill. Ces sols d'apport présentent presque tous des profils complexes, caractérisés par des alternances de couches minérales de puissance variable et d'horizons tourbeux enterrés.

La présence de tourbe est le témoignage des processus d'hydromorphie qui résultent de l'existence de la nappe phréatique, dont le toit oscille à très faible profondeur (de 80 à 30 cm sous la surface).

D'une façon générale, les sols sont riches en matières organiques. Le caractère tourbeux, encore présent en surface dans certaines stations, tend à se résorber dans les stations où le drainage et les pratiques agricoles ont entraîné l'abaissement de la nappe. Plusieurs causes peuvent expliquer la sensible régression du matériau tourbeux. Nous citerons d'abord l'homogénéisation avec les matériaux minéraux occasionnée par les labours, et ensuite, la stimulation de la minéralisation des matières organiques tourbeuses provoquée à la fois par les pratiques culturales et l'abaissement de la nappe.

I.- PRINCIPAUX CARACTERES DES SOLS DU RIED D'ILLHAEUSERN

Les caractéristiques analytiques principales des sols du Ried d'Illhaeusern peuvent être extrapolées à partir des données recueillies par la Station d'Agronomie de l'I.N.R.A. de Colmar sur l'ensemble du Ried ello-rhénan. En compilant les données de 20 profils analysés et 90 échantillons de surface, nous avons choisi de représenter et de discuter trois caractères qui sont les teneurs en matière organique, les spectres granulométriques et la présence et la teneur en calcaire.

I.1. La matière organique

Des dosages de matière organique ont été faits sur 90 échantillons prélevés dans les horizons A_1 et A_p des sols du Ried ello-rhénan. La figure 8 établit l'histogramme des teneurs en matières organiques. Si l'on ne porte qu'une faible attention aux fréquences relatives des classes de 9-11 % et 11-13 %, il nous faut convenir que la distribution s'apparente à une distribution unimodale à large dispersion des valeurs.

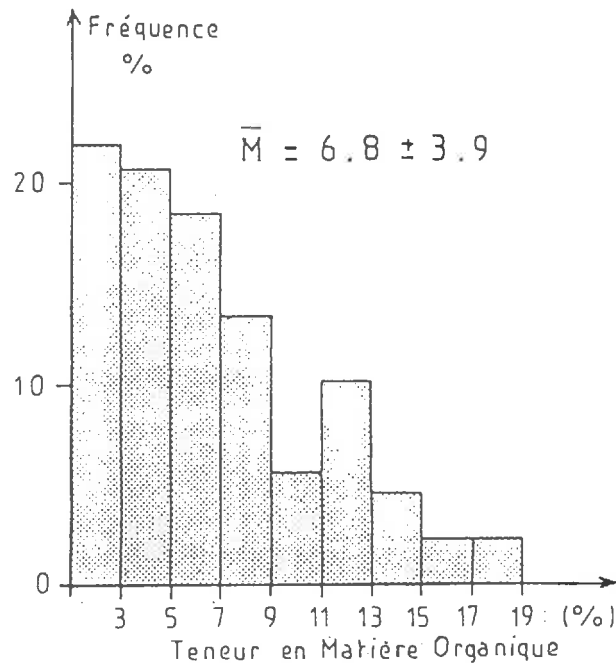


Figure 8.- Fréquence de la répartition du taux de matière organique dans les horizons de surface.

La valeur moyenne s'établit à 6,8 % de matière organique, et s'accompagne d'un écart-type élevé (3,87), qui témoigne de la dispersion des valeurs. Cette dispersion apparaît très logique, puisque l'échantillonnage comporte des sols parfois tourbeux du Ried Noir (valeurs supérieures à 15 % de matière organique) et des sols des Rieds Brun et Gris, moyennement humifères en surface (moins de 5 % de matière organique). On notera à cet égard que 43 % des échantillons ont une teneur inférieure à 5 % de matière organique).

En ce qui concerne le rapport C/N, nous notons qu'il est toujours faible en surface, quel que soit le type de sol. Il est généralement compris entre 9,5 et 10,5 et varie donc peu. Ce rapport devient plus élevé en profondeur, notamment dans les horizons tourbeux, où il prend des valeurs comprises entre 13 et 24, en fonction du degré de division et d'humification des fibres.

I.2. Analyse granulométrique et texture

Les histogrammes de fréquence des taux en argiles, limons et sables des horizons prélevés à profondeur croissante donne une bonne illustration du changement textural survenant entre la base des profils et les horizons de surface (Figure 9).

Les taux d'argiles varient fortement en profondeur, de 50 % à moins de 10 %. La moyenne s'établit autour de 22,3 % et l'écart-type élevé ($\pm 15,8$ %) témoigne bien de la grande dispersion des teneurs en argile. Mais dans l'ensemble, les matériaux de la base des profils ont une texture qui les classe dans la catégorie des limons sablo-argileux (JAMAGNE, 1967).

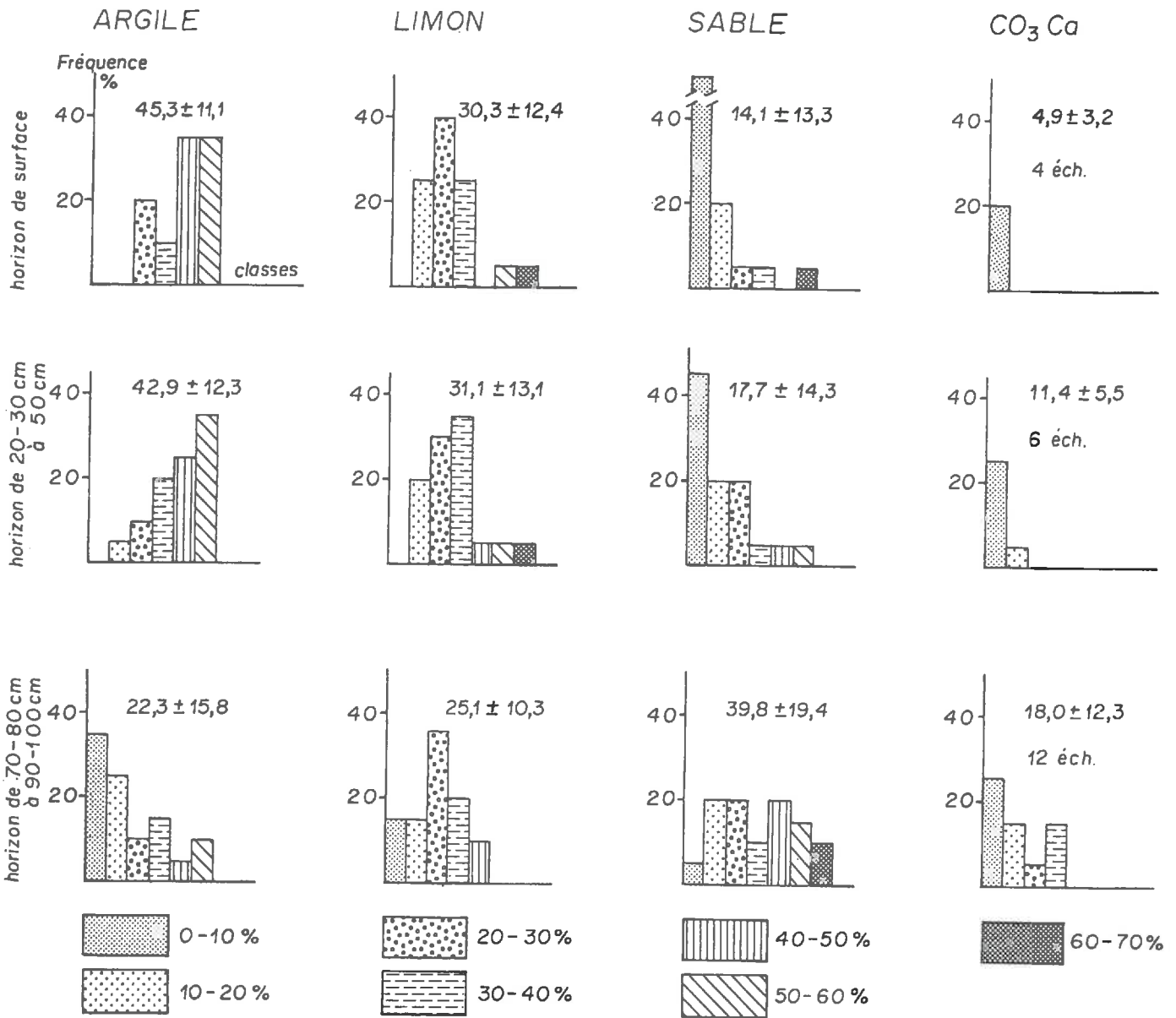


Figure 9.- Histogrammes de fréquence des classes granulométriques et du CO_3Ca (sur 20 profils de sol).

En surface, la texture moyenne des échantillons correspond franchement au domaine de l'argile lourde. La teneur moyenne en argile de $45,3 \pm 11,1 \%$ reflète bien le fait que 14 échantillons sur 20 (fréquence de 70 %) ont des teneurs en argile supérieures à 40 %.

Dans l'ensemble, les horizons médians prélevés dans une tranche de sol allant jusqu'à 50 cm de profondeur ont des caractères texturaux qui les apparentent plus aux horizons de surface qu'à ceux de profondeur. La texture moyenne place les matériaux de ces horizons dans la catégorie de l'argile lourde. Les teneurs moyennes de chacune des fractions granulométriques sont plus proches de celles de l'horizon de surface que de celles des matériaux profonds. Toutefois, les écarts-types qui accompagnent ces valeurs moyennes sont légèrement supérieurs dans ces horizons qu'en surface. Ce fait traduit une dispersion légèrement plus grande des valeurs analytiques dans ces horizons médians

Le fait que, sur 50 cm, les profils présentent une texture argileuse, signifie que la sédimentation des matériaux s'est effectuée sous une nappe d'eau de faible énergie et turbulence. Ce n'est qu'en profondeur, au-delà de 70-80 cm, que statistiquement l'on retrouve des matériaux enrichis en sables. Ces matériaux témoignent de mises en place sous régimes fluviaux plus dynamiques. Cette observation implique une phase de transition entre deux régimes hydrodynamiques, de compétence opposée : cette transition se situerait spatialement et statistiquement entre 50 cm et 70 à 80 cm.

La figure 10 donne une illustration des variations granulométriques qui s'effectuent au long des profils. On notera que ces variations peuvent être brutales (schémas B et D) ou progressives, et qu'elles peuvent se produire à des profondeurs variables (vers 100-120 cm) dans les profils A et B, vers 50 cm dans les profils C et D.

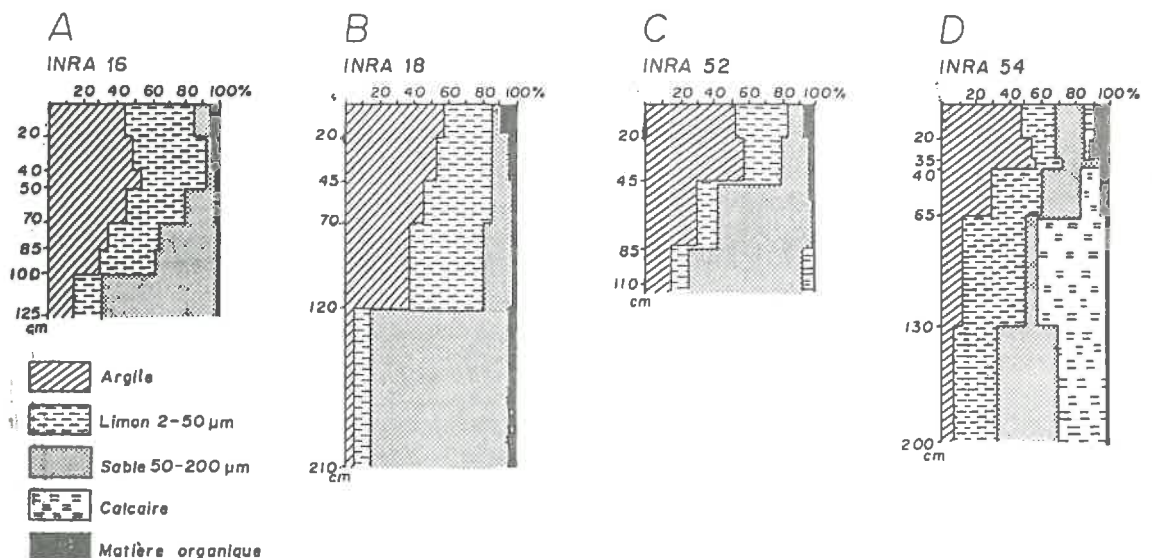


Figure 10.- Variations verticales des caractéristiques granulométriques, du calcaire et de la matière organique de quelques sols.

1.3. Calcaire total

Sur les 20 profils dont nous avons compilé les données, nous avons noté que 12 d'entre eux comportent du carbonate de calcium à leur base et seulement 4 possèdent encore du CaCO₃ dans l'horizon de surface (6 dans l'horizon médian). Cette observation témoigne bien de *l'influence prépondérante des matériaux rhénans en profondeur, et de ceux apportés par l'Ill en surface.*

II.- REPRESENTATION BIDIMENTIONNELLE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

Dans le secteur étudié près d'Illhausern, les sols hydromorphes sont formés d'une succession verticale d'horizons de nature et de composition variées. La distribution de ces horizons dans l'espace peut être appréhendée en étudiant leur agencement lors de l'observation de transects tracés parallèlement. Avant d'en donner la méthode d'étude et les résultats, il nous paraît souhaitable de préciser comment s'effectue la distribution des sols dans le paysage.

II.1. Synthèse cartographique (PARTY, 1984)

Le document présenté sur la figure 11a est extrait d'une recherche effectuée par PARTY en 1984 sur la cartographie des sols cultivés du Haut-Rhin. La carte produite a essentiellement une vocation agronomique.

En ce qui concerne la région d'Illhausern, trois grandes unités pédologiques ont été reconnues et ont été décrites sous plusieurs unités cartographiques.

1.- Les sols minéraux à gley

Ils occupent la partie occidentale de la carte, et sont situés entre le ruisseau Orchbach, l'Ill et les affluents de sa rive gauche (Brunnenwasser). On a distingué trois unités cartographiques :

* Des sols humiques à gley se sont formés sur des limons argileux profonds (> 100 cm) et décarbonatés (unité cartographique 29 A). Les manifestations de l'hydromorphie apparaissent dès 60 cm par des taches d'oxydoréduction. Le gley réduit est profond, à 100-110 cm. Le pH des horizons de surface est inférieur à 7, ce qui est conforme avec l'origine locale des matériaux apportés par l'Ill.

* Des sols à gley profond se sont développés sur des matériaux limono-argileux peu différents de ceux de l'unité précédente, et ils sont moins humifères (unité cartographique 34 A). Les taches d'oxydoréduction sont fréquentes entre 50-60 cm, et le gley réduit est atteint entre 90 et 110 cm.

* Des sols à gley très profond, développés sur des limons sableux, épais, décarbonatés, occupent les abords immédiats du lit majeur de l'Ill (unité cartographique 27).

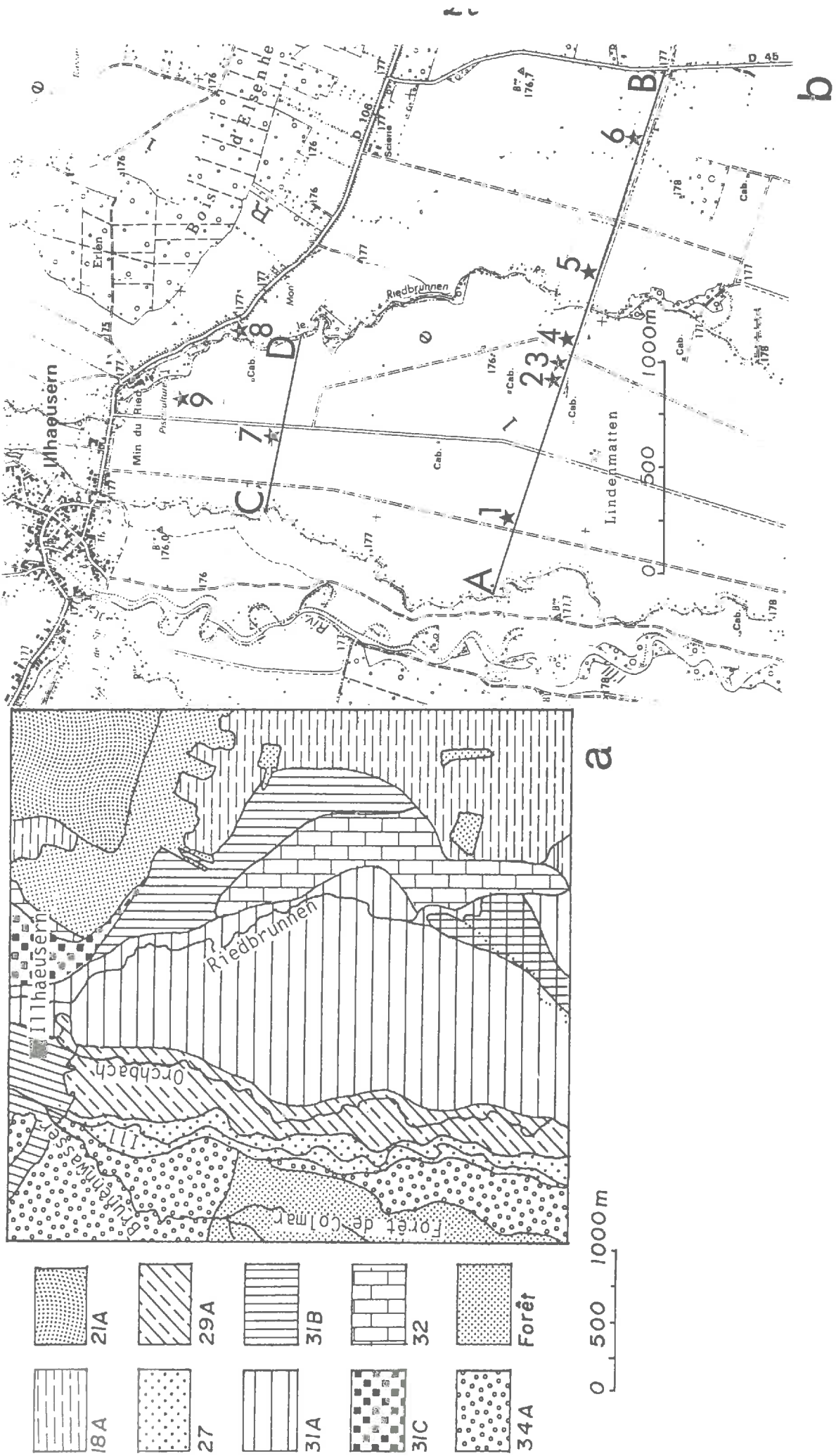


Figure 11.- a. Extrait de la carte des terres agricoles, d'après PARTY (1984)
 b. Situation des transects.

2.- Les sols à profils complexes et à gley peu profond

Ces sols occupent la partie centrale de la carte (Figure 11a). Ils se répartissent en trois unités cartographiques de part et d'autre du ruisseau Riedbrunnen. PARTY (1984) mentionne quatre unités cartographiques (31 A, 31 B, 31 C et 32), dont chacune n'est pas rigoureusement homogène et tolère une certaine représentation des autres unités.

* L'unité centrale (31 A), située entre le Riedbrunnen et l'Orchbach, est composée de limons argileux, épais de plus d'un mètre, et totalement décarbonatés. Le gley argileux et à caractère tourbeux apparaît dès 20 cm et se prolonge en profondeur par un gley plus minéral et moins tourbeux. Nous proposons de nommer les sols correspondant à cette définition "Sols humiques à gley et à caractère tourbeux en profondeur".

* L'unité cartographique 31 B ne diffère de la précédente que par l'existence, en profondeur, vers 60 cm, d'un cailloutis d'origine rhénane. Dans ce cas, PARTY (1984) signale que le pH des horizons de surface s'établit entre 7,8 et 8,0.

* L'unité cartographique 31 C, faiblement représentée sur la carte, correspond à des profils où se manifeste, de façon prononcée, l'existence d'une couche de tourbe enterrée sous les matériaux argilo-limoneux. Comme nous aurons l'occasion de la décrire plus loin, il s'agit de dépôt de chenaux ou de cuvette de décantation, à sédimentation organique et tourbeuse.

* L'unité 32 porte principalement sur des sols humiques à tourbe et gley peu profond. La tourbe fibreuse qui est observée entre 50 et 80 cm repose sur du matériau sableux d'origine vosgienne et non calcaire, ou encore d'origine rhénane, et donc carbonaté.

3.- Les unités 18 A et 21 A sont considérées par PARTY (1985) comme des unités de transition rhénane. Il s'agit de sols humiques carbonatés (unité 18 A) généralement peu épais, reposant sur le cailloutis rhénan. L'unité 21 A est essentiellement hétérogène, et comporte des sols humiques peu profonds (50-60 cm) à texture sablo-argileuse et des sols hydromorphes à gley peu profond, comparables à ceux décrits sous l'unité 31 A.

EN CONCLUSION, si les unités sont effectivement hétérogènes, il faut bien reconnaître qu'un ordre logique se manifeste distinctement selon la nature des matériaux. A l'extrémité Est du secteur étudié (figure 11a), les sols sont calcaires et bien drainés. Vers l'Ouest, en tendant vers l'Ill, les matériaux non calcaires, argilo-limoneux et la nappe qui y est associée, créent les conditions favorables à l'engorgement permanent à faible et moyenne profondeur. Les phénomènes d'hydromorphie ont favorisé directement la genèse des gleys, mais ont aussi permis le maintien d'un important stock humique.

Les sols du secteur cartographié par PARTY (1984) se subdivisent en deux groupes de sols de Ried. Les sols du Ried gris ne sont représentés que par l'unité 34 A, où dominent des sols minéraux à gley profond. Toutes les autres unités cartographiques sont à classer dans le Ried noir, mais il faut y apporter une nuance. Les sols à gley développés sur les matériaux argilo-limoneux de

l'Ill appartiennent au Ried noir sensu stricto. Les sols situés plus à l'Est, moins profonds, mieux drainés, mais apparemment tout aussi humifères, appartiennent au faciès Ried noir de transition rhénane.

II.2. Etude de transects

1.- Objectif de l'étude

Par cette étude, nous observerons un nombre assez limité d'horizons de sols, que nous décrirons le plus complètement possible. Comme la couverture pédologique est constituée de l'agencement vertical et horizontal d'horizons de nature et de volume différents, nous tenterons de saisir la cohérence de ce qui fait la succession, dans l'espace, des horizons observés (BOULET et al., 1982a et b ; AL SIDDIK, 1983).

La mise en place des dépôts alluviaux pose nécessairement la question du synchronisme des dépôts. Nous tenterons de mettre en évidence les relations chronologiques relatives qui pourraient exister entre deux horizons qui semblent résulter de variations latérales affectant l'un, par rapport à l'autre. A ce sujet, nous porterons une attention particulière aux horizons tourbeux et à leurs transitions latérales. Les datations ^{14}C nous aideront à établir la chronologie absolue.

Les observations ont porté sur un transect court et un transect long, qui sont matérialisés sur la figure 11b. Le transect principal, le plus long, a été tracé pour permettre les observations des variations se produisant entre les sols humiques à gley développés sur les matériaux argilo-limoneux de l'Ill et les sols humiques carbonatés posés sur les cailloutis rhénans.

2.- Méthode d'étude

Soixante sondages à la tarière ont été réalisés sur les 2 500 m du transect principal (Transect A-B) et 15 observations ont été faites sur le transect secondaire (Transect C-D) de la figure 11b.

L'épaisseur des horizons et leurs caractéristiques morphologiques ont été soigneusement notées. Les limites entre les horizons ont été établies, après que nous ayons effectué un relevé topographique précis de chaque transect.

3.- Définition et inventaire des horizons pédologiques

Afin de mieux fixer les idées et d'éviter les répétitions, il nous a semblé préférable de présenter les différents horizons pédologiques rencontrés au cours de l'étude. Cette présentation concerne principalement la description des niveaux pédologiques.

Le tableau III récapitulatif regroupe les principaux caractères des horizons, en précisant la profondeur d'apparition, l'épaisseur, la description précise et l'interprétation du fonctionnement du sol, que l'on peut prévoir à partir des traits pédologiques.

Tableau III.- Description des principaux horizons.

N Hor.	Profondeur d'apparition	Epaisseur	Description	Autres caractéristiques	Nomenclature	Transect correspondant
HORIZONS DE PROFONDEUR						
1	50 à 140 cm		Couleur : matrice gris pâle 7.5YR 7/1 à 10YR 7/2 Quelques taches brun-jaune clair 10YR 6/8 Texture sablo-limoneuse à limon léger ; horizon plus ou moins compact ; structure massive ; peu poreux ; cailloux d'origine vosgienne.	Localement, cet horizon peut être non caillouteux, et présente des couleurs bleutées : 5G 7/1 . Texture : limon argilo-sableux à limon sablo-argileux Quelquefois, présence de fragments végétaux (phragmites) dans la matrice.	Cg	A-B C-D
2	50 à 100 cm		Couleur : matrice gris pâle 7.5YR 7/1 Peu de calcaire au sommet, de plus en plus vers la profondeur. Texture : sable à sable limoneux	Présence de CaCO ₃ et cailloux d'origine rhénane	C _{Cag}	A-B C-D
HORIZONS INTERMÉDIAIRES						
3	30 à 90 cm	10 à 90cm ou plus	Base : tourbe brune très fibreuse, feutrée, de couleur brun-gris très foncé : 10YR 3/2 à brun foncé : 10YR 3/3 Sommet : Couleur noire 7.5YR 0/2 Débris végétaux de couleur brun foncé 7.4YR 4/4. Microporosité très importante Macroporosité moyenne	Abondance de débris végétaux non décomposés (phragmites) Chenaux verticaux comblés de matériaux de texture limono-argileuse réduits de couleur gris foncé : 10YR 4/1	Tourbe blonde Tourbe noir	A-B C-D A-B C-D
4	20 à 30 cm	20 à 40cm	Horizon gris-noir. Peu de racines. Texture sablo-limono-argileuse à limon léger	Parfois, présence de CaCO ₃ . Quelques fragments végétaux peu décomposés	Anmoor	A-B C-D
HORIZONS DE SUB-SURFACE						
5	20 à 30 cm	15 à 20cm	Horizon bariolé, de couleur noire : 7.5YR 5/0 (60-80 %) et de couleur brun-jaune : 10YR 5/6. A la base de cet horizon, les taches de couleur brun-jaune disparaissent. Très compact, plastique. Texture : argile lourde. Structure massive en hiver et polyédrique fine à surstructure prismatique grossière en saison sèche. Micro- et macroporosité faibles.	Parfois, présence de coquilles de gastéropodes	G _r	A-B C-D
6	20 à 30 cm	15 à 50cm	Couleur beige foncé 10YR 6/4, pouvant prendre une teinte plus brune (10YR 5/1 à 6/1). Texture : argile limoneuse. Structure polyédrique moyenne à fine. Porosité moyenne. Peu de calcaire au sommet de l'horizon ; de plus en plus vers la profondeur.	Peut être décarbonaté par endroits	G ₀ Ca ou G ₀	A-B
HORIZONS DE SURFACE						
7	0	20 à 30cm	Horizon organique. Couleur brun foncé (10YR 4/3). Texture : argile lourde. Structure grumeleuse moyenne. Très poreux, non calcaire. Hydromorphe dès 60 cm (taches d'oxydo-réduction).	Horizon perméable, qui peut être engorgé. En cas d'A _p , présence d'une semelle de labour diminuant la perméabilité verticale	A ₁ ou A _p Hydromull	A-B C-D
8	0	20 à 40cm	Horizon organique. Couleur brun gris très foncé (10YR 3/2) à brun très foncé (10YR 2/2). Texture variable de limons argileux à argile limoneuse, parfois limons moyens. Structure grumeleuse. Très poreux. Calcaire.	Peut être décarbonaté par endroits, et garder sa couleur très foncée.	A ₁ ou A _p Hydromull calcaire	A-B

Dans le tableau III, les horizons sont décrits depuis les horizons profonds jusqu'aux horizons de surface. Chaque horizon porte un numéro qui le code.

II.3. Agencement des horizons dans les transects

Les figures 12 et 14, établies suivant les deux axes transversaux d'orientation Ouest-Est, précisent la structure générale de la couverture pédologique, et permettent de saisir les différences morphologiques entre la partie Ouest et la partie Est.

1.- Agencement dans le transect A-B

Le transect A-B (Figure 12) a une longueur de 2 500 mètres et, curieusement, présente un dénivelé nul entre les points extrêmes orientaux et occidentaux. La zone analysée correspond donc à une vaste dépression, dont la surface peut présenter de légers reliefs. La dénivellation entre le point le plus bas de la surface du transect et le point le plus haut est de l'ordre de 80 cm.

Nous attirerons l'attention sur le fait que sur les figures 12 et 14, nous n'avons pas uniformisé l'échelle des hauteurs avec celle de la longueur. Ceci a été rendu nécessaire par le degré de finesse que nous voulions donner aux coupes, qui ne représentent qu'une épaisseur de sol de 1,20 à 1,30 m. La dilatation de l'échelle des hauteurs conduit à une distorsion de la surface topographique ; ainsi, des dépressions de très faible amplitude horizontale prennent l'aspect de "vallées sèches", qu'elles n'ont évidemment pas dans la réalité.

Localement, nous avons effectué des observations à maille rapprochée. Il en résulte des petits transects, qui permettront de suivre, de façon fine, les transitions latérales entre deux horizons.

En partant de la bordure Ouest de la coupe, l'observation des volumes pédologiques permet de donner une analyse structurale du terrain. Considérons la partie du transect qui s'étend entre l'Orchbach et les points situés à 1 100 m. Dans cette zone, l'horizon superficiel A_1 ou A_p est un hydromull aéré et biologiquement très actif. Cet horizon est caractérisé par une structure grumeleuse et une bonne incorporation de la matière organique, qui pénètre profondément dans le profil, aboutissant ainsi à un hydromull épais, notamment sur la partie la plus à l'Ouest. Il est vraisemblable que les conditions pédo-climatiques d'humidité et de température, sujettes à variations saisonnières, jouent un grand rôle dans l'humification des litières herbacées et assurent une maturation des humus, qui prennent une couleur brun noir (NGUYEN KHA, 1973 ; DUCHAUFOUR, 1977, 1984). La partie inférieure de l'hydromull est marquée par l'hydromorphie qui se manifeste par des taches d'oxydoréduction.

L'horizon sous-jacent est l'horizon G_r . Sa texture est argileuse et l'on peut atteindre jusqu'à 76 % d'argile. Sa teinte gris-noir exprime l'importance des phénomènes de réduction. Comme son épaisseur est variable (entre 15 et 50 cm), on peut penser que cet horizon a plus une origine sédimentaire alluviale qu'une origine pédologique. Il ne nous semble pas résulter d'une illuviation d'argile.

Cet horizon se distribue de part et d'autre d'un môle sablo-limoneux qui forme une levée dominant le soubassement détritique grossier, formé de sables, de limons et de cailloutis d'origine vosgienne.

Généralement, le gley argileux G_r repose sur une formation sablo-limoneuse, qui constitue l'horizon C_g et qui recouvre le cailloutis de roches cristallines.

La formation sablo-limoneuse C_g présente parfois des résidus de fibres végétales fossilisées et fait, dans ce cas, transition soit vers une tourbe enfouie, soit vers un anmoor. On peut observer sur la coupe une série de variations de faciès latéraux sur 500 m (de 200 à 700 m). En allant vers l'Est, le sable incorpore des fibres végétales résiduelles, puis une couche tourbeuse de chenal incise la formation sableuse. Plus à l'Est, la tourbe fait place à un anmoor à texture sablo-limono-argileuse, qui se prolonge sur une centaine de mètres par le dépôt sableux chargé de fibres végétales.

Au point d'abscisse 1 000 m, un chenal d'une centaine de mètres est comblé de tourbe, sur laquelle on retrouve le gley argileux G_r et l'hydromull.

Du point d'abscisse 1 100 m au ruisseau Riedbrunnen, l'hydromull repose sur le gley argileux réduit G_r , lui-même recouvrant un horizon limoneux organique de type anmoor, non calcaire. A 70 cm de profondeur, on rencontre, pour la première fois, du sable calcaire qui comporte des macrorestes fibreux fossiles.

A l'Est du Riedbrunnen, l'hydromull, brun foncé à l'Ouest, change nettement de couleur et devient noir à partir du point d'abscisse 1 800 m. Localement, il s'agit d'un hydromull calcaire (horizon n° 8), ailleurs d'un hydromull calcique. Selon CARBIENER (1967, 1969), cette couleur noire est liée à la présence d'humates calciques et magnésiques.

Immédiatement à l'Est du ruisseau Riedbrunnen, on retrouve le matériau argileux, calcaire à sa base, et qui présente, sur toute son épaisseur, des taches d'oxydoréduction. Il s'agit d'un gley oxygé G_o/G_oCa , qui se forme sans doute sous l'influence de la nappe du Riedbrunnen, qui apparaît sur une largeur de 50 m, comme une nappe circulante et oxygénée. Cet horizon argileux devient, vers l'Est, un gley réduit, posé sur une tourbe, et se prolonge jusqu'au point d'abscisse 1 500 m. Localement, c'est un gley peu profond et calcaire.

Le point d'abscisse 1 800 m marque une frontière. Le cailloutis calcaire rhénan apparaît à 50 cm, et constitue une barre qui a séparé, après l'épisode de tourbification, un système d'alluvionnement de particules très fines à l'Ouest, apportées par l'Ill, d'un autre système situé à l'Est, marqué par des apports plus grossiers limon-argilo-sableux d'origine rhénane.

A l'Est de cette barre de cailloutis (depuis le point d'abscisse 1 800 m) on note l'existence d'une formation limono-argilo-sableuse calcaire, constituant un gley oxydé (G_oCa), qui recouvre une formation tourbeuse de chenal qui, elle, n'est pas calcaire. Par contre, on retrouve à l'Est du transect, au-delà d'une barre de cailloutis rhénan (abscisse 2 300 m), une tourbe calcaire.

On notera que le toit du cailloutis calcaire et de la formation sableuse calcaire qui lui est superposée présente une surface ondulante, nettement plus marquée que dans la partie occidentale du transect, où le soubassement est formé de cailloutis vosgien. Il faut y voir un effet de la dynamique des bras du Rhin, qui, lors d'épisodes de crues, ont creusé des chenaux et cuvettes, dans lesquels la tourbe s'est développée.

Transition entre tourbe et anmoor

La reconnaissance a été faite à la carrière, selon la méthode BOULET (BOULET et al., 1982a), qui permet d'affiner l'observation des limites entre deux unités. Au départ, nous nous sommes donné une longueur de transect de 35 mètres.

Le transect de transition "a" (Figure 13a) se situe entre les points d'abscisse 1 020 et 1 055 m de la figure 12. Il montre une épaisseur de tourbe de l'ordre de 40 cm maximum au point d'abscisse 1 020 m. Vers l'Est, cette tourbe fait transition à un anmoor limoneux dès que s'amorce une légère surélévation du soubassement caillouteux, qui se reflète sur la surface topographique.

Le fait que l'anmoor chevauche en partie la tourbe implique une minéralisation et une transformation de la partie superficielle de la tourbe, sans doute à la fin de l'épisode de tourbification, avant que le paysage ne soit envahi par les dépôts argileux.

Transition entre les cailloutis rhénans et les cailloutis vosgiens

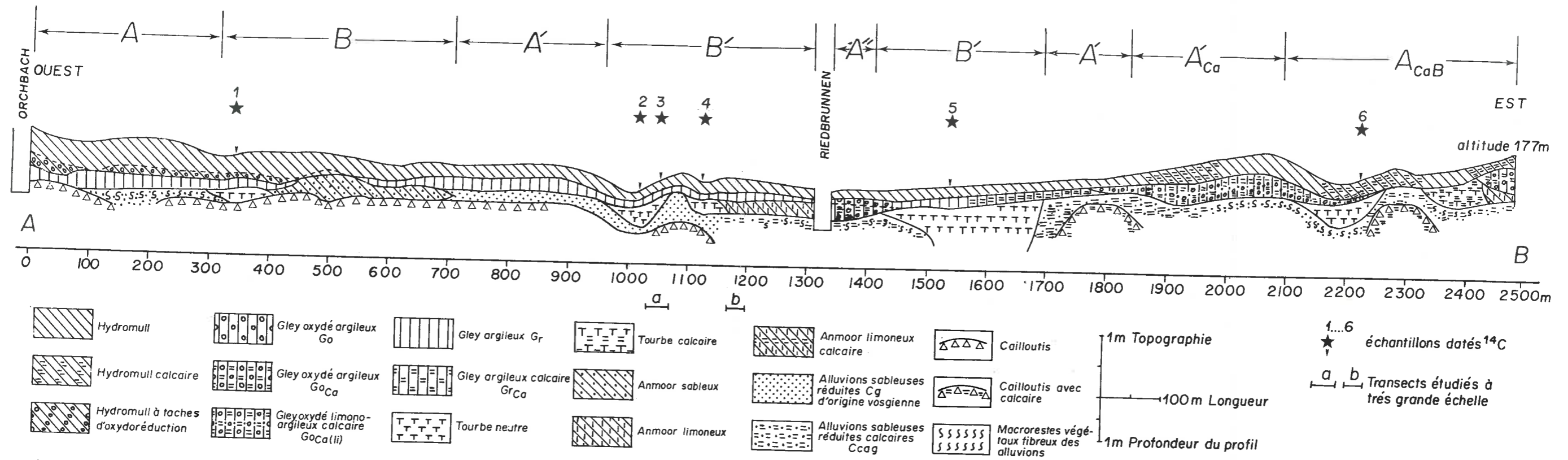
Sur le transect A-B, cette transition a été notée dans le secteur immédiatement à l'Ouest du Riedbrunnen. Elle a été affinée (Figure 13b) et montre que l'horizon sablo-limoneux C_g non calcaire se trouve être toujours recouvert par l'horizon CC_{ag} calcaire. Il faut en conclure que l'alluvionnement rhénan est ici transgressif sur les alluvions vosgiennes.

2.- Agencement selon le transect C-D

La position de ce petit transect, long de 725 mètres, est précisée sur la carte de la figure 11b. La disposition des différents horizons est présentée sur la figure 14. La dénivellation entre l'Ouest et l'Est est de 35 cm.

On reconnaît deux unités principales dans la coupe. Jusqu'au chenal tourbeux, la partie occidentale est constituée d'un hydromull développé sur un horizon argileux à gley G_r , lui-même reposant sur un gley sablo-limoneux non calcaire (C_g). Cette unité est tout à fait identique à la partie occidentale du transect A-B.

La seconde unité en diffère par la présence d'un gley moins profond et de tourbe et anmoor enfouis au-delà de 35 cm. Localement, l'horizon du soubassement sablo-limoneux C_g contient du carbonate de calcium, qui devient un constituant majeur des sables (horizon CC_{ag}) près du Riedbrunnen.



A Sol humique à gley profond - B Sol à profil complexe, à gley, à tourbe et anmoor profonds - A' Sol humique à gley peu profond - B' Sol à profil complexe, à gley, tourbe et anmoor peu profonds - A'' Sol à gley très profond - A_{Ca} Sol humique carbonaté à gley profond - A_{Ca}B Sol humique carbonaté à profil complexe, à gley et tourbe -.

Figure 12. - Agencement du transect A-B.

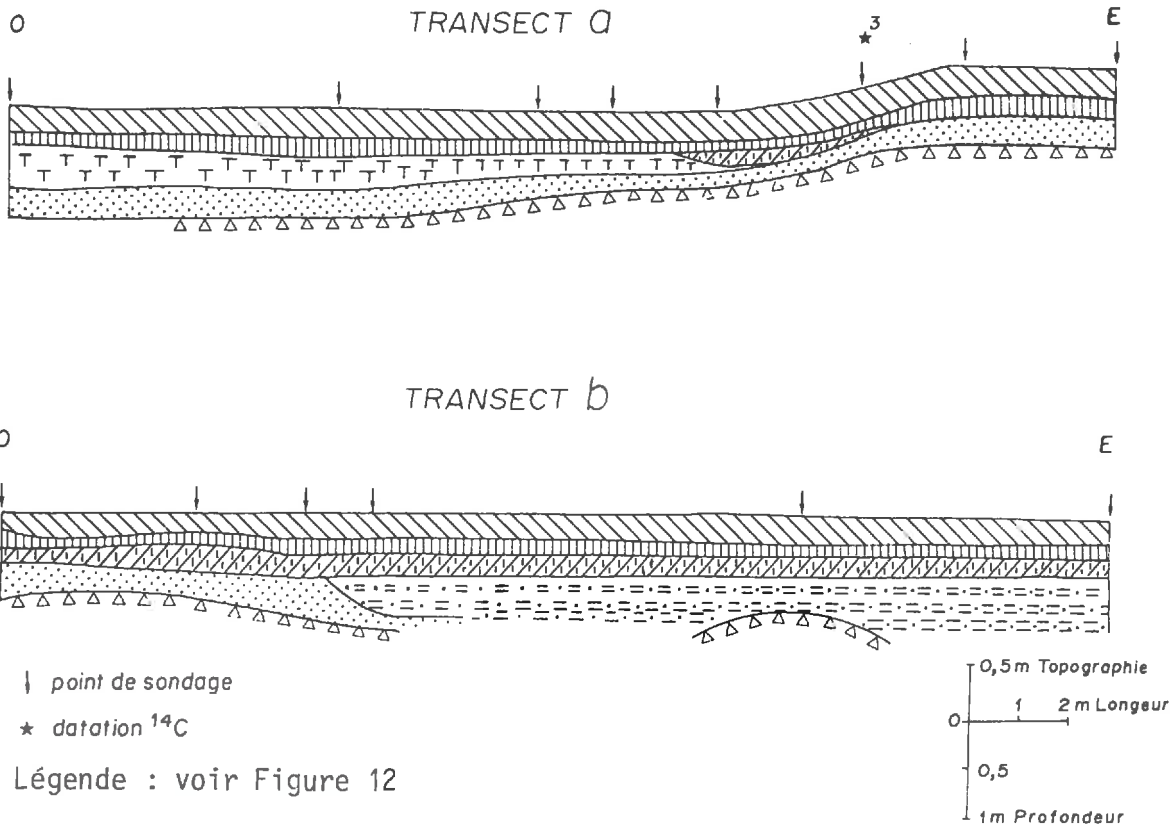


Figure 13.- Transects de transition entre tourbe et anmoor (transect a) et entre cailloutis vosgiens et rhénan (transect b).

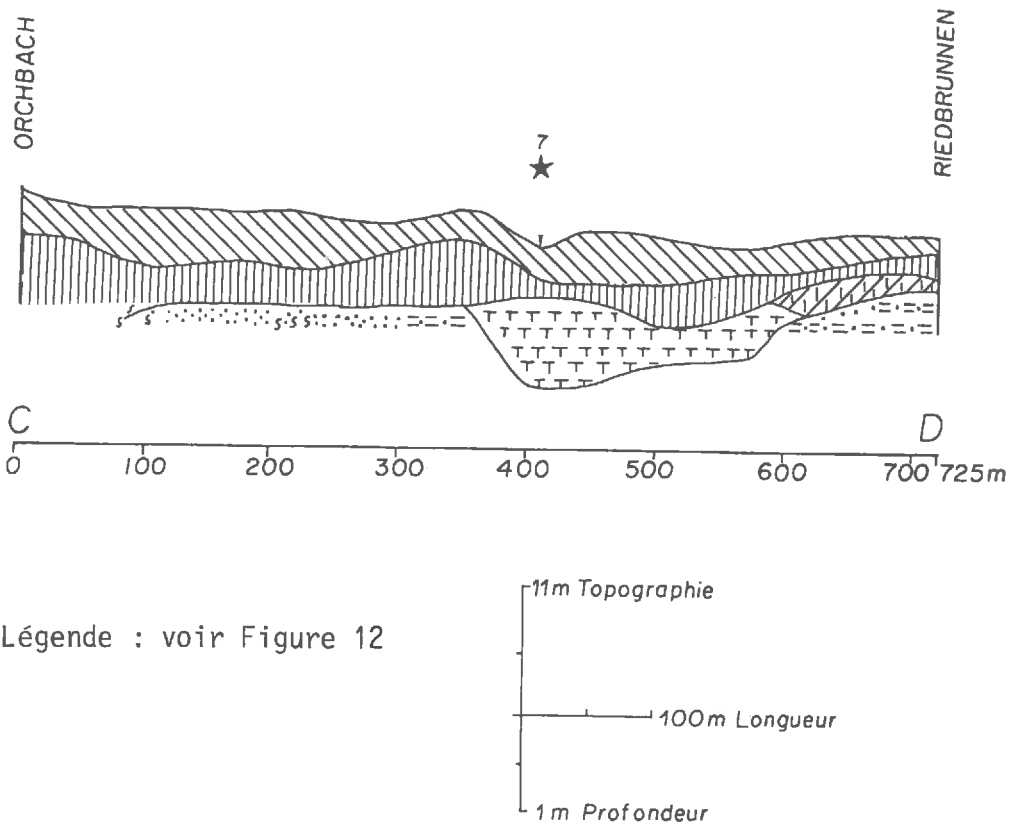


Figure 14.- Agencement du transect C-D.

3.- Conclusion

a. Unités pédologiques et taxonomiques

L'étude des transects confirme les données de cartographie de PARTY (1984). Partout il s'agit de sols hydromorphes à gley.

Nous avons reconnu trois grandes unités qui sont :

- * Les sols humiques à gley
- * Les sols humiques à profil complexe
- * Les sols humiques carbonatés

Chacune de ces unités peut être subdivisée en prenant en compte la profondeur d'apparition du gley ou encore en précisant la nature des formations pédologiques qui interviennent dans les profils complexes. La figure 12 donne la nomenclature que nous avons adoptée pour représenter les particularités de chaque unité taxonomique et précise sur les schémas la disposition des divers types de sols.

b. Principaux évènements d'une chronologie relative

(1) Nous avons montré par l'étude détaillée d'un court transect (Figure 13b) que la transition entre les sables et cailloutis acides d'origine vosgienne et ceux d'origine rhénane, calcaires, s'effectue toujours par transgression de la nappe rhénane sur le matériau vosgien.

(2) Les observations faites sur la partie orientale du transect principal montrent que la surface correspondant au sommet des alluvions rhénanes est plus fortement incisée que dans la partie occidentale. Des chenaux ont érodé la surface, sans doute à la faveur de crues violentes du Rhin.

Des tourbières à Phragmites et Typha se sont développées dans ces chenaux. La formation des tourbes et des anmoors des milieux palustres, localisés aux pourtours des tourbières, est l'indice que pendant une certaine période, les champs d'inondation étaient balayés par des courants bien moins violents que ceux qui ont donné naissance aux chenaux.

(3) Il est remarquable de constater que la surface des tourbes se trouve être nappée par un matériau argileux (au centre et à l'Ouest) et par des matériaux limono-argilo-sableux de plus en plus calcaires vers l'Est. Cet épandage constant, qui sera daté en mesurant par le ^{14}C l'âge du sommet des tourbes qu'il enterre, est l'indice d'une sédimentation alluviale sous régime hydrographique de très faible énergie.

La présence de calcaire à l'Est, totalement absent à l'Ouest, peut signifier que les épandages d'alluvions fines du Rhin (à l'Est), de l'Ill (à l'Ouest), se sont effectués côte à côte sans trop s'interpénétrer. C'est autour du ruisseau Riedbrunnen que se trouve la limite des deux épandages alluviaux.

III.- DATATION DES TOURBES PAR LE ^{14}C

III.1. Prélèvement, préparation des échantillons et méthode

Les échantillons ont été prélevés sur les parois d'une fosse pédologique, en prenant soin de retirer un volume de sol d'épaisseur connue, repéré par rapport à la surface du sol. Systématiquement, nous avons prélevé le sommet des horizons tourbeux, et parfois, la base des horizons gleyifiés qui les surmontent.

Les échantillons ont été séchés à l'air, broyés et traités par HCl 0.5N à froid pendant 24 heures, en agitant par instant. Ce traitement a été rendu nécessaire pour éviter toute pollution par des traces de carbonate de calcium. Après lavages multiples et séchages, les échantillons ont été de nouveau broyés et le carbone organique a été dosé au Carmhograph.

Pour la datation, on a procédé à la combustion sous oxygène d'une quantité variable des sols, correspondant toutefois à une masse minimale de carbone organique de 5 grammes. Le CO_2 dégagé a été piégé par une solution d'ammoniaque et converti en SrCO_3 , par adjonction de SrCl_2 .

La méthode de conversion du carbone du SrCO_3 en benzène a été décrite ailleurs (SCHARPENSEEL et PIETIG, 1969 ; FONTES, 1971 ; GUILLET, 1972) et comporte les phases suivantes : production de carbure de lithium par fixation du C du SrCO_3 sur du lithium fondu (800°C) ; dégagement d'acétylène par action de l'eau sur le carbure. Enfin, par trimérisation catalytique d'acétylène, on produit du benzène utilisé comme solvant d'un mélange scintillant.

Les techniques de comptage sont donc celles de la scintillation liquide. Elles sont effectuées par un spectromètre β (Packard Tri-Carb). Les mesures d'âge sont obtenues à partir du standard moderne et du bruit de fond de la cellule de comptage. Le standard est l'acide oxalique fourni par le N.B.S. des U.S.A.

Les âges ont été calculés selon la formule : $t = 8\ 035 \log_e A_e/A_0$

où A_e est l'activité spécifique du carbone de l'échantillon à dater, exprimée en coups par minute et par gramme de carbone, et A_0 , l'activité spécifique du standard moderne. Le calcul est basé sur la période de 5 568 ans pour le ^{14}C .

Tous les résultats sont exprimés par rapport au Présent (B.P. = before present).

III.2. Résultats de datation par le ^{14}C

1.- Mise en place des tourbes

Les échantillons analysés sont repérés sur la carte de la figure 11b et sur les coupes des transects A-B et C-D des figures 12 et 14.

L'ensemble des résultats est présenté sur le Tableau IV. On note que dans les deux seuls profils où nous disposons de données sur les débuts de la tourbification, les âges remontent à peine à l'époque atlantique. En effet,

la base de la tourbe du profil du site n° 2 (appelé PIREN 2) donne l'âge le plus élevé, soit $4\,490 \pm 130$ ans. Cette mesure situe le début de la tourbification à la limite entre l'Atlantique ($7\,500-5\,000$ BP) et le Subboréal ($5\,000-2\,750$ BP) (GUILLET et al., 1976). Quant au site n° 7, appelé PIREN 4, la base de la tourbe (Figure 14), située à près d'un mètre sous la surface, a livré un âge de $2\,965 \pm 85$ ans, ce qui situe la formation du chenal tourbeux à la fin du Subboréal.

Tableau IV.- Datations ^{14}C des tourbes, anmoor et gleys organiques argileux.

N° du site et référence au transect	Nature de l'horizon	Profondeur du prélèvement (en cm)	Teneur en carbone organique (%)	Référence du Laboratoire	Age (B.P.)
1, A-B	- Gley G _r argileux	68-72	4	NY 1077	$2\,340 \pm 50$
	- Limon semi-tourbeux	85-93	4.3	NY 1078	$3\,260 \pm 70$
2, A-B PIREN 2	- Gley G _r argileux	20-30	4.7	NY 1047	$1\,465 \pm 75$
	- Tourbe noire	30-50	16.9	NY 1021	$2\,780 \pm 85$
	- Tourbe blonde	65-75	11	NY 1026	$4\,490 \pm 130$
3, A-B	- Gley G _r argileux	37-42	4.1	NY 1079	$2\,100 \pm 80$
	- Anmoor	46-54	3.4	NY 1081	$3\,580 \pm 70$
4, A-B	- Tourbe noire	30-35	15.2	NY 1095	$2\,340 \pm 65$
5, A-B	- Gley G _r argileux	34-39	3.7	NY 1082	$1\,875 \pm 65$
	- Tourbe	40-48	8.5	NY 1083	$2\,230 \pm 65$
6, A-B	- Gley G _r argileux, calcaire	30-35	7.9	NY 1089	$1\,105 \pm 60$
	- Tourbe	40-48	10.1	NY 1084	$2\,030 \pm 60$
7, C-D PIREN 4	- Tourbe noire	30-45	17.8		$2\,115 \pm 70$
	- Tourbe blonde	60-64	22.4	NY 1023	$2\,430 \pm 60$
	- Tourbe blonde	90-95	14.7	NY 1025	$2\,965 \pm 85$
8	- Gley G _r argileux	38-43	5	NY 1080	715 ± 40
	- Tourbe	45-53	10.6	NY 1085	$1\,245 \pm 60$
9	- Gley G _r argileux	28-33	4.5	NY 1086	875 ± 60
	- Tourbe	35-45	18	NY 1088	$1\,320 \pm 60$

Ces deux valeurs, qui encadrent la période subboréale, laissent penser que c'est au cours de cette période que les conditions générales de température et d'humidité ont favorisé le développement de tourbières de basse altitude. Ces données recourent les hypothèses énoncées par HIRTH (1971), qui note que cette période semble favorable à l'incision des surfaces et aux dépôts de chenaux.

Nous soulignons que nous avons effectué des datations sur des macrorestes végétaux prélevés soit à la base (fragments racinaires NY1020) du Ried de l'Andlau à Innenheim. Les résultats obtenus (NY 1020 = $3\,520 \pm 55$ et NY 1019 = $3\,890 \pm 70$ ans BP) confirmeraient l'importance de l'époque Subboréale dans le développement de sols tourbeux d'une grande partie des Rieds d'Alsace.

2.- Fin de l'épisode de développement des tourbes

Pour mieux rendre compte de ce phénomène majeur qui est la fin des processus de formation de tourbes et de leur fossilisation lors du recouvrement par les matériaux argileux originaires de l'Ill ou limono-argileux d'origine rhénane, nous avons présenté les résultats sur la Figure 15.

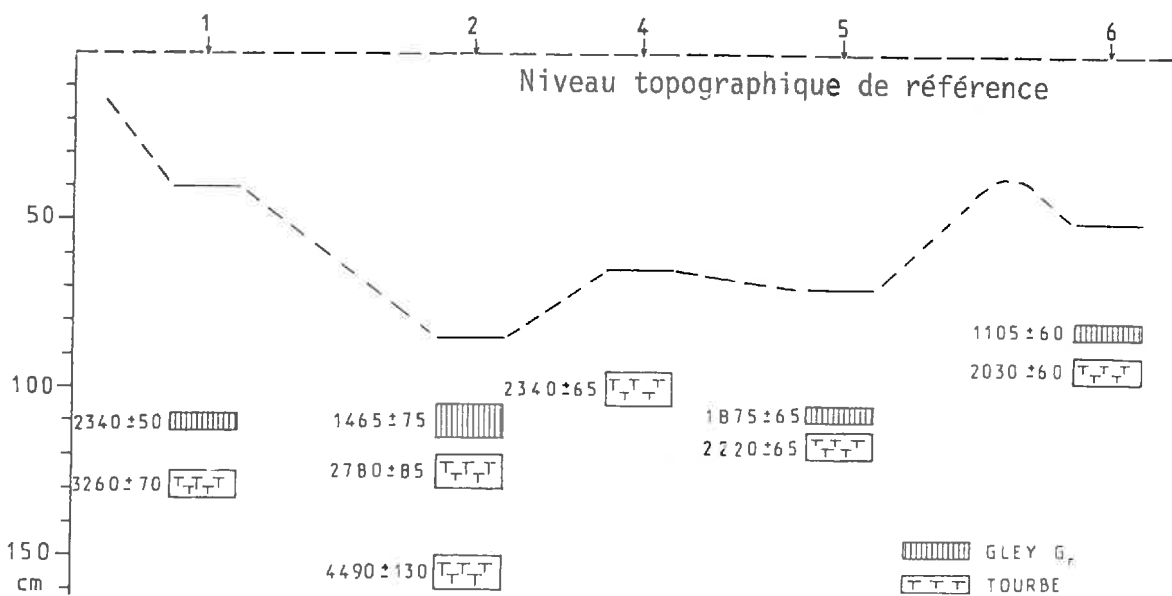


Figure 15.- Positions relatives des tourbes et des gley Gr, par rapport au niveau topographique de référence.

Cette figure a été construite en reportant les âges aux profondeurs convenables par rapport à la surface topographique actuelle, et aussi par rapport à un niveau topographique de référence, qui relie les deux points extrêmes du transect A-B de la Figure 12. Cette disposition met en évidence un recouvrement plus tardif à l'Est qu'à l'Ouest. Il est clair que si l'on compare les sites extrêmes (1 et 6), lorsque la tourbière du site 6 a cessé de fonctionner, il y avait longtemps que celle du site 1 était recouverte d'alluvions fines. On notera même une certaine progressivité dans le mécanisme de recouvrement, puisque l'on observe une série de dates décroissantes vers l'Est : 3 260 → 2 780 → 2 340 → 2 200 → 2 030 ans).

A l'exclusion de la mesure obtenue au sommet du limon semi-tourbeux du site 1, qui pourrait bien être une partie d'un méandre abandonné du système Ill-Orchbach, toutes les autres mesures se rapportent à la période subatlantique. Ces résultats viennent confirmer ce que l'on pensait déjà. La période subboréale a vu s'établir un réseau de chenaux et de bras morts de rivières dans lesquels la tourbe s'est édifiée. La période subatlantique est une période d'alluvionnement en particules fines. Cela tient sans doute à deux phénomènes qui ont conjugué leurs effets : le premier est lié à la subsidence de cette partie centrale de la région ello-rhénane, qui semble avoir été particulièrement effective depuis 2 000 ans, comme en témoigne l'enfouissement des sites romains. En s'affaissant, cette région est devenue le réceptacle d'un plus fort tonnage alluvionnaire en provenance de l'Ill ; le second phénomène relève de l'anthropisation et de la déforestation des paysages d'Alsace. L'apparition de paysages ouverts dans le bassin versant de l'Ill a sans doute provoqué, dans les amonts, des érosions notables. La charge en particules fines de l'Ill a dû s'en trouver modifiée.

La datation des couvertures argileuses surmontant les tourbes est plus difficile à interpréter, car il n'est pas exclus qu'il y ait eu des contaminations par les racines des graminées et par des mélanges d'horizons, provoqués par les mouvements des vers de terre anéciques.

Les sites 8 et 9 (Tableau IV et Figure 11b), situés près du ruisseau Riedbrunnen, montrent que dans la partie Nord-orientale du secteur d'étude, les dépressions ont été plus récemment le siège de développement de tourbes.

3.- Le passage de la tourbe à l'anmoor

Sur la Figure 16, nous avons rapporté les mesures d'âges effectuées sur les échantillons des sites 2-3 du transect A-B de la figure 12. Le site 3 correspond à un sol à gley reposant sur un anmoor limoneux présent de 45 à 55 cm sous la surface. Comme nous l'avons présenté sur le transect à grande échelle de la Figure 13a, ce sol à anmoor enfoui fait transition avec la tourbe du site n° 2. Nous avons même pu observer la transformation en anmoor de la partie superficielle de la tourbe, ce qui tendrait à prouver qu'il y a eu formation de la tourbe dans le chenal et évolution des matières organiques vers l'anmoor en bordure du chenal, sans doute sous l'effet d'un drainage amélioré.

La Figure 16 permet d'observer que l'âge obtenu sur l'anmoor ($3\ 580 \pm 70$ ans) se situe entre le début et la fin de la formation de tourbe voisine. Si l'on admet que l'anmoor a fonctionné en humus actif de milieu drainé pendant tout le temps où, dans le chenal contigu, la tourbe s'édifiait et s'accumulait, il faut bien admettre que l'anmoor a conservé, jusqu'à son enfouissement, des matières organiques d'âges variés.

Il est probable que le dépôt argileux qui a enterré la tourbe et l'anmoor se soit produit entre 2 100 et 2 800 ans, au moins dans cette partie médiane du transect A-B.

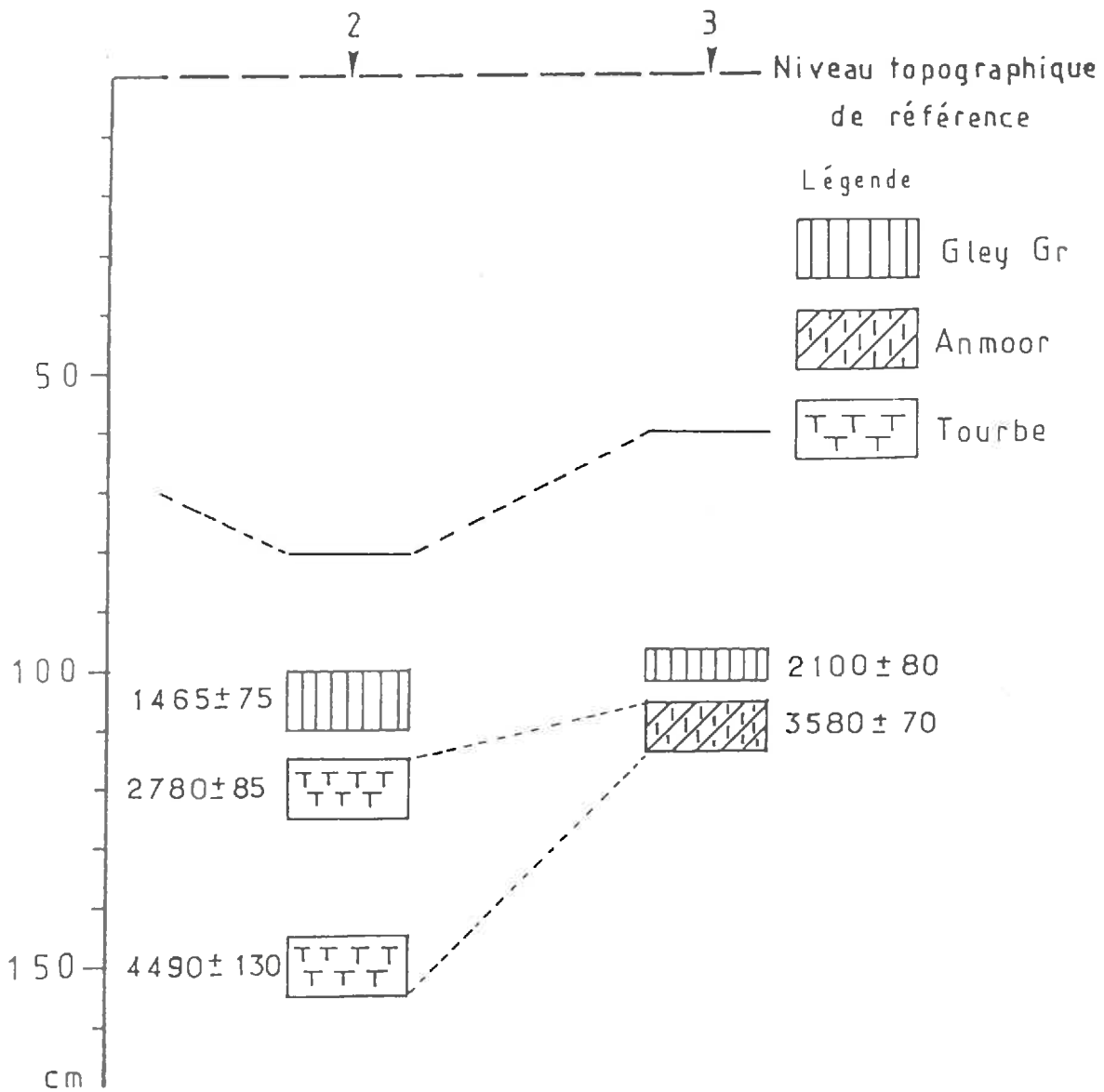


Figure 16.- Positions relatives de la tourbe et de l'anmoor par rapport à un niveau topographique de référence.

CONCLUSION

Les sols du Ried ello-rhénan de la région d'Illhaeusern sont constitués de matériaux alluviaux, qui proviennent des Vosges et du Bassin versant de l'Ill, ou qui sont d'origine rhénane. Ils sont carbonatés lorsqu'ils proviennent du Rhin. Ces sols sont parfois caractérisés par la présence de tourbes qui ont souvent une composition et une structure hétérogène, avec notamment une partie supérieure très composée, alors que la base est plus fibreuse.

Il s'agit dans tous les cas de sols jeunes, dans lesquels on ne rencontre pas d'autres processus de différenciation pédologique que les processus régis par l'hydromorphie. Ce sont ces conditions hydromorphes qui sont à l'origine des gleys et des humus de type hydromull. Ainsi ont été reconnus sept ensembles de sols humiques à gley et de profils complexes, caractérisés par des tourbes ou anmoor enfouis. La nomenclature adoptée pour les sols rencontrés s'établit de la façon suivante :

- Sol humique à gley très profond,
- Sol humique à gley profond,
- Sol humique à gley peu profond,
- Sol humique à gley profond carbonaté,
- Sol humique à profil complexe, à gley, tourbe et anmoor profonds,
- Sol humique à profil complexe, à gley, tourbe et anmoor peu profonds,
- Sol humique carbonaté à profil complexe, à gley et tourbe.

Tous ces sols sont des sols hydromorphes, qui ne varient entre eux que par la complexité du profil, liée à l'existence ou non de tourbe, la présence de calcaire et la classe de drainage qui conditionne la profondeur d'apparition du gley.

La datation par le ^{14}C des tourbes a prouvé que leur mise en place s'était effectuée principalement au cours de la période subboréale. C'est au cours de la période subatlantique, c'est-à-dire depuis 2 700-2 800 ans, que les alluvions fines de l'Ill ont recouvert et nappé les paysages du Sud d'Illhaeusern.

TROISIEME PARTIE

DYNAMIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE
COMPARAISON ENTRE SOL DE PRAIRIE ET SOL CULTIVE

DYNAMIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE COMPARAISON ENTRE SOL DE PRAIRIE ET SOL CULTIVE
--

I.- INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que les horizons humifères de surface se trouvaient être posés parfois sur des tourbes que nous avons pu dater. Ainsi, il nous a été possible de repérer et de choisir des sols à profils complexes, dont on connaît assez précisément l'âge des dépôts argileux aux dépens desquels se sont formés les horizons humifères de surface. On connaît donc ainsi l'âge maximum que peuvent prendre les matières organiques de ces horizons.

Les horizons de surface de n'importe quel sol ont en général des matières organiques d'âge moyen (ou temps moyen de résidence) peu élevé. En profondeur, l'âge moyen augmente, ce qui cause un gradient croissant d'âge (SCHARPENSEEL, 1971).

Une des explications les mieux admises de l'existence du gradient d'âge avec la profondeur consiste à admettre qu'en chaque point d'un profil coexistent des matières organiques d'âges différents. Certaines sont vieilles et stables ; à l'opposé, d'autres sont jeunes parce qu'elles sont soumises à un renouvellement constant. Un gradient d'âge naît quand on a prédominance d'une catégorie de matière organique sur l'autre. La figure 17 donne une illustration explicative. En chaque point du profil, les substances organiques qui composent la matière organique ont des âges réels qui se distribuent différemment (BALESDENT, 1982). Si l'on considère les horizons de surface, les courbes de distribution témoignent de la prépondérance de substances organiques jeunes, qui tendent à devenir minoritaires en profondeur.

La recherche entreprise a pour point de départ l'idée selon laquelle une rupture de l'équilibre séculaire entre un type de végétation et le sol doit modifier les proportions et âges moyens des matières organiques formant les différents compartiments humiques du sol.

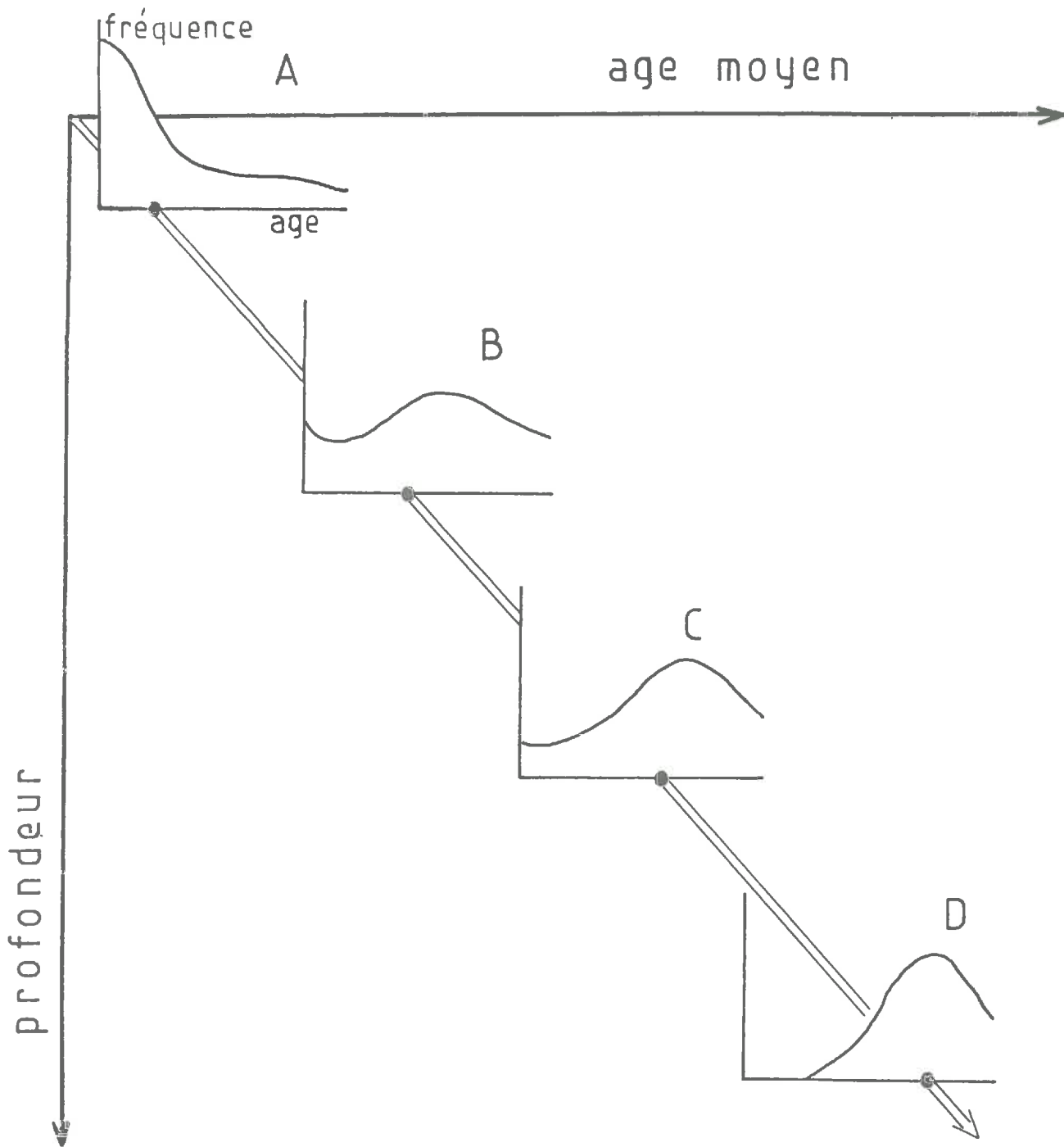


Figure 17.- Schéma explicatif de l'existence d'un gradient d'âge croissant avec la profondeur.

En chaque point du profil, les molécules qui composent les matières organiques ont des âges variés et différents. Si on porte le pourcentage relatif du carbone de ces molécules en fonction de leur âge réel (ou du temps écoulé depuis leur entrée dans le sol), on forme une courbe représentant la densité de la distribution des âges. Cette courbe admet un âge moyen, exactement comme à la courbe de la densité démographique correspond l'âge moyen d'une population.

Près de la surface d'un sol (courbe A), ce sont les molécules jeunes qui prédominent. En profondeur, celles-ci sont rares (courbe C) voire inexistantes (courbe D). L'âge moyen croît.

Ainsi, nous avons choisi de comparer deux agrosystèmes du Ried d'Illhaeusern par l'intermédiaire de leurs horizons humifères superficiels respectifs (hydromull).

La référence initiale porte donc sur l'hydromull d'un sol de prairie, dont nous étudierons la répartition des matières organiques en différentes fractions que nous daterons. Ces résultats seront comparés à ceux obtenus selon les mêmes méthodes, sur un sol très voisin, cultivé depuis 1968, date à laquelle la prairie fut pour la première fois retournée.

Les deux sols sélectionnés sont représentés sur les transects des figures 12 et 14, sous les sites n° 2 (sol cultivé) et n° 7 (sols sous prairies). Ces deux sols ont parmi les six sols qui ont fait l'objet d'une recherche de la part de BERNHARD (1985), sur la dynamique de migration des formes minérales de l'azote dans les sols et la nappe phréatique. Les sites n° 2 et 7 correspondent à l'appellation "point 2" et "point 4), donnée par BERNHARD.

II.- DESCRIPTION ET PROPRIETES DES SOLS

Les fiches ci-après donnent la description et les analyses classiques des deux sols, dont nous étudierons la dynamique de l'humification.

II.1. Profil d'Illhaeusern 7

Le profil d'Illhaeusern 7 (point 4 de BERNHARD) est un sol humique à profil complexe à gley peu profond et à tourbe. C'est un sol traité en prairie permanente.

1.- Principaux horizons

La couche de tourbe de couleur noire apparaît à 30 cm, sous des horizons minéraux de surface. Ceux-ci comportent un horizon A₁ qui est un hydromull dont la teneur en matière organique approche 10 %. C'est un hydromull calcique. Entre l'horizon A₁ et la tourbe, se situe un horizon de gley G_r très argileux et relativement humifère. On note en effet une teneur en argile de 76 % et un taux de matière organique de l'ordre de 7 %.

2.- Composition minéralogique des argiles

Au plan de la minéralogie des argiles, ces deux horizons A₁ et G_r comportent les mêmes minéraux. Les smectites sont les minéraux dominants, présentant un pic étalé entre 14 et 15 Å lorsqu'ils sont saturés par le magnésium et traités en diffractométrie à la température ambiante. Avec l'éthylène-glycol, les smectites donnent aussi un pic étalé entre 16 et 17 Å. Après chauffage à 330°C, les minéraux se rétractent imparfaitement vers 10 Å. Cela pourrait signifier que les espaces interfoliaires sont en partie occupés par des formes cationiques hydroxylées et polymérisées, qui peuvent être alumineuses, ferrifères ou magnésiennes. Après chauffage à 550°C, la rétractation vers 10 Å s'avère bien plus efficace, mais on perçoit la présence de pic à 12 Å, qui témoigne de l'existence d'interstratifiés voisins des illites-chlorites. En plus des smectites, on note l'existence d'une faible quantité d'illites et d'interstratifiés du type illite-smectite et illite-chlorite.

3.- Propriétés physiques des horizons de surface

La densité apparente a été déterminée selon deux méthodes : celle du cylindre et celle au pétrole. La méthode au pétrole, décrite par MONNIER et al. (1973), consiste à peser une motte sèche, puis à la plonger dans le pétrole, qui remplit les pores. On pèse à nouveau : la différence de poids entre le matériau sec et le matériau ressuyé, mais imprégné de pétrole, permet de connaître le volume de pétrole retenu par les vides. Le volume des mottes ressuyées est mesuré par la poussée hydrostatique (d'Archimède) dans le liquide d'imprégnation. La méthode du cylindre a consisté à prélever, en octobre, un nombre connu de cylindres de terre de 250 cc. On pèse la terre séchée à 105°C. Le rapport masse sur volume total donne la densité apparente. Les chiffres présentés sur les tableaux V et VI nous ont été communiqués par M. Ch. SCHENCK.

Les valeurs du tableau V montrent que le gley (G_r) a une densité apparente plus élevée que l'horizon de surface ; ceci est logiquement dû à la plus forte porosité de l'hydromull à structure grumeleuse. Le caractère massif de la structure de l'horizon de gley apparaît nettement, si l'on considère la haute valeur de sa densité apparente ($1,613 \text{ g/cm}^3$)

Tableau V.- Valeurs de la densité apparente et stabilité structurale du sol sous prairie.

Horizons	Densité apparente (g/cm^3)		Stabilité structurale des agrégats stables			
	Méthode au pétrole	Méthode du cylindre	à l'alcool	à l'eau	au benzène	Moyennes
Hydromull calcique (0-20 cm)	1,422	0,66 (0- 5 cm) 0,88 (8-13 cm) 0,97 (15-20 cm)	81,90	80,19	74,57	78,89
Gley (G_r) (20-30 cm)	1,613	1,01 (22-27 cm)	nd	nd	nd	nd

La stabilité structurale de l'hydromull calcique a été déterminée selon la méthode de HENIN et al. (1969). Ce test consiste en une série de tamisages, effectués sous l'eau, dans des conditions standards d'échantillons de sol séchés à l'air et tamisés à 2 mm. On recueille et on pèse les agrégats de taille supérieure à 200 μm qui ont résisté à l'action de l'eau. Avant d'être traités par l'eau, deux échantillons sont humectés par des liquides organiques, qui sont, d'une part l'alcool éthylique, d'autre part le benzène. Le pourcentage de sol qui reste à l'état d'agrégat ($> 200 \mu\text{m}$) après chacun des tests alcool-eau et benzène-eau est comparé au pourcentage des agrégats restant stables dans l'eau seule.

La stabilité des agrégats est tout à fait remarquable. De tous les sols analysés dans la région des Rieds noir et brun, c'est avec ce sol que l'on obtient les plus hautes valeurs du pourcentage d'agrégats stables au benzène (communication orale de MM. Ch. SCHENCK et M. METTAUER). Il faut reconnaître qu'avec près de 75 % d'agrégats stables au benzène, cet hydromull possède une capacité d'agrégation remarquable.

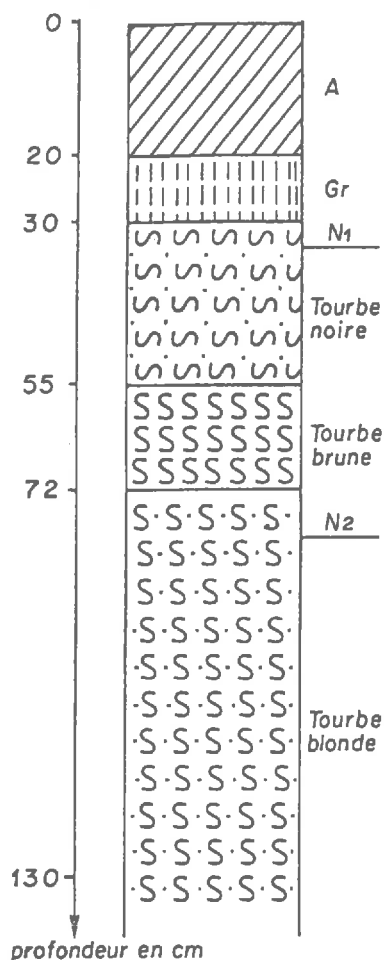
ILLHAEUSERN 7

I.G.N. 1/25 000, COLMAR 3-4 - E = 7°26'30" ; N = 48°10'31" ; Altitude = 177 m.
Commune de Colmar.

Topographie : plaine alluviale plane. Chenal local.

Substrat : Limon sableux non calcaire.

Végétation : Prairie naturelle de fauche, non fertilisée, dont le rendement en deux coupes est de 4 à 5 tonnes de foin (communication de M. Ch. ROLLER de Illhaeusern).



(0-20 cm) : Hydromull. Horizon bien coloré par les matières organiques. Couleur brun jaune foncé (10 YR 3/4). Texture argileuse lourde. Structure grumeleuse. L'horizon est caractérisé par une grande abondance de racines fonctionnelles et de débris organiques. L'ensemble est très plastique. Horizon poreux.

(20-30cm) : Horizon de couleur grise (7.5 YR 5/0) avec taches brun jaune (10 YR 5/6). A la base, les taches disparaissent, relayées par une nouvelle couleur noire (7.5 YR 2/0) liée à une structure vermique. Texture argileuse lourde. Structure polyédrique fine à surstructure prismatique moyenne à grossière. Horizon peu poreux ; microporosité moyenne, macroporosité très faible. L'horizon est plastique à l'état humide et très compact à l'état sec.

(30-55cm) : Noyé. Couleur noire, débris végétaux de couleur brun foncé à brun (7.5 YR 4/4), très fibreux. Quelques gros chenaux verticaux constitués de matériaux limono-argileux gleyifiés, de couleur gris foncé (10 YR 4/1). Chenaux de débris végétaux tapissés verticalement par des précipitations d'oxydes de fer de couleur brun foncé à brun (7.5 YR 4/4). Un pourcentage élevé d'éléments minéraux (61 %) représentés surtout par de l'argile et du limon. Porosité importante

(55-72cm) : Noyé. Tourbe brune fibreuse. Débris organiques feutrés de couleur brun gris très foncé (10 YR 3/2). Fragments de phragmites. Très poreux.

(72-130cm) : Noyé. Tourbe blonde feutrée. Couleur brun foncé (10 YR 3/3). Débris organiques grossiers importants. L'ensemble de l'horizon a un aspect fibreux très poreux.

Prof.	Hor.	pH eau	Granulométrie %							C%	N%	C/N	Bases échangeables (m.e./100 g sol)							
			A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.	M.O.	Eau				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Mn ⁺⁺	S	T	S/T
0-20	A ₁	6.1	59.4	18.1	3.1	2.1	0.2	10.7	6.4	6.2	0.52	11.9	47	2.8	0.18	0.74	0.08	50.8	44.9	Sat.
20-30	G _r	6.7	76	8.5	1.4	0.2	0.1	7	6.8	4.1	0.33	12.4	48	2.9	0.13	0.78	0.00	51.8	47.0	Sat.
30-55	T.n.	6.1	39.4	17.4	3.3	0.5	0.2	30.6	8.6	17.8	1.17	15.2	65	3.3	0.18	0.97	0.00	69.5	80.1	86.7
55-72	T.br.	5.9						38.5	8.4	22.4	1.12	19	54	3.2	0.2	1.01	0.00	58.4	67.5	86.5
72-130	T.bl.	6						25.3	5	14.7	0.74	20	32	2	0.14	0.77	0.00	34.9	38.2	91.4

Commentaire : Sol humique à profil complexe à gley et tourbe peu profonde. Aucune trace de carbonates. Le sol présente un pH modérément acide sur l'ensemble du profil. Les taux de calcium échangeable sont importants dans tout le profil, et entraînent la saturation du complexe absorbant dans l'hydromull et G_r. Le rapport C/N, faible en surface (12) augmente dans les horizons tourbeux ; il est maximum en profondeur. L'horizon A₁ est très pauvre en P₂O₅. La teneur en matière organique des tourbes est variable. Le toit de la nappe oscille saisonnièrement entre 40 et 90 cm.

T.n. = tourbe noire ; T.br. = tourbe brune ; T.bl. = tourbe blonde.

4.- Caractères de la couche de tourbe

La couche de tourbe eutrophe a une épaisseur de 1 mètre ; les teneurs en matière organique varient de 25 à près de 40 %. L'hétérogénéité de la constitution de cette couche tourbeuse se manifeste par deux caractères. La partie superficielle a une couche noire, qui s'oppose aux teintes blondes des parties plus profondes. Ce changement de couleur s'accompagne d'une variation du C/N des matériaux : voisin de 20 dans les parties profondes, celui-ci approche la valeur de 15 dans la partie superficielle, qui semble subir une humification plus poussée.

II.2. Profil d'Illhausern 2

Le profil d'Illhausern 2 (Point 2 de BERNHARD) est aussi un sol humique à profil complexe à gley peu profond et à tourbe.

La parcelle sur laquelle est prélevé le sol a été labourée et cultivée pour la première fois au printemps 1968. Depuis 1973 elle est traitée en monoculture de maïs.

1.- Principaux horizons

Ce sol a la même disposition verticale des horizons qui le compose que le sol sous prairie précédemment présenté.

L'hydromull est calcique et saturé. C'est un horizon A_p de labour, qui est moins riche en matière organique que l'horizon A_1 du sol sous prairie. Sous l'hydromull, on retrouve l'horizon de gley G_r , dont la teneur en argile se révèle être identique à celle du gley équivalent du sol sous prairie (76.6%).

La seule différence avec le sol sous prairie tient à l'épaisseur de la couche de tourbe qui passe de 1 mètre à 50 cm.

2.- Composition minéralogique des argiles

Les argiles de l'hydromull et du gley G_r ont une composition tout à fait analogue à celle du sol sous prairie. On peut juste souligner que les interstratifiés illite-chlorite ne paraissent pas décelables dans ce profil. La composition minéralogique identique autorise à penser que les matériaux superposés aux tourbes et aux dépens desquels se forment l'hydromull et le gley, appartiennent à un épandage alluvial de même origine.

3.- Propriétés physiques des horizons de surface

Les valeurs du tableau VI montrent que les densités apparentes des horizons A_p et G_r prélevés le 23 octobre 1985, après récolte du maïs, sont remarquablement élevées, notamment la valeur de l'horizon argileux G_r (1,789 g/m³).

ILLHAEUSERN 2

I.G.N. 1/25 000, COLMAR 3-4. E = 7°26'46" - N = 48°9'48" - Altitude = 177 m
Commune de Colmar.

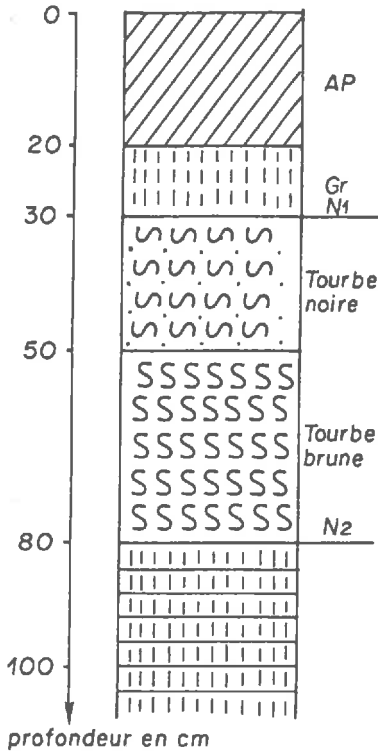
Topographie : plaine alluviale plane. Chenal local.

Substrat : Limon sableux non calcaire

Végétation : Sol cultivé depuis 1968, en blé et haricot jusqu'à 1973, puis en maïs depuis 1973.

Les rendements moyens en maïs ont de 70-75 Q/ha. Les sols ne sont pas fumés.

Fertilisation : 900 kg NKP (14-20-20) avant semis, 100 UK au semis (communication de M. E. MEYER, de Wickerschwihr).



(0-20 cm) : Hydromull. Horizon de couleur gris très foncé (10 YR 3/2). Texture argileuse lourde. Structure grumelleuse moyenne. Microporosité importante. Débris végétaux très peu abondants.

(20-30cm) : Gris foncé (10 YR 4/1), taches olive foncées (2.5 YR 5/6) de 2 à 5 mm de diamètre (5 %). Granulation gris très foncé (10 YR 3/1) de 2 à 4 mm de diamètre (15-25 %). Texture argileuse lourde. Structure massive en hiver, et polyédrique en été. Très peu poreux. Plastique. Racines fines peu nombreuses.

(30-50cm) : Sommet de la tourbe, noyée. La matrice a une couleur gris très foncé (10 YR 3/1) associée à des taches très argileuses gris foncé (10 YR 4/1) dont l'origine est liée aux galeries de vers de terre. Débris végétaux de couleur brun foncé à brun clair (10 YR 3/4). La tourbe est noire ; elle comporte des fibres isolées correspondant à des fragments végétaux. Ceux-ci sont emballés dans une matrice qui prend un aspect de feutre gris très foncé (10 YR 3/1). Les éléments minéraux représentent 62 %. Structure massive. Horizon poreux.

(50-80cm) : Base de la tourbe, noyée, noire (10 YR 2/1) attachée à la matrice minérale. Fragments végétaux fibreux dans la matrice brun jaune foncé. La base de l'horizon est gleyifié, grise (10 YR 5/1), aux limites nettes. Les éléments minéraux représentent 75 % du sol. Porosité très importante.

(80-100cm) : Noyé, gris bleu verdâtre (5 G 5/1). Taches gris foncé (5 Y 4/1). Texture limono-argilo-sableuse. Structure massive. Horizon très poreux.

Prof.	Hor.	pH eau	Granulométrie %							C%	N%	C/N	Bases échangeables (m.e./100 g sol)						
			A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.	M.O.	H ₂ O				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	S/T
0- 20	Ap	7.1	56	22.8	1.4	0.5	4.4	8.6	6.3	5.1	0.53	9.6	52.1	3.3	0.29	0.71	56.4	49.1	Sat.
20- 30	Gr	7.3	76.6	7.2	1.4	0.5	0.2	9.0	6	4.7	0.34	13.7	61	3.3	0.09	0.91	65.3	53.3	Sat.
30- 50	T.n.	6.5	32.7	20.2	4.8	3.5	1.2	29.2	8.5	17	1.36	12.5	79.1	3.7	0.06	0.96	83.8	78.5	Sat.
50- 80	T.br.	6.3	36.7	22	8.7	6.3	0.8	18.9	6.6	11	0.73	15.1	57.1	3.4	0.03	0.58	61.1	53.7	Sat.
80-100	Cg	6.3	34.4	32.3	13	9.3	0.2	6.6	4.1	3.9	0.16	26.1	37.5	2.4	0.19	0.56	40.7	27.5	Sat.

Commentaire :

Sol humique à profil complexe à gley et tourbe peu profonde. Aucune trace de carbonates. Grande richesse en bases et teneur importante en Ca⁺⁺ dans tout le profil. Complexe absorbant complètement saturé. Le toit de la nappe oscille selon les saisons, entre 30 et 80 cm.

Tableau VI.- Valeurs de la densité apparente et stabilité structurale du sol sous culture (nd = non déterminé)

Horizons	Densité apparente (g/cm ³)		Stabilité structurale % des agrégats stables			
	Méthode au pétrole	Méthode du cylindre	à l'alcool	à l'eau	au benzène	Moyennes
Hydromull calcique (0-20 cm)	1.554	0.82 (0- 5 cm) 0.86 (5-10 cm) 0.85 (10-15 cm)	71.41	64.04	5.59	62.71
Gley (Gr) (20-30 cm)	1.789	0.94 (15-20 cm) 0.83 (20-25 cm)	nd	nd	nd	nd

Les taux des agrégats stables à l'alcool, à l'eau et au benzène (Tableau VI) sont bien inférieurs à ceux que l'on observait dans l'hydromull du sol sous prairie. Tout indique que la stabilité structurale se trouve atténuée par le travail du sol et les pratiques culturales (MONNIER, 1965). On observe également, avec GUCKERT (1973), que la reconversion des agrosystèmes prairiaux en champs cultivés s'accompagne certainement d'une moindre production de substances polysaccharidiques jouant un rôle de liant entre les éléments minéraux.

4.- Caractères de la couche de tourbe

La plus faible épaisseur de la couche de tourbe est peut-être une raison qui pourrait expliquer le fait qu'elle soit plus fortement contaminée en argiles et limons.

La contribution plus élevée des fractions minérales est peut-être à l'origine d'une apparence plus humifiée de la couche tourbeuse, notamment dans sa partie superficielle (de 30 à 70 cm). De plus, au sommet de la tourbe, le C/N est relativement bas (12.5).

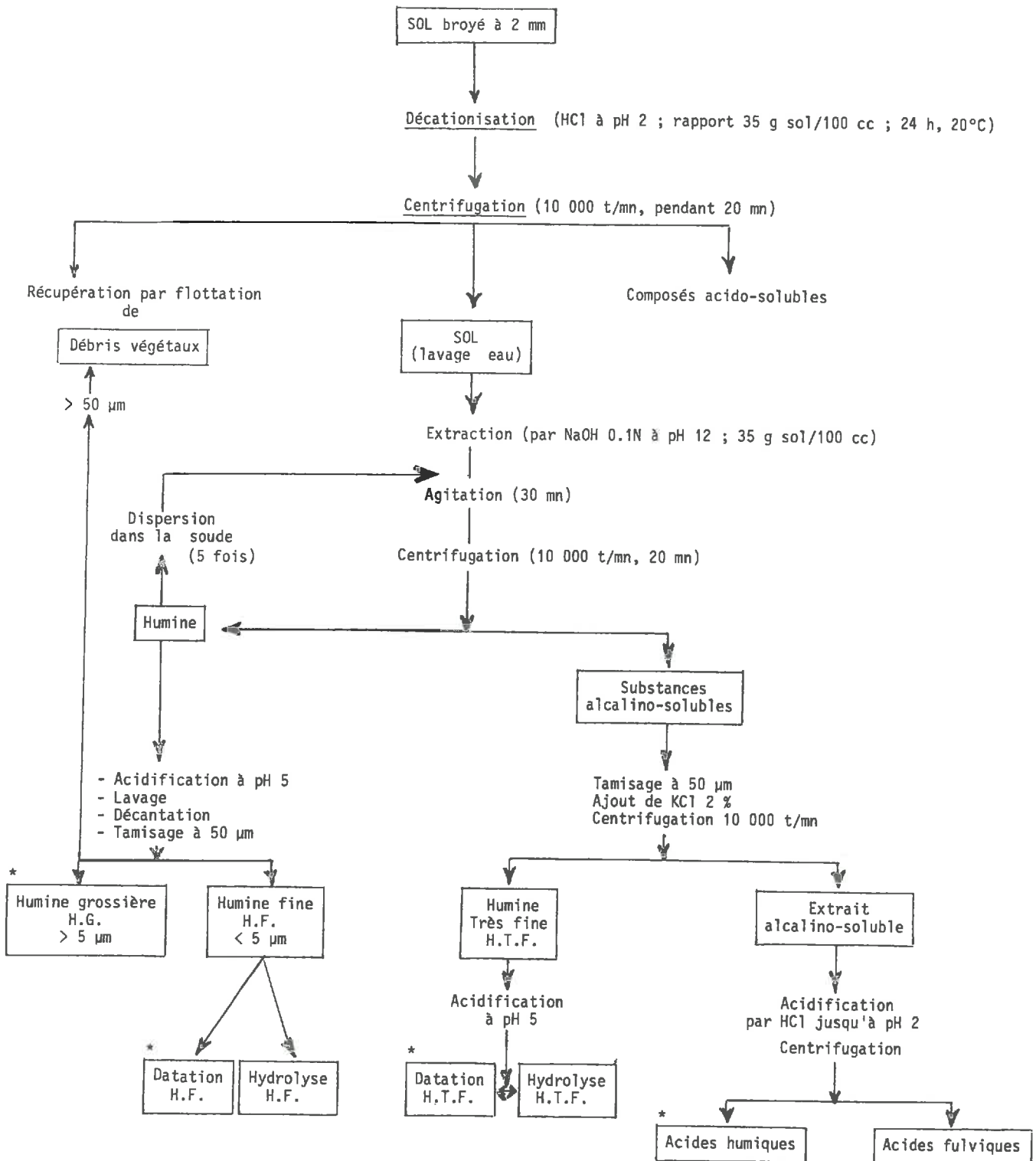
III.- METHODES

III.1. Préparation des échantillons

Les sols ont été prélevés pour fractionnement et datations en octobre 1984. Les échantillons ont été séchés à l'air, broyés dans un mortier d'agate, puis tamisés sur tamis de 2 mm. Etant donné la texture des sols, toute la fraction minérale est passée sur le tamis de 2 mm. Uniquement pour le sol sous prairie, il ne reste sur le tamis que des débris végétaux figurés, qui seront écartés du fractionnement. Ces débris représentent 3.14 g par kg de sol.

III.2. Protocole d'extraction des matières organiques

Le protocole présenté sur la figure 18 nécessite quelques commentaires.



*1. Les deux échantillons ont été traités par HCl à pH 2, agissant comme agent de décationisation et d'élimination d'éventuelles traces de CaCO₃ qui aurait pu les contaminer. Cette extraction a été faite selon un rapport sol/eau de 35g pour 100 cc. 1 160 g de l'hydromull de prairie et 1 440 g de l'horizon A_p du sol cultivé ont été aussi traités. Sur les extraits acido-solubles, on a dosé le carbone et l'azote.

*2. Après lavage des matériaux, on a procédé à l'extraction des matières organiques par de la soude 0,1 N en respectant le rapport 35g/100 cc. L'extraction est faite par agitation par retournement, d'une demi-heure. Cinq extractions successives ont été nécessaires pour épuiser et isoler les substances humiques alcalino-solubles obtenues après centrifugation à 10 000 t/mn.

*3. L'extrait comportant les substances alcalino-solubles contient en réalité une charge minérale argileuse qui se trouve être en suspension. Suivant la méthode de BARRIUSO (1985), nous avons provoqué la floculation de cette suspension argileuse en ajoutant à l'extrait du KCl en quantité suffisante pour que sa concentration soit de 2 %. Après centrifugation, une humine, que nous qualifions d'Humine Très Fine (HTF) a été séparée de l'extrait. Cette humine très fine comporte entre autres, des débris végétaux qui ont été éliminés après remise en suspension de l'humine très fine et tamisage à 50 µm.

L'humine très fine "définitive" étant maintenue en suspension, une aliquote a été prélevée pour y effectuer une évaluation de sa masse, de sa teneur en C et N et de la quantité de carbone qu'elle contient. Une fraction a été prélevée pour datation au ¹⁴C, alors qu'une grande partie a été réservée à l'hydrolyse acide des substances humiques.

Quant à l'extrait alcalino-soluble, il a fait l'objet d'un dosage du carbone et de l'azote sur une aliquote. Les acides humiques ont été précipités par adjonction d'HCl jusqu'à pH 2. Par centrifugation, on a séparé les acides fulviques des acides humiques qui, seuls ont été datés.

*4. La fraction du sol dont la matière organique n'a pas été extraite par la soude, ni mise en suspension, a fait l'objet d'un fractionnement physique après avoir été légèrement acidifiée. Ce fractionnement consiste en un tamisage, puis décantation. On aboutit ainsi à la séparation, en plus des éléments figurés, de deux sortes d'humine : humine fine, de 0 à 5 µm, et humine grossière, dont la taille des particules est supérieure à 5 µm. La première sera désignée par humine fine < 5 µm ou HF < 5 µm et la seconde par humine grossière ou HG > 5 µm.

De la même façon que pour l'humine très fine, on a procédé à l'évaluation des masses, des teneurs et des quantités de C et N dans chaque sorte d'humine. Pour chacune d'elles, une partie a été prélevée pour datation. Seule l'humine fine a subi l'hydrolyse acide.

III.3. Technique de l'hydrolyse acide

L'humine très fine et l'humine fine ont subi une hydrolyse acide selon des rapports respectifs de 50 g et 150 g pour 700 ml de réactif acide. Le réactif est l'acide chlorhydrique 3N.

La conduite de l'hydrolyse a été menée selon le protocole défini par JANEL et al. (1979), qui consiste à procéder par paliers. Ainsi, trois hydrolyses successives d'une heure ont été faites, en prenant soin de renouveler, après centrifugation, les solutions d'hydrolyse. Cette démarche limite

les recombinaisons entre substances aminées et polysides, qui aboutissent à des macromolécules non solubles. Pour achever l'hydrolyse, on a procédé à une quatrième étape d'hydrolyse, dont la durée a varié de 10 à 16 heures.

Après chaque palier d'hydrolyse, on dispose d'hydrolysats qui sont donc au nombre de quatre. Sur des aliquotes, on a effectué des dosages du carbone et des diverses formes de l'azote.

Les hydrolysats ont été amenés à pH 5.3 par ajout de soude. Il se forme alors des précipités d'hydroxydes d'aluminium et de fer, qui entraînent l'insolubilisation d'une fraction des substances organiques. Par centrifugation, on sépare un surnageant d'un précipité. Le bilan du fractionnement est établi en dosant le carbone et l'azote organiques dans le surnageant. Une attention particulière a été portée sur la distribution des sucres entre l'hydrolysate et le surnageant résultant de la précipitation.

Le précipité mixte hydroxyde-matière organique est séché, broyé, et fait l'objet d'une datation au ^{14}C . Nous avons convenu de l'appeler "gel de l'hydrolysate".

Les résidus d'hydrolyse acide ont été datés après détermination de leur teneur en carbone et azote organiques.

III.4. Méthodes d'analyses

* Dosage du carbone organique : pour les échantillons liquides (extrait acide, alcalino-soluble, acides fulviques, hydrolysate et surnageant d'hydrolysate), on a utilisé l'Analyseur TCM Carlo Erba. Pour les échantillons solides, on a utilisé le Carmhograph 12 Wösthoff.

* Dosage de l'azote organique : Pour le dosage de l'azote dans les fractions solides et liquides, on a utilisé la méthode Kjeldahl.

* Dosage des différentes formes d'azote : Deux types de dosage de l'azote ont été effectués dans l'hydrolysate : dosage de l'azote ammoniacal et de l'azote α -aminé.

- Pour le dosage de l'azote ammoniacal, on a réalisé une distillation en milieu tamponné (borate, pH 8.8) selon la méthode de STEVENSON et al. (1967).

- L'azote α -aminé est dosé par la méthode à la fluorescamine (UDEN-FRIED et al., 1972), et par la méthode de MOOR et STEIN (1954), à la ninhydrine.

* Dosage des sucres : Les sucres sont déterminés par la méthode de DUBOIS et al. (1956) sur l'hydrolysate et le surnageant.

* Etablissement des bilans du carbone et de l'azote : Pour établir les bilans, nous avons noté les poids exacts des fractions solides (séchées à 45°C à l'étuve) et les volumes des fractions liquides, sur lesquels ont porté les analyses du carbone et de l'azote.

Méthodes isotopiques

* Les datations par le ^{14}C ont été faites selon la méthode décrite dans la deuxième partie de ce mémoire. L'erreur sur l'âge est l'erreur statistique standard qui correspond à 1σ

L'activité spécifique de certaines fractions n'a pas été obtenue par l'analyse, mais par le calcul. C'est le cas de l'extrait acido-soluble, des acides fulviques de l'hydrolysât et du surnageant de l'hydrolysât.

Le principe du calcul est le suivant : considérons un ensemble dont le contenu en carbone et l'activité sont connus et respectivement C_e et δ_e . Si cet ensemble est composé de n compartiments, il suffit de connaître le contenu en carbone de chacun d'eux et l'activité de $n - 1$ compartiments pour calculer l'activité du compartiment inconnu.

Soit un exemple avec quatre compartiments : on connaît C_1, C_2, C_3, C_4 , dont la somme est égale à C_e , et l'on connaît les activités $\delta_1, \delta_2, \delta_3$. Pour calculer δ_4 , on applique la formule :

$$\delta_4 = \frac{C_e \delta_e - (C_1 \delta_1 + C_2 \delta_2 + C_3 \delta_3)}{C_4} \quad (1)$$

On peut utiliser indifféremment les taux d'activité ou les valeurs " δ ". On appelle "taux d'activité", ou plus simplement "activité", la grandeur

$$A = \frac{A_e}{A_o}$$

où A_e est l'activité spécifique ^{14}C de l'échantillon (coup/mn/g de C), et A_o l'activité spécifique du standard. Cette grandeur est supérieure, égale ou inférieure à 1.

Les valeurs $\delta^{14}\text{C}$ sont calculées classiquement selon la formule :

$$\delta^{14}\text{C} = \left(\frac{A_e}{A_o} - 1 \right) \times 1000 \quad (2)$$

Cette grandeur est tantôt négative, et permet de calculer un âge, tantôt positive lorsque l'échantillon incorpore une quantité de ^{14}C provenant de substances jeunes "contaminées" par le ^{14}C des bombes atomiques.

* Les isotopes stables du carbone

La composition isotopique du carbone organique des sols et des fractions a pu être déterminée au Laboratoire de Biogéochimie des Isotopes Stables de l'Université Pierre et Marie Curie à Paris, grâce à l'obligeance de M. MARIOTTI.

La composition isotopique est déterminée à l'aide d'un spectromètre de masse muni d'un double collecteur, à partir du CO₂ provenant de la combustion sous oxygène du carbone des matières organiques des échantillons.

Les résultats sont donnés par référence à un standard qui est de la calcite d'une Belemnite du Crétacé de la formation Peedee de la Caroline du Sud (PDB). Les rapports ¹³C/¹²C sont conventionnellement établis en termes de valeurs "δ" :

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{R \text{ éch.}}{R \text{ stand.}} - 1 \right) \times 1\,000 \quad (3)$$

$$\text{où } R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}$$

La quasi totalité des matières organiques étant, par rapport au standard, appauvrie en isotopes lourds, a une valeur δ¹³C négative.

IV.- RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Activités des matières organiques globales du sol

Les teneurs en carbone organique et l'activité des matières organiques des divers horizons des deux sols sont présentées dans le tableau VII.

Tableau VII.- Teneurs en carbone, activité δ¹⁴C et δ¹³C des matières organiques

Profil	Prof. (cm)	Horizon	Référence	C org. %	A _e /A ₀	Age (ans B.P.)	δ ¹⁴ C ‰	δ ¹³ C ‰
Illhausern 7 (sous prairie)	0-20	A ₁	NY 1 044	6.2	1.0950		+ 95.0	- 27.7
	20-30	G _p	NY 1 045	4.1	0.9992		- 0.8	- 28.0
	30-45	Tourbe noire	NY 1 122	17.8	0.7683	2 115 ± 70	- 231.7	- 27.9
	60-64	Tourbe blonde	NY 1 023	22.4	0.7389	2 430 ± 60	- 261.1	- 27.9
	90-95	Tourbe blonde	NY 1 025	14.7	0.6915	2 965 ± 85	- 308.5	- 28.4
Illhausern 2 cultivé	0-20	A _p	NY 1 046	5.1	0.9712	235 ± 60	- 28.8	- 26.8
	20-30	G _p	NY 1 047	4.7	0.8332	1 465 ± 75	- 166.8	- 27.8
	30-50	Tourbe noire	NY 1 021	16.9	0.7075	2 780 ± 85	- 292.5	- 28.0
	65-75	Tourbe blonde	NY 1 026	11.0	0.5720	4 490 ± 130	- 428.0	- 27.9

1.- Comparaison des activités des horizons A₁

L'hydromull du sol sous culture (Illhausern 2) a une teneur en matière organique inférieure à celle de l'hydromull du sol sous prairie. La différence des teneurs, qui est de 1,1 %, peut-elle recevoir une explication logique qui puisse s'appuyer sur l'hypothèse d'une parfaite identité des deux sols ?

Considérons que les deux hydromull des deux sols étaient, avant la mise en culture du sol d'Illhaeusern 2, en tous points comparables. Cela implique qu'ils avaient même teneur et même stock en matière organique. Le fait qu'après 16 années de culture on observe une teneur moindre du carbone organique dans l'horizon A_p suggère soit une disparition brutale par minéralisation d'une grande partie du carbone organique initial, soit un ralentissement des apports survenant pendant la culture.

Si l'on considère les activités ^{14}C et les âges apparents qui leur sont associés (Tableau VII), on constate que les horizons A_p et G_r du sol cultivé sont plus vieux. Il faut concilier le vieillissement des matières organiques et la décroissance du stock.

Comme première hypothèse, on peut considérer que dans les premières années du travail du sol, en 1968 et 1969 par exemple, la minéralisation s'est trouvée être brutalement stimulée. Cette stimulation se serait exercée en priorité aux dépens des substances jeunes. Ce processus n'est sans doute pas suffisant pour expliquer à lui seul la différence d'âge que l'on observe actuellement.

On peut admettre comme seconde hypothèse, qu'une diminution des apports annuels dans le sol cultivé peut causer un vieillissement des matières organiques, même si le sol cultivé et le sol de la prairie ont même vitesse de minéralisation. Cette hypothèse est concevable, car MONNIER (1965) a bien montré que les apports annuels d'une culture sont inférieurs ou égaux à ceux de la prairie (5 t/ha/an pour le maïs et 5 à 6 t/ha/an en prairie).

Il est possible de schématiser cette dernière hypothèse en considérant que les matières organiques labiles des sols ont une distribution des âges de type exponentielle. Dans ce cas, on rappelle (BALESDENT, 1982) que le temps de turnover est une valeur peu élevée (quelques dizaines d'années) et que la vitesse de minéralisation est l'inverse du temps de turnover. La Figure 19 compare ce que sont les distributions des âges en fonction d'une différence d'apports annuels ($q_0 > q_1$) pour une même vitesse de minéralisation, dans un système considéré à l'équilibre. On voit que si l'on se situe à un temps d'observation inférieur au temps de turnover ($T < I$), il manque dans le système une certaine quantité de matières organiques jeunes. Celles qui font défaut sont présentes en grisé sur la figure 19. Cela impose, en contrepartie, un vieillissement des matières organiques. Par ailleurs, si les apports chutent considérablement et si la vitesse de minéralisation augmente (temps de turnover plus court), le système vieillit encore plus.

Les considérations que nous venons de faire n'indiquent que des tendances. En effet, il est tout à fait illusoire de considérer que les deux sols étudiés sont les "mêmes". Le sol est, par excellence, un milieu hétérogène, de sorte que l'on ne peut absolument pas garantir que l'humus du sol cultivé est l'exacte image de l'humus du sol sous prairie, à la nuance près d'un stock organique différent.

2.- Différence d'activité entre les horizons G_r et A_1 ou A_p . Hypothèse du mélange de deux pools de stabilité différente

BALESDENT (1982) a montré que dans des sols soumis à une forte activité de la mésofaune, on pouvait considérer l'hypothèse d'une matière organique résultant d'un mélange d'une matière organique vieille et d'une autre plus jeune. Ainsi, par exemple, pour l'hydromull du sol cultivé nous avons calculé ce que serait l'activité du pool des matières organiques jeunes, dont la quantité représente la différence des teneurs en carbone entre l'horizon A_1 et G_r sous-jacent. Le pool "stable" serait dans ce cas représenté par une matière organique dont l'activité serait celle de l'horizon G_r . On a appliqué une formule dérivée de la formule 1 (page 56).

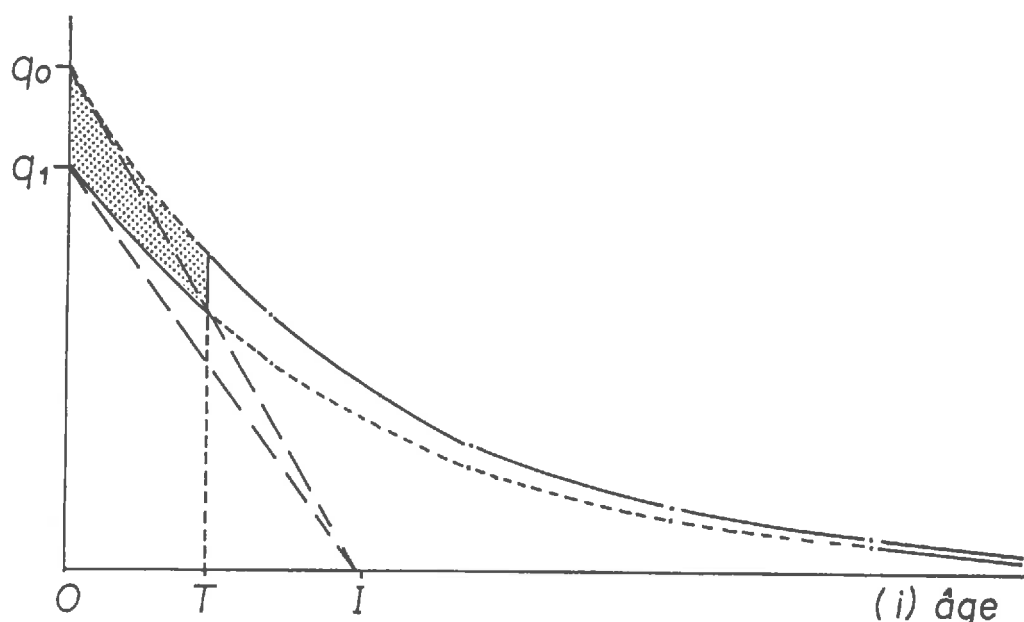


Figure 19.- Distribution des âges pour un même temps de turnover (I) en fonction d'une diminution des apports. Les substances jeunes correspondant à la zone en grisé font défaut dans le système quand les apports diminuent (*)

Comme l'indique le tableau VIII, l'activité $\delta^{14}\text{C}$ du carbone "jeune" du sol sous prairie est tout à fait compatible avec l'hypothèse du mélange de deux pools de carbone organique de stabilités différentes. Comme nous aurons l'occasion de le présenter dans le Chapitre IV, cette valeur $\delta^{14}\text{C} = + 278$ n'est pas très éloignée de celle que l'on mesure à partir du CO_2 produit par la minéralisation des matières organiques.

Tableau VIII.- Evaluation de l'activité ^{14}C des substances organiques jeunes des horizons superficiels, selon l'hypothèse du mélange de deux pools de matières organiques de stabilité différente.

SOLS	Hor.	Prof. (cm)	Teneur en carbone %	$\delta^{14}\text{C}$ (‰)	$\delta^{14}\text{C}$ du carbone restant $= \frac{C_1\delta_1 - C_2\delta_2}{C_1 - C_2}$
Illhaeusern 7 sous prairie	A ₁	0-20	C ₁ = 6.2	$\delta_1 = + 95.0$	+ 278
	G _r	20-30	C ₂ = 4.1	$\delta_2 = - 0.8$	
Illhaeusern 2 sous culture	A _p	0-20	C ₁ = 5.1	$\delta_1 = - 28.8$	+ 1 592
	G _r	20-30	C ₂ = 4.7	$\delta_2 = - 166.8$	

Ainsi, on peut considérer que l'horizon A₁ posséderait 67 % de matières organiques (4.1:6.2) dont l'activité $\delta^{14}\text{C}$ serait de - 0.8 ‰, et 33 % d'activité $\delta^{14}\text{C}$ égale à + 278 ‰.

(*) Remarque importante : Dans les sols en équilibre, la courbe de la densité de distribution des âges des entités organiques est la même que celle qui règle le devenir d'un apport annuel.

Pour le sol sous culture, l'activité du pool jeune est une valeur tout à fait aberrante. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer. Par le labour, il y a eu mélange entre les horizons G_r et A_p , de sorte que la différence de teneurs en carbone (C_1 - C_2 du tableau VIII) des deux horizons est faible. Cette faible différence des teneurs en carbone peut aussi se justifier par une minéralisation plus importante dans l'horizon A_p que dans l'horizon G_r . Par le labour, il pourrait aussi y avoir eu mélange entre le sommet de la tourbe et l'horizon G_r , de sorte que ce dernier possède une faible activité.

IV.2. Fractionnement des matières organiques des hydromull

1.- Bilan du fractionnement du carbone organique

Le tableau IX donne les valeurs obtenues pour chaque fraction identifiée ou isolée des horizons A_1 ou A_p du sol sous prairie et du sol cultivé. Nous y avons reporté les quantités de carbone de chaque fraction, exprimées en pour cent du sol, de sorte que leur somme équivaut à la teneur en carbone de l'horizon. Un second type d'expression des résultats figure sur le tableau IX, où l'on a reporté les pourcentages du carbone du sol, distribués dans chaque fraction.

Tableau IX.- Bilan de fractionnement du carbone organique.

Illhausern 7 (sol sous prairie)	Carbone organique (g pour 100 g de sol)	Carbone organique (% du carbone total du sol)
Débris végétaux	0.12	2.0
Composés acido-solubles	0.26	4.1
Acides fulviques	0.82	13.1
Acides humiques	0.94	15.0
H.T.F. { Hydrolysats	1.12 { 0.82	17.9 { 13.1 (73.2%)
{ Résidu		
H.F. { Hydrolysats	2.39 { 1.65	38.1 { 26.3 (68.9%)
{ Résidu		
H.G.	0.60	9.5
	6.25	
Illhausern 2 (sol cultivé)		
Débris végétaux	0.01	0.2
Composés acido-solubles	0.18	3.7
Acides fulviques	0.32	6.3
Acides humiques	1.23	24.2
H.T.F. { Hydrolysats	1.06 { 0.60	21.1 { 12.0 (56.9%)
{ Résidu		
H.F. { Hydrolysats	1.73 { 1.20	34.2 { 23.7 (69.3%)
{ Résidu		
H.G.	0.52	10.8
	5.05	

Ces résultats appellent un premier commentaire concernant le bouclage des analyses. En ce qui concerne l'hydromull de la prairie, la somme de toutes les fractions bouclait à 84 % ; elle a été ramenée à 100 % en affectant chaque fraction d'un coefficient multiplicateur. Pour l'hydromull du sol cultivé, le bouclage était plus convenable (103 %) ; là aussi, nous avons corrigé chaque fraction pour aboutir à 100 %.

Le taux d'extraction des substances humiques, c'est-à-dire la somme des pourcentages de carbone affectés aux extraits acides et aux acides fulviques et humiques, est tout à fait comparable dans les deux sols. On note, en effet, 32.2 % du carbone extrait dans l'humus sous prairie et 34.2 % dans celui de l'horizon A_p. Ces taux d'extraction des matières organiques de sols calciques se situent dans une moyenne convenable par rapport à certains résultats connus dans d'autres travaux. BALESSENT (1982) observe des taux de 30 % sur un sol calcique humifère et de 40 % sur un sol brun lessivé du Jura. Par ailleurs, il est rare que le taux d'extraction des matières organiques de sols à texture argileuse excède 30 % (NGUYEN KHA, 1973).

Le rapport du carbone des acides fulviques sur celui des acides humiques (AF/AH) marque une différence entre les deux humus. Très voisin de 1 (AF/AH = 0.87) pour l'humus de prairie, il est à l'avantage des acides humiques (AF/AH = 0.26) dans l'horizon A_p.

Quatre fractions composent le carbone insoluble :

(1) Des débris végétaux ont été isolés dans les deux humus et ont logiquement des teneurs élevées en C (Tableau X). Ces débris sont considérablement plus abondants dans le sol sous prairie, où ils représentent 2 % du carbone du sol.

Tableau X.- Teneurs en carbone des fractions des humines et de leurs résidus d'hydrolyse acide. Les C/N correspondants sont présentés entre parenthèses.

	H.T.F. (%)	Résidus d'hydrolyse H.T.F. (%)	H.F. (%)	Résidus d'hydrolyse H.F. (%)	H.G. (%)	Débris végétaux (%)
Illhausern 7 sous prairie	5.0 (10.7)	3.0 (35.7)	2.9 (15.7)	1.4 (42.5)	5.5 (16.6)	29.8 (19.6)
Illhausern 2 sol cultivé	5.8 (8.7)	4.8 (26.1)	3.4 (8.9)	1.6 (14.6)	3.1 (10.0)	24.4 (17.4)

(2) L'humine très fine (H.T.F.) des deux sols correspond à une fraction dont les minéraux sont exclusivement constitués de smectites. Elles ont une couleur noire, qui tranche de façon nette sur la couleur grise de l'humine fine (H.F.). Leur teneur en carbone est élevée (5 % pour l'humus sous prairie, 5.8 % dans celui du sol cultivé : Tableau X).

La part prise par le carbone de l'humine très fine dans le sol sous prairie n'est pas dans l'absolu très différente de celle prise dans le sol cultivé. Elle n'en diffère que par sa contribution relative, puisque le tableau IX nous montre qu'il y a relativement plus de carbone dans la fraction d'humine très fine du sol cultivé (21.1 % du carbone du sol) que dans le sol sous prairie (17.9 %).

De toutes les fractions de l'humine, l'humine très fine s'avère être la plus riche en azote (Tableau X). C'est dans ces fractions que se trouve normalement une grande part de l'azote protéique (JOCTEUR MONROZIER et ANDREUX, 1981 ; JOCTEUR MONROZIER, 1984).

(3) L'humine fine (H.F.), qui, rappelons-le, comporte des particules de taille inférieure à 5 μm , possède du quartz, des smectites, de la chlorite et des interstratifiés illite-chlorite comme minéraux argileux.

Les fractions de l'humine fine des deux sols sont modérément riches en carbone (Tableau X). Mais elles représentent pondéralement une très grande quantité de matière de sorte que c'est dans cette fraction que l'on trouve la plus grosse proportion du carbone du sol (plus du tiers).

(4) L'humine grossière (H.G.) représente, dans les deux horizons, environ 10 % du carbone du sol. C'est une humine dont la teneur en matière organique (Tableau X) n'est pas négligeable puisqu'elle est du même ordre de grandeur (sol cultivé) ou même dépasse les teneurs que l'on note dans l'humine fine.

Les valeurs du C/N (Tableau X), relativement élevées dans l'humus sous prairie, suggèrent une forte participation de débris végétaux, dont la taille est inférieure à 50 μm . Une preuve de la contribution de fins débris végétaux est donnée dans le sol cultivé par les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ des matières organiques.

Le tableau XI rassemble ces valeurs. Dans le sol cultivé, l'influence du maïs traité en monoculture continue depuis 1973 se marque par la valeur de - 17.2 % observée dans les débris végétaux du sol cultivé. Cette valeur, plus proche de celle reconnue au Maïs ($\delta^{13}\text{C} = - 12 \%$, BENDER, 1971, BALESSENT et al. 1986) que des plantes en C_3 , comme les graminées de la prairie, indique une contribution que l'on peut évaluer à 55 % de débris originaires du maïs, ainsi donc âgés de moins de 11 ans. Dans l'humine grossière, le $\delta^{13}\text{C} = - 25.7 \%$, significativement différent de celui de l'humine fine et très fine, témoigne aussi d'une contribution certaine des débris végétaux.

Tableau XI. - Valeurs $\delta^{13}\text{C}$ des matières organiques des hydromull, des fractions de l'humine et des débris végétaux (en ‰)

	Horizon A ₁ ou A _p	Humine très fine	Humine fine	Humine grossière	Débris végétaux
Illhausern 7 sous prairie	- 27.7	- 27.5	- 28.7	- 28.7	- 28.8
Illhausern 2 cultivé	- 26.8	- 27.4	- 27.8	- 25.7	- 17.2

2.- Bilan du fractionnement de l'azote organique

Le bilan est présenté sur le tableau XII et appelle trois commentaires principaux :

(1) L'azote organique apparaît plus aisément soluble dans l'hydromull du sol sous prairie que dans celui du sol cultivé. En effet, dans le premier humus, 43.4 % de l'azote total sont extraits soit par l'acide soit par la soude. L'extraction n'est par contre que de 30.5 % dans le sol cultivé.

Tableau XII.- Bilan de fractionnement de l'azote organique et C/N (chiffres entre parenthèses) des fractions.

Illhaeusern 7 (sol sous prairie)	Azote organique (mg pour 100 g de sol)	Azote organique (% de l'azote total du sol)
Débris végétaux	6.1 (19.6)	1.2
Composés acido-solubles	10.8 (24.0)	2.1
Acides fulviques	101.7 (8.0)	19.4
Acides humiques	115.3 (8.1)	21.9
H.T.F. { Hydrolysats	104.0 { 95.6 (8.5)	19.8 { 18.2 (91.2 %)
{ Résidu		
H.F. { Hydrolysats	151.6 { 134.2 (12.3)	28.8 { 25.5 (88.5 %)
{ Résidu		
H.G.	36.0 (16.6)	6.8
	525.5	
Illhaeusern 2 (sol cultivé)		
Débris végétaux	0.7 (17.4)	0.1
Composés acido-solubles	10.3 (17.5)	1.9
Acides fulviques	43.5 (7.3)	8.2
Acides humiques	108.2 (11.4)	20.4
H.T.F. { Hydrolysats	121.5 { 103.9 (5.8)	22.9 { 19.6 (85.5 %)
{ Résidu		
H.F. { Hydrolysats	193.7 { 157.5 (7.6)	36.5 { 29.7 (81.3 %)
{ Résidu		
H.G.	52.2 (10.0)	9.8
	530.1	

(2) En contrepartie, les diverses humines du sol cultivé disposent d'une forte fraction d'azote organique. Cela se traduit par des valeurs du C/N bien plus basses dans les humines du sol cultivé que dans celles du sol sous prairie. Il faut sans doute y voir un effet de la fertilisation azotée du sol cultivé. Il est probable que sous cet effet on assiste à une réorganisation microbienne de l'azote, qui profite surtout aux humines fines et très fines (JOCTEUR MONROZIER et ANDREUX, 1981 ; MCGILL et PAUL, 1976).

(3) L'hydrolyse des humines sépare un hydrolysats riche en azote et un résidu qui en est appauvri. C'est un résultat désormais classique (MARTELL et PAUL, 1974), et nous verrons ultérieurement quelle est la distribution des formes de l'azote soluble.

IV.3. Activités ^{14}C des fractions

Les valeurs de l'activité (A_e/A_0) de chaque fraction sont reportées sur le tableau XIII.

Tableau XIII.- Activités ^{14}C des fractions (* = obtenue par calcul).

Illhaeusern 7 (sol sous prairie)		
Sol	1.095 ± 0.0078	
Débris végétaux	1.260 ± 0.0090	
Composés acido-solubles	1.341 *	
Acides fulviques		
Acides humiques	1.056 ± 0.0068	
H.T.F. { Hydrolysats { Résidu	1.025 ± 0.0077	{ 1.0601* { 0.9302 ± 0.014
H.F. { Hydrolysats { Résidu	1.023 ± 0.0062	{ 1.0604* { 0.8978 ± 0.0071
H.G.	1.126 ± 0.0070	

Illhaeusern 2 (sol cultivé)		
Sol	0.9712 ± 0.0074	
Débris végétaux	1.2857*	
Composés acido-solubles		
Acides fulviques		
Acides humiques	0.8969 ± 0.0067	
H.T.F. { Hydrolysats { Résidu	0.8961 ± 0.0056	{ 0.9460* { 0.8301 ± 0.073
H.F. { Hydrolysats { Résidu	0.9433 ± 0.0066	{ 0.9727* { 0.8770 ± 0.0067
H.G.	1.0262 ± 0.0068	

La première observation que l'on puisse faire est de constater que les fractions n'ont pas la même activité ^{14}C et donc pas le même âge apparent. La matière organique du sol apparaît bien comme formée d'entités d'âge différent.

En ce qui concerne le sol sous prairie, les fractions les plus actives, et donc les plus jeunes, ont deux origines assez clairement distinctes. Les composés organiques assimilés à des petites molécules tels que les acides fulviques et les molécules solubilisées dans l'acide chlorhydrique ont la plus forte activité (1.3417 ou $\delta^{14}\text{C} = 341.7 \text{ ‰}$).

Cette valeur est relativement élevée en elle-même et correspond à ce qu'était l'activité du CO₂ atmosphérique au cours de l'année 1979. Il est probable que cette donnée, obtenue par le calcul, est assez fortement entachée d'une erreur qu'il nous est difficile d'apprécier.

Les débris végétaux isolés et datés constituent la seconde fraction possédant une forte activité. Il faut lui associer l'humine grossière (1.1266 ou $\delta^{14}\text{C} = 126.6 \text{ ‰}$), dont l'activité relativement élevée témoigne, comme nous l'avons déjà souligné, de la présence de fractions végétales héritées.

Les humines très fines et fines sont les fractions les plus vieilles. Elles-mêmes sont constituées de molécules d'âges très différents, que l'hydrolyse acide permet de mettre en évidence. Comme cela est maintenant bien connu (CAMPBELL *et al.*, 1967 ; MARTEL et PAUL, 1974 ; HETIER *et al.*, 1983), la fraction de carbone comprise dans les résidus de l'hydrolyse compte parmi les fractions les plus vieilles et les plus stables du sol. Les âges apparents ^{14}C des résidus de l'hydrolyse de l'humine très fine et fine sont respectivement de 580 ± 120 et 865 ± 65 ans B.P.

En contrepartie, les molécules des hydrolysats comportent des fractions très actives et très jeunes.

Les mêmes tendances s'observent dans le sol cultivé. L'activité calculée de l'ensemble des débris végétaux, des composés acido-solubles et des acides fulviques livre une valeur élevée (1.2857, soit $\delta^{14}\text{C} = 285.7 \text{ ‰}$), compatible et cohérente avec celles que nous trouvons dans les fractions analogues du sol sous prairie. Là aussi, l'humine grossière, dont nous avons vu, par son $\delta^{13}\text{C}$ (Tableau XI), qu'elle incorporait des formes récentes du carbone hérité, et les hydrolysats des humines, notamment de l'humine fine, comporte des substances organiques relativement jeunes. Quant aux résidus d'hydrolyse, ils concentrent, notamment dans la fraction d'humine très fine, les fractions les plus âgées. En effet, les âges apparents des résidus d'hydrolyse des humines très fines et fines sont respectivement égaux à $1\ 495 \pm 70$ et $1\ 055 \pm 60$ ans B.P. On notera que l'activité et l'âge du résidu de l'hydrolyse de l'humine très fine ($\delta^{14}\text{C} = -169.9 \text{ ‰}$ et $1\ 495 \pm 70$ ans B.P.) s'apparentent assez fortement avec l'activité et l'âge apparent de l'horizon G_r sous-jacent à l'horizon A_p. ($\delta^{14}\text{C} = -166.7 \text{ ‰}$ et $1\ 465 \pm 75$ ans B.P. ; cf. Tableau IV). On est toutefois assez loin de l'âge du sommet de la tourbe ($2\ 780 \pm 85$ ans B.P. ; cf. Tab. IV).

IV.4. Effet du retournement de la prairie : Evolution des compartiments organiques

Nous avons observé que l'activité ^{14}C , et par conséquent l'âge moyen, atteint, dans presque tous les compartiments, des valeurs plus élevées dans le sol sous prairie que dans le sol cultivé. Cela est vraisemblablement dû à deux facteurs. Il y aurait eu, dès les premières années de labour de la prairie, une minéralisation et disparition de substances jeunes. D'autre part, il est probable que les apports annuels se font à taux beaucoup plus élevés sous la prairie que dans la parcelle cultivée.

Pour mettre en évidence les changements qui se sont produits au cours du travail du sol, il nous faut comparer les parts de l'activité du sol qui sont attribuables à chaque compartiment. La part de l'activité d'un compartiment est établie par la relation suivante :

$$P_n = \frac{C_n \times A_n}{A_{SO1}}$$

C_n est le pourcentage du carbone du sol caractérisant le compartiment "n". Il s'agit des valeurs figurant sur la colonne de droite du Tab. IX.

A_n est l'activité ^{14}C du compartiment correspondant. Les valeurs sont données sur la Tableau XIII.

A_{SO1} est l'activité ^{14}C des matières organiques de l'hydromull de prairie (1.0950 ± 0.0078) ou de l'horizon A_p du sol cultivé (0.9712 ± 0.0074) (cf. Tableau XIII).

La somme des activités partielles ($\sum C_n \times A_n$) de tous les compartiments est égale à l'activité du sol (A_{SO1}). De cette façon, nous allons pouvoir comparer deux à deux les pourcentages d'activité du sol attribuables à des compartiments homologues. La Figure 20 permet de visualiser trois tendances :

1. Une fraction est restée en proportion sensiblement égale dans les deux sols. Il s'agit du résidu de l'hydrolyse de l'humine fine (Rés. Hyd. H.F.). Ces résidus de l'hydrolyse acide de l'humine fine constituent un compartiment fait de substances vieilles et stables, peu sensibles aux modes d'utilisation du sol. Ces compartiments ont à peu près la même activité (0.8978 dans le sol sous prairie et 0.8770 dans le sol cultivé ; cf. Tableau XIII) et des pourcentages relatifs de carbone presque voisins (Tableau IX). On peut admettre que le retournement des prairies et la culture qui a suivi ont eu peu d'effets sur ce compartiment.

2. Trois fractions ont vu leur activité relative décroître après la mise en culture. Il s'agit principalement de l'ensemble des matières organiques acido-solubles, des acides fulviques et de celles composant les débris végétaux (C.A.S. + A.F. + D.V.) et, secondairement, des deux fractions composées des hydrolysats des humines très fines et fines. Ces trois compartiments comportent les matières organiques dont l'activité est la plus élevée, et par conséquent, dont le temps de vie est le plus court. En provoquant une rupture d'équilibre de l'agrosystème prairial, le labour semble avoir immédiatement occasionné la disparition de matières organiques au temps de turnover court. A cela s'ajoute un autre phénomène qui provient du fait que les restitutions des cultures sont vraisemblablement de bien moindre importance que celle de la prairie. Il en est résulté des apports annuels plus faibles et, en fin de compte, une diminution des teneurs et stocks de matières organiques du sol cultivé.

3. Trois compartiments de la matière organique du sol voient, en contrepartie, leur contribution augmenter après culture. Il s'agit surtout des acides humiques et, secondairement, du résidu de l'hydrolyse de l'humine très fine et de l'humine grossière (H.G.).

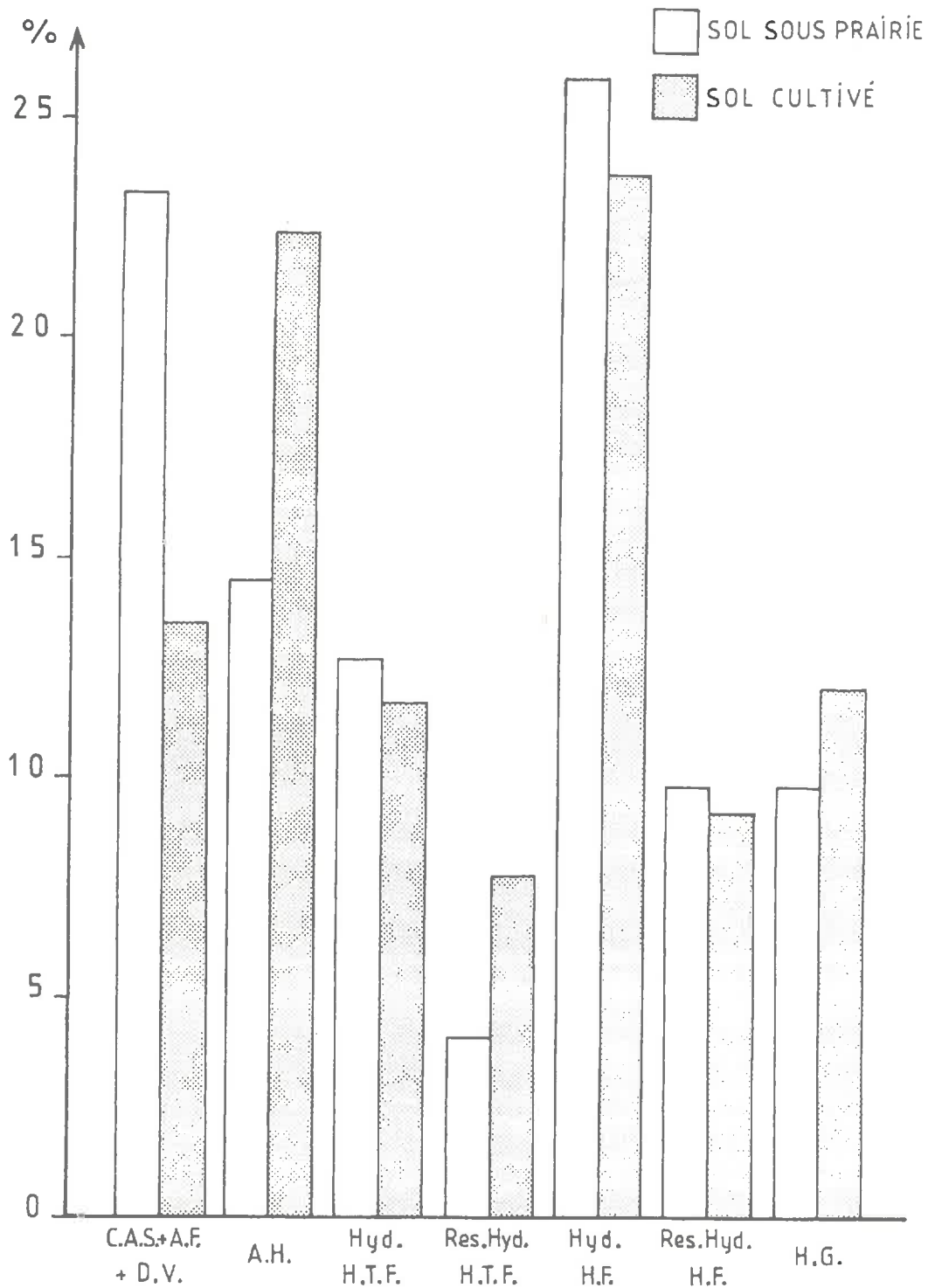


Figure 20.- Activité partielle de chaque compartiment en pour cent de l'activité du sol.
 C.A.S. + A.F. + D.V. = Composés acido-solubles + Acides fulviques + Débris végétaux.
 A.H. = acides humiques - Hyd. H.T.F. = Hydrolysate de l'humine très fine - Rés. Hyd. H.T.F. = Résidu de l'hydrolyse de l'humine très fine - H.F. = Humine fine - H.G. = Humine grossière

Dans le sol cultivé, on assiste pourtant à un vieillissement des acides humiques, qui est amplement compensé par la part plus importante qu'ils prennent dans le sol (de 15 % sous prairie, à 24 % du C du sol cultivé : cf. Tableau IX). Tout indique qu'il s'agit d'un compartiment qui a dû minéraliser une partie des substances jeunes qu'il comportait, et qui n'a vu son importance augmenter qu'en raison de la disparition des substances labiles des autres compartiments.

Un raisonnement analogue peut être fait pour le compartiment du résidu de l'hydrolyse de l'humine très fine. L'importance relative des matières organiques qui composent ce compartiment croît dans le sol cultivé. Toutefois, contrairement à ce que l'on décèle dans les acides humiques, ces matières organiques, vieilles et stables, n'ont certainement pas pu vieillir plus.

La proportion de l'activité du sol attribuable à l'humine grossière (H.G.) s'élève dans le sol cultivé, surtout en raison de sa contribution plus élevée dans le sol (10.8 % du carbone du sol cultivé au lieu de 9.5 % sous prairie : cf. Tableau IX).

IV.5. Hydrolyse des humines

Dans tous les cas, qu'il s'agisse des humines très fines ou fines, l'hydrolyse parvient à séparer plus de molécules carbonées qu'il n'en reste dans les résidus. Les taux d'extraction du carbone (Tableau XIV) vont de 56.9 à 73.2 % du carbone de l'humine. Ces taux sont légèrement supérieurs à ceux qu'observe NGUYEN KHA (1973) dans les vertisols et pélosols.

Tableau XIV.- Caractéristiques des hydrolyses acides des humines.

			Carbone		Azote		C/N
			% du C du sol	% du C de l'humine	% de l'N du sol	% de l'N de l'humine	
Illhausern 7 sous prairie	H.T.F.	Hydrolysats	13.10	73.2	18.2	91.2	8.5
		Résidu	4.80	26.8	1.6	8.8	35.7
	H.F.	Hydrolysats	26.2	68.9	25.5	88.5	12.3
		Résidu	11.90	31.1	3.3	11.5	42.5
Illhausern 2 sol cultivé	H.T.F.	Hydrolysats	12.0	56.9	19.6	85.5	5.8
		Résidu	9.1	43.1	3.3	14.5	26.1
	H.F.	Hydrolysats	23.7	69.3	29.7	81.3	7.6
		Résidu	10.5	30.7	6.8	18.7	14.6

En ce qui concerne l'azote, les taux de libération sont très supérieurs à ceux du carbone, de sorte que les extraits possèdent des rapports C/N relativement bas. Ces taux, qui varient de 81.3 à 91.2 % de l'azote de l'humine, sont conformes aux données de NGUYEN KHA (1972), obtenues sur une série d'humines de vertisols et pélosols notamment.

Comme cela devient maintenant classique, à la suite des recommandations de JANEL *et al.* (1979), et de JOCTEUR MONROZIER et ANDREUX (1981), qui préconisent l'hydrolyse par paliers, la cinétique de l'hydrolyse permet d'isoler en trois extractions d'une heure, plus de 80 % du carbone et de l'azote libérables (Figure 21).

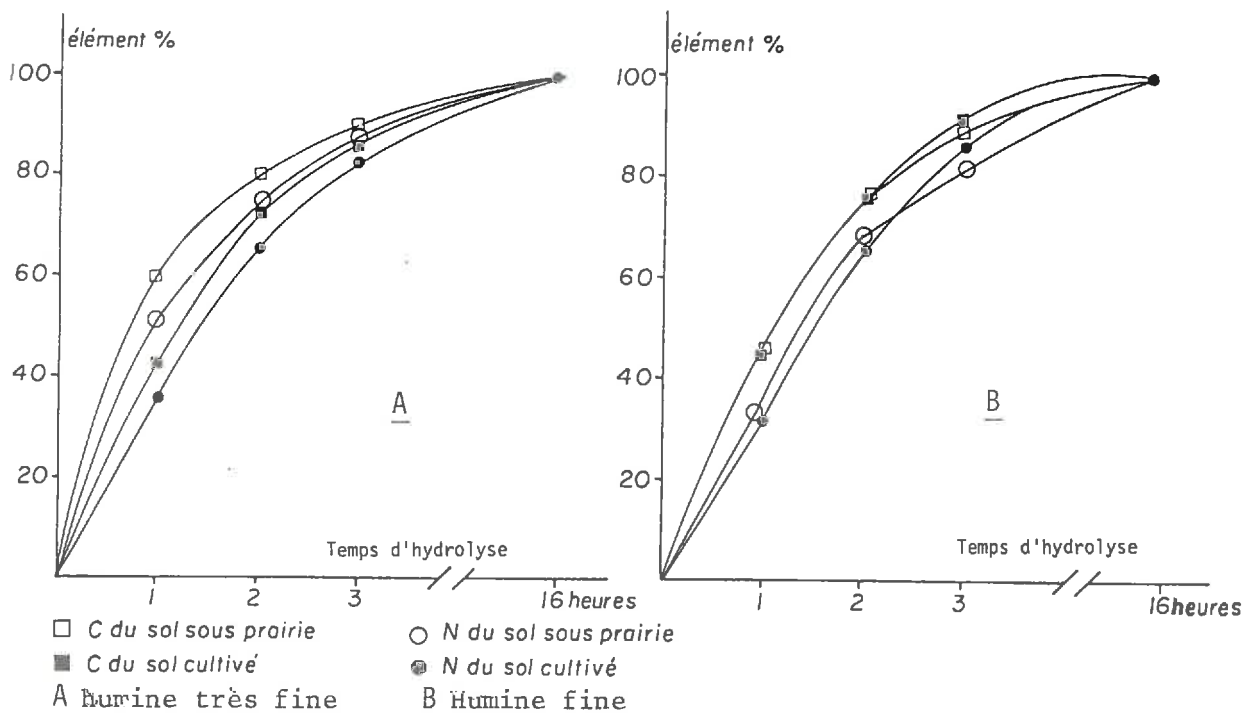


Figure 21.- Cinétique des hydrolyses par paliers.

L'analyse des formes de l'azote présentes dans l'hydrolysats nous a donné un résultat étonnant. Bien que nous ayons pris soin de re-hydrolyser par HCl 3N les hydrolysats, et en dépit de l'utilisation de deux méthodes de dosage différentes (fluorescamine et ninhydrine), nous n'avons qu'entre 3 (humine fine du sol cultivé) et 6 % de l'azote hydrolysable sous forme α -aminée (humine très fine du sol cultivé).

Ces valeurs tranchent avec celles que l'on obtient, généralement, (de l'ordre de 20 à 30 %) lorsque l'on a affaire à de l'azote très aisément hydrolysable (JOCTEUR MONROZIER et JEANSON, 1978). L'azote ammoniacal se situe autour de 25 % de l'azote hydrolysable, et l'azote non identifié, à plus de 70 %.

Comme le mentionnent les valeurs du tableau XV, les sucres sont plus abondants dans le sol sous prairie. Cela pourrait bien être dû à l'effet rhizosphériques des plantes graminéennes et herbacées exsudant des polysaccharides qui persistent dans le sol. Ces sucres se distribuent principalement avec les substances organiques précipitant dans le gel, et ne semblent pas être plus jeunes que ceux qui demeurent solubles.

Tableau XV.- Teneur en sucres et activités ^{14}C des gels et surnageants résultant de la précipitation des composés organiques par remontée du pH des hydrolysats.

		Carbone des sucres (en % du C des hydrolysats)			Activité ^{14}C		
		dans l'hydrolysate	dans le surnageant	dans le gel	Hydrolysate	Surnageant	Gel
Illhaeusern 7 sous prairie	H.T.F.	7.4	1.1	6.3	1.0601	1.0710	1.0244 \pm 0.0130
	H.F.	8.4	2.8	5.6	1.0304	1.0756	1.0858 \pm 0.0072
Illhaeusern 2 Sol cultivé	H.T.F.	6.4	1.8	4.6	0.9460	0.9198	0.9722 \pm 0.0071
	H.F.	1.7	0.9	0.8	0.9727	0.9968	0.9542 \pm 0.0053

V.- CONCLUSIONS

1. Les deux sols dont nous voulions comparer la distribution des différentes fractions organiques et l'âge moyen de ces fractions, ont des caractéristiques morphologiques et analytiques assez proches. Les humus étudiés sont des hydromull, dont l'un est en équilibre avec un écosystème prairial. L'autre s'est aussi développé sous prairie jusqu'en 1968, date à laquelle on a effectué les premiers labours et retourné la prairie. Ces deux hydromull ont même texture et sont saturés en bases.

2. L'établissement de l'état du stock humique dans les deux sols permet de saisir les tendances qui se font jour lorsque l'on a labouré et cultivé les sols consacrés à la prairie. Le retournement des prairies a provoqué une diminution des teneurs et des stocks de matières organiques. Évaluées à 6.25 % et 19.8 Kg/m² sous prairies, les teneurs et les stocks en carbone organique seraient passés, après 17 années de culture, à 5.05 % et 14.5 kg/m². Apparemment, plus du quart du carbone initial aurait disparu, principalement par minéralisation. Ces tendances sont bien connues, et l'on peut citer les travaux de WAGNER (1981), qui évalue à 50 % la perte de carbone d'un sol de prairie, après 50 ans de culture de maïs.

3. Il est certain que 17 années de culture ont provoqué le vieillissement des matières organiques actuellement présentes dans l'horizon A_p. Il y a eu sans doute disparition brutale, quasi instantanée, de matières organiques jeunes dans les tous premiers temps des premiers labours. Il est certain que le vieillissement s'explique aussi par le fait probable que les restitutions sous culture sont de moindre importance que les apports annuels de la prairie.

4. Les fractionnements de la matière organique aboutissent à de faibles taux d'extraction, de l'ordre de 30-35 %. Au plan quantitatif, l'humus sous prairie et celui du sol cultivé s'opposent par les proportions relatives que prennent trois fractions principales. On observe une plus forte abondance de molécules de petite taille (solubles dans HCl, et acides fulviques) et de débris végétaux dans le sol de prairie. A l'inverse, le sol cultivé présente une plus forte contribution relative d'acides humiques.

5. L'activité ^{14}C des fractions montre que dans les deux sols, les fractions jeunes se retrouvent dans les débris végétaux, les composés organiques et les acides fulviques. Le bilan de l'activité ^{14}C montre que la réduction de la masse d'un tel compartiment explique en partie le vieillissement. Il existe aussi une autre raison au vieillissement. Elle se rapporte aux acides humiques, qui ont perdu une partie des substances jeunes qu'ils comportaient, en même temps qu'ils prenaient une part grandissante dans le carbone total du sol cultivé.

QUATRIEME PARTIE

EXPERIENCE D'INCUBATION DES SOLS
ENRICHIS OU NON EN COMPOSTS PETROLIERS

<p style="text-align: center;">EXPERIENCE D'INCUBATION DES SOLS ENRICHIS OU NON EN COMPOSTS PETROLIERS</p>
--

I.- INTRODUCTION

Les résultats que nous présentons ont été obtenus à partir de l'âge du gaz carbonique dégagé lors de l'incubation au laboratoire de l'hydromull du sol de prairie et du sol cultivé.

Les données du chapitre précédent nous ont montré que la matière organique de chaque humus est composée d'un certain nombre de substances assemblées dans des compartiments où elles ont des activités ^{14}C et donc des âges moyens différents. Chaque compartiment minéralise ses composés organiques à des rythmes différents et lorsqu'ils sont à l'équilibre, ils se renouvellent au même rythme. Ces vitesses de minéralisation dépendent essentiellement du temps de turnover. Rappelons que la vitesse de minéralisation est l'inverse du temps de turnover.

Les travaux de BALESSENT (1982) nous ont appris que le temps de turnover pouvait être assimilé à l'âge moyen, à la seule condition que les matières organiques, du sol ou d'un compartiment, aient une distribution des âges de type exponentiel. Il a montré que si l'on considère l'ensemble des matières organiques du sol, cette condition n'était pas respectée. Cela implique que les deux notions d'âge moyen (ou du temps moyen de résidence) et de temps de turnover sont indépendantes. L'âge moyen est l'âge que prend un ensemble de substances organiques d'âges réels différents, et dont les proportions relatives sont connues. Le temps de turnover est l'âge de ce qui quitte cet ensemble. S'il s'agit de matières organiques qui disparaissent par minéralisation, le temps de turnover est donné par l'âge du CO_2 dégagé.

Par l'expérience que nous décrivons, nous allons vérifier l'hypothèse selon laquelle l'activité ^{14}C du sol dont dépend l'âge moyen est bien différente de l'activité ^{14}C du CO_2 qui reflète le temps de turnover.

Par cette expérience, on pourra aussi supposer que le CO_2 dégagé est une fraction représentative du compartiment qui "tourne". Nous proposons une interprétation basée sur un modèle "à deux compartiments", l'un supposé ancien et relativement stable, l'autre caractérisé par le temps de turnover calculé à partir du CO_2 . Ce modèle pourra être plus judicieusement appliqué dans le sol sous prairie, qui est supposé à l'équilibre, alors que le sol cultivé est en état de "déséquilibre".

Pour le sol cultivé, la composition en isotopes stables ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) du CO_2 dégagé par la minéralisation nous viendra en aide pour quantifier la part de CO_2 provenant de la minéralisation de matières organiques issues des restitutions de maïs, et donc d'âge connu.

Nous apporterons une variante à ces expériences de minéralisation, en procédant à l'incubation des hydromull du sol de prairie et du sol cultivé mis en présence de composts pétroliers. Cette expérience fait suite à la problématique développée par H. METTAUER à l'I.N.R.A. de Colmar (BOUSLAH, 1982 ; METTAUER et al., 1985, 1986), visant à inventorier le pouvoir minéralisateur des sols à l'égard de boues pétrolières susceptibles d'être épandues au champ.

II.- PREPARATION DES ECHANTILLONS

II.1. Dates des prélèvements et conditionnement

L'hydromull du sol sous prairie et l'horizon A_p du sol cultivé ont été de nouveau prélevés le 23 octobre 1985, immédiatement après la récolte du maïs du champ cultivé.

Ces échantillons, qui représentaient environ 30 kilos, ont été séchés à l'air, tamisés à maille de 2 mm et quartés.

Une fraction d'un kilo a été réservée pour la datation de la matière organique du sol global. Cela fut nécessaire par le fait que nous prélevions de nouveaux échantillons.

Huit kilos de sol sec à l'air ont servi à élaborer le mélange sol-compost pétrolier, et huit kilos environ ont été réservés pour les opérations-témoins.

II.2. Elaboration du mélange sol-compost pétrolier

Nous avons décidé de fabriquer un mélange qui corresponde au rapport pondéral de 1/30 (compost pétrolier/sol), sur la base de produits secs à 105°C. Ce rapport équivaut à un apport de 100 t/ha à 3 000 t/ha de sol, chiffre classiquement admis par les agronomes comme représentatif de la masse moyenne, sèche à 105°C, d'un horizon A_p .

A partir de l'humidité pondérale actuelle des sols et du compost pétrolier (Tableau XVI), il a été possible de déterminer les quantités de sol et composts secs à 105°C qu'il fallait mélanger pour satisfaire le rapport 1/30. De là, un calcul correctif nous a permis de connaître les masses de sol et de compost pétrolier qu'il fallait mélanger, en tenant compte de leur humidité actuelle. Ainsi, par kilo de sol sec à l'air, prélevé sous prairie, nous avons apporté 34,08 grammes de compost pétrolier. Les mélanges ont été effectués à la bétonnière par retournement.

Tableau XVI.- Données nécessaires à l'élaboration du mélange sol-compost pétrolier.

	Humidité pondérale %	Humidité équivalente %	Poids du sol sec à 105°C (g)	Compost pétrolier apporté à 1 kg de sol sec à l'air	
				Poids sec à 105°C (g)	Poids avec son humidité actuelle (g)
A ₁ sol sous prairie	7.79	52.7	922.1	30.75	34.08
A _p Sol cultivé	4.79	46.1	952.1	31.74	35.18
Compost pétrolier	9.80				

II.3. Caractéristiques des sols et des mélanges

Les teneurs en carbone et le rapport C/N des sols et des mélanges sont reportés sur le Tableau XVII.

Les teneurs en carbone organique permettent de calculer les paramètres caractéristiques des mélanges. Ainsi, par les chiffres du tableau XVII, il s'avère que la part du carbone du compost pétrolier est plus élevée dans le sol cultivé (10.29 % du C du mélange) que dans le sol sous prairie (9.52%).

Tableau XVII.- Caractéristiques des mélanges sol-compost pétrolier.

(* = valeurs obtenues par calcul ; le dosage de ces mélanges a donné : pour A₁ + compost : 63.4 ± 0.9 et pour A_p + compost : 59.1 ± 0.4).

	C org. en ‰		C org. en ‰ du mélange sec à 105°C	C/N	C du compost en % du C total	$\frac{C \text{ du compost}}{C \text{ du sol}} \times 100$
Compost pétrolier	182.6	1.26		30		
A ₁	59.0	0.7		11.4		
A ₁ + compost	63.0*		68.4	11.9	9.52	10.52
A _p	55.9	0.9		10		
A _p + compost	60.2*		63.3	11	10.29	11.48

III.- METHODES

III.1. Dispositif d'incubation

Les sols témoins et les mélanges ont été déposés dans des flacons de verre rattachés au dispositif d'incubation. Chaque flacon reçoit une quantité de sol ou de mélange correspondant à 1 kg sec à l'air. Avant d'introduire cette aliquote dans le flacon, les sols et les mélanges sont portés à la capacité au champ par ajout d'eau, apportée en quantité suffisante pour qu'ils soient à l'humidité équivalente fixée sur le tableau XVI. En appelant "tests", soit les sols témoins initiaux, soit les mélanges, nous avons disposé, pour chaque test, de 6 flacons. Ainsi, ce sont 6 kg de sols et 6 kg de mélange sec à l'air qui ont été mis en incubation. Les flacons étaient placés dans un bac à eau, maintenu à 27°C. L'incubation a duré 88 jours.

Le dispositif s'inspire de celui présenté par GUCKERT *et al.* (1968) (Figure 22). Il comporte quatre unités. Chaque unité est réservée à un test incluant les 6 flacons.

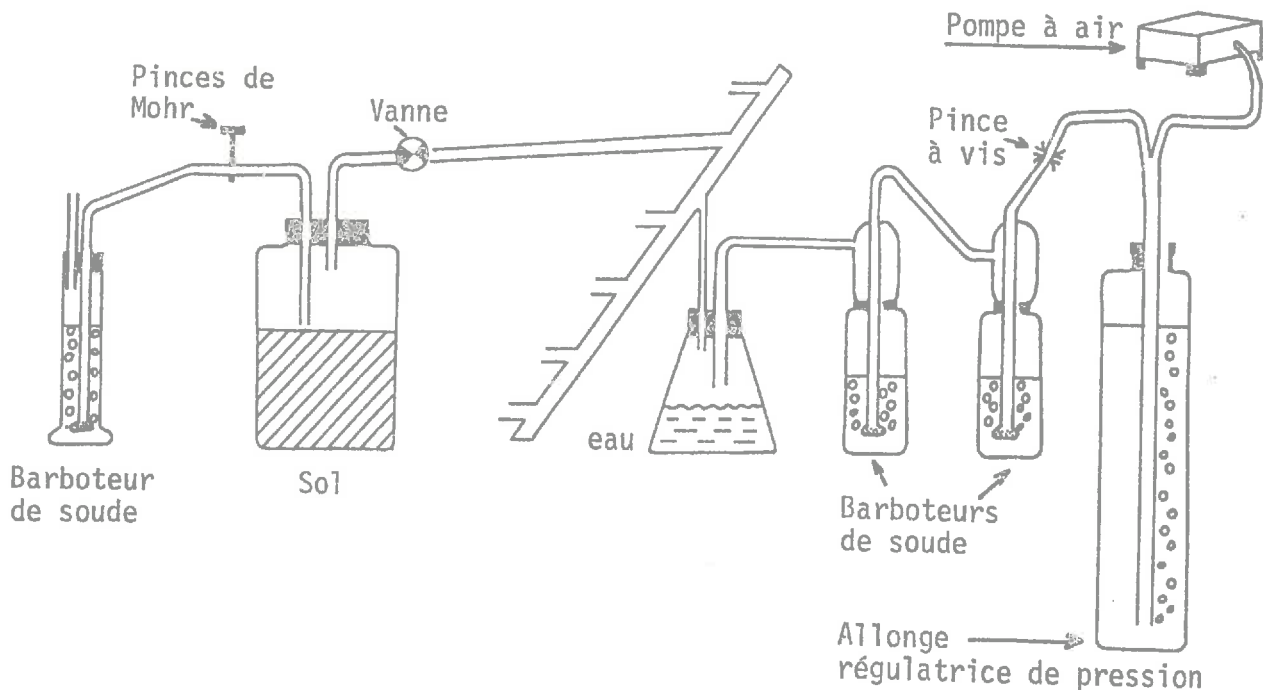


Figure 22.- Schéma du dispositif d'incubation.

Après une période connue d'incubation, l'atmosphère des flacons est renouvelée à l'aide de pompes d'aquarium de faible débit. Le débit modulable est réglé par un système de pinces et d'allonges remplies d'eau. Le flux d'air qui renouvelle l'atmosphère est débarrassé du CO_2 par barbotage dans de la soude disposée dans deux flacons-laveurs.

Le flux d'air balayant l'atmosphère des flacons est conduit dans des pièges contenant 100 ml de soude 0.5 N, dans laquelle se piège le gaz carbonique dégagé pendant la période d'incubation. Cinq millilitres sont prélevés à partir de la soude 0.5 N pour doser le CO_2 qui y est piégé, ce qui permet d'évaluer la quantité dégagée. Le reste de la soude des pièges de chaque unité est cumulé, puis on précipite le CO_3Ba par ajout d'une solution de BaCl_2 . Les précipités sont filtrés, séchés, broyés et pesés. Une aliquote de CO_3Ba est réservée pour la mesure des isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$). Les carbonates restants, correspondant au gaz carbonique dégagé pendant une période connue, sont mélangés et soumis à la datation par le ^{14}C .

III.2. Analyses et expression des résultats

Dosage du CO_2 : L'aliquote de 5 ml de NaOH 0.5 N prélevée dans les pièges à CO_2 est titrée par HCl 0.1 N après précipitation du carbonate de baryum, par ajout de 2 ml de BaCl_2 (1.25 M). La quantité de CO_2 piégée est évaluée par la différence de volume d'acide nécessaire au titrage de la soude 0.5 N initiale et de celle qui reste après carbonatation.

Les résultats seront présentés comme quantité de carbone du gaz carbonique dégagé, rapportée au carbone organique total du test. On appellera cette grandeur : taux de minéralisation globale (T.M.G.), que l'on exprimera en mg de carbone du CO_2 pour 100 g de carbone du test.

Composition en isotopes stables du carbone des carbonates :

Les carbonates sont attaqués par une solution d'acide phosphorique à 25°C. Le CO_2 est mesuré au spectromètre de masse par la technique présentée au Chapitre III.

Remarque concernant l'incidence du cycle de photosynthèse des plantes sur leur composition isotopique du carbone : La plupart des plantes des pays tempérés ont un cycle de photosynthèse dit en " C_3 ", ou cycle de Calvin, qui donne une valeur du $\delta^{13}\text{C}$ généralement comprise entre - 26 et - 28 ‰. Tous les arbres, toutes les graminées, notamment cultivées, sont dans ce cas. D'autres plantes, et spécialement des graminées tropicales comme le maïs, ont un cycle de photosynthèse en " C_4 ", ou cycle de Hatch et Slack, qui concentre l'isotope ^{13}C . Le $\delta^{13}\text{C}$ est de l'ordre de - 12 ‰ (BENDER, 1971 ; BALESSENT et al., 1986). Comme le $\delta^{13}\text{C}$ des matières organiques des sols est assez proche de celui des plantes dont elles proviennent, on voit que si l'on cultive du maïs dans un champ qui n'a jamais connu auparavant de plantes en C_4 , on marque, par le ^{13}C , la matière organique. Si la culture est faite une fois, le signal isotopique est faible, mais on a pu montrer que s'il s'agit de monoculture de maïs pratiquée chaque année, à terme le signal isotopique devient mesurable. Le $\delta^{13}\text{C}$ tend de - 26 ‰ environ, vers - 12 ‰. Par le $\delta^{13}\text{C}$, on peut

évaluer la quantité de matière organique provenant du maïs, et donc, présente depuis un temps connu, si l'on sait depuis quand on cultive le maïs de façon permanente. Ce principe a été utilisé par BALESSENT et al. (1986) pour évaluer des temps de turnover courts de matières organiques de sols cultivés.

Datation par le ^{14}C . Définition des "Grand delta" $\Delta^{14}\text{C}$:

Depuis les travaux de CRAIG (1954), on sait qu'un fractionnement sur l'isotope ^{13}C de x ‰ occasionne sur l'isotope ^{14}C un fractionnement double, soit de $2x$ ‰. Cela veut dire, par exemple, que si l'on compare, au même instant, le CO_2 atmosphérique ($\delta^{13}\text{C} = -6$ ‰), les tissus d'une plante en C_4 (maïs : $\delta^{13}\text{C} = -12$ ‰), et ceux d'une plante en C_3 (blé : $\delta^{13}\text{C} = -26$ ‰), le blé sera appauvri en ^{14}C de 40 ‰ par rapport à l'atmosphère, et le maïs de 12 ‰.

Pour comparer les activités ^{14}C de systèmes différents (CO_2 † photosynthèse), il nous faut normaliser les résultats par rapport au $\delta^{13}\text{C}$. Pour cela, on utilise la formule de BROECKER et OLSON (1961) :

$$\Delta^{14}\text{C} = \delta^{14}\text{C} - (2\delta^{13}\text{C} + 50) \left(1 + \frac{\delta^{13}\text{C}}{1000}\right)$$

pour laquelle $\delta^{14}\text{C}$ et $\delta^{13}\text{C}$ sont calculés comme indiqué au chapitre précédent.

IV.- RESULTATS

IV.1. Evaluation, par voie chimique, des taux de minéralisation

Les courbes de l'intensité respiratoire journalière (Figure 23) montrent que le maximum de la minéralisation des sols enrichis ou non en compost pétrolier, s'établit dès les premiers jours de l'incubation. Au bout de trente jours, un équilibre est atteint. Ces courbes présentent la forme classique (DOMMERMUES et MANGENOT, 1970) obtenue lors de la minéralisation rapide de matières organiques relativement labiles.

On notera que, dans les tests portant sur le sol cultivé, la courbe "avec compost pétrolier" diffère nettement de celle du sol seul. Cela n'est plus tout à fait le cas des tests faits en présence du sol sous la prairie.

Les courbes cumulatives de la figure 24, et les données du tableau XVIII, établissent clairement la différence de comportement des deux sols, à la fois entre eux et à l'égard du compost pétrolier. Le sol sous prairie a minéralisé bien plus de substances organiques que ne l'a fait le sol cultivé. Par exemple, pendant les quatorze premiers jours, on a recueilli presque 2,7 fois plus de CO_2 dans le test impliquant le sol prairial que dans celui du sol cultivé.

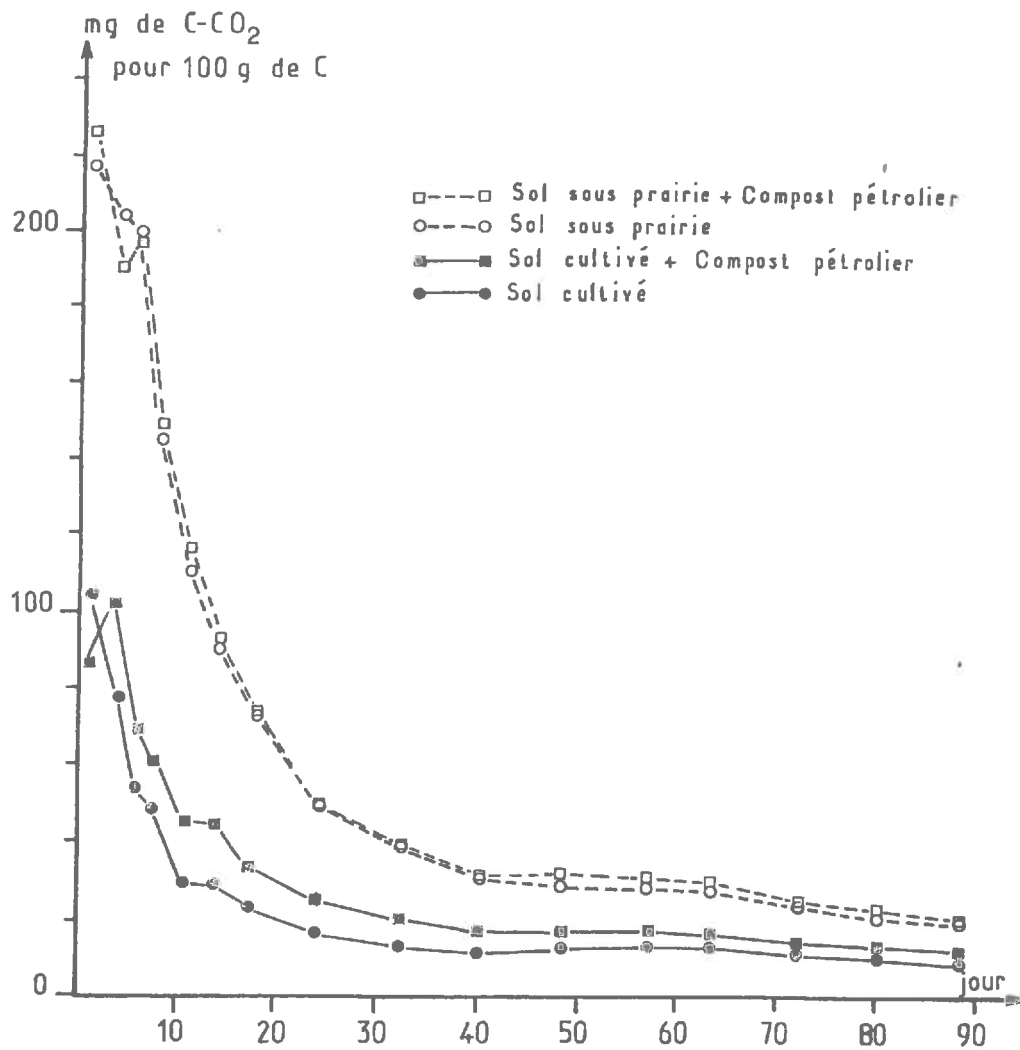


Figure 23.- Dégagement journalier de CO₂ exprimé en mg de carbone pour 100 g de carbone du test.

	Hydromull du sol sous prairie		Hydromull du sol cultivé	
	Sol témoin	Sol + compost pétrolier	Sol témoin	Sol + compost pétrolier
0-14 jours	2 151 ± 42	2 170 ± 25	806 ± 12	954 ± 44
15-88 jours	2 465 ± 91	2 541 ± 98	1 116 ± 35	1 434 ± 36
en 88 jours	4 616 ± 133	4 711 ± 123	1 922 ± 47	2 388 ± 80

Tableau XVIII.- Carbone du gaz carbonique en mg pour 100 g du carbone des tests d'incubation.

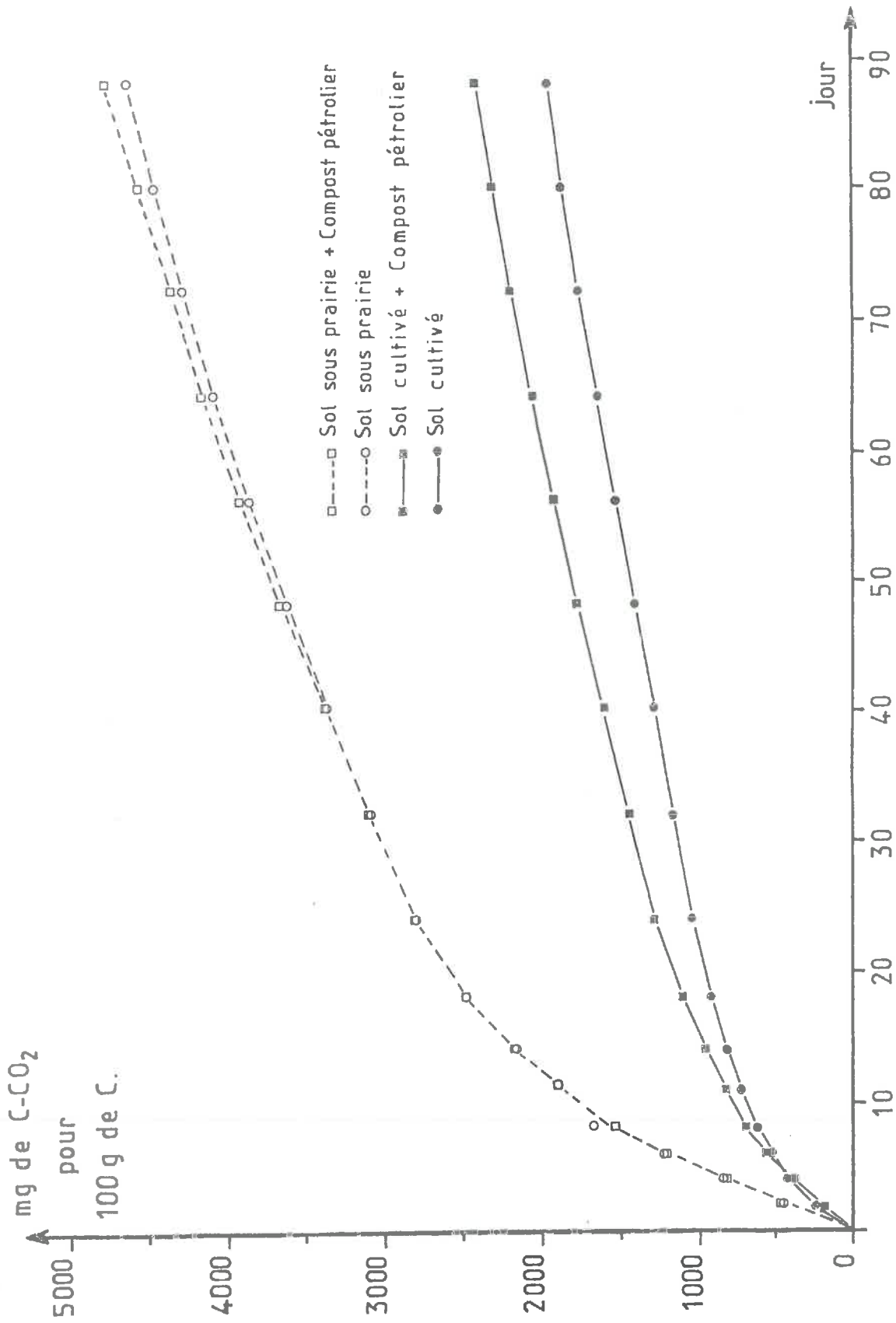


Figure 24.- Courbes cumulatives du CO₂ dégagé pendant l'incubation.

D'autre part, les chiffres du Tableau XVIII n'établissent aucune différence significative de dégagement de CO₂ avec ou sans compost pétrolier venant enrichir le sol sous prairie. Tout semble s'être passé comme si, apparemment, le compost pétrolier n'avait subi aucune biodégradation de la part de la microflore du sol.

Par contre, dans le sol cultivé, les courbes divergent dès les premiers jours. Cela implique une biodégradation et une minéralisation certaine du compost pétrolier. On constate, à partir des données du tableau XVIII, que le test "sol cultivé" accuse une différence de taux de minéralisation globale de 15.5 % par rapport au test comportant le compost pétrolier.

Il est possible de calculer les taux de minéralisation des matières organiques endogènes des sols et du compost pétrolier. Ces taux vont varier avec la durée d'incubation, et figurent sur le tableau XIX. On observe que les taux de minéralisation sont nettement à l'avantage des matières organiques du sol sous la prairie.

Tableau XIX. - Taux de minéralisation, en gramme pour 100 g de carbone organique des sols et du compost pétrolier mis à incuber dans le sol cultivé.

	Sol sous prairie	Sol cultivé	Compost pétrolier
Pendant 14 jours	2.1	0.8	2.2
Pendant 88 jours	4.6	1.9	6.5

Le taux de minéralisation du compost pétrolier est calculé en partant de l'hypothèse que dans le test "Sol cultivé + compost", la matière organique du sol se minéralise au même taux que lorsque le compost ne lui est pas ajouté. Si on appelle :

A : la quantité de C du CO₂ dégagé pour 100 g de carbone du test "sol cultivé + compost" (valeurs du tableau XVIII),

B : la quantité de C du CO₂ dégagé pour 100 g de carbone du sol seul (valeurs du tableau XVIII),

R : le pourcentage de carbone du compost dans le mélange du test "sol cultivé + compost" (Tableau XVII : R = 0.1029 et 1 - R = 0.8971 sera la contribution du sol),

x sera le taux de minéralisation du compost pétrolier :

$$A = B (1 - R) + 100 R x, \text{ soit : } x = \frac{A - \{B (1 - R)\}}{100 R}$$

On perçoit, aux valeurs présentées sur le tableau XIX, que les taux de minéralisation du compost pétrolier ne sont pas négligeables, puisqu'ils dépassent ceux des substances endogènes du sol. On observe aussi qu'au 14^{ème} jour, les taux de minéralisation du compost pétrolier et des matières organiques du sol sous prairie sont du même ordre de grandeur. Cette observation appelle une remarque importante. Le fait que les courbes de la figure 24 soient superposées ne permet pas d'affirmer que le compost pétrolier ne s'est pas minéralisé. On se trouve en réalité devant une alternative : ou bien le compost pétrolier s'est peu ou pas minéralisé, ou bien il s'est minéralisé à un taux identique à celui des substances endogènes du sol sous prairie. Cette alternative n'est tranchée qu'avec les datations ^{14}C du CO_2 dégagé dans les deux tests.

IV.2.- Confrontation de l'activité ^{14}C naturelle

Le principe de l'utilisation de l'activité ^{14}C est simple. Le compost pétrolier est constitué de molécules exemptes de ^{14}C , car il s'agit de molécules formées il y a des millions d'années. Si le pétrole se minéralise, il introduit du CO_2 "mort", qui vient diluer le CO_2 radioactif produit par la minéralisation des matières organiques des sols. L'activité du CO_2 baissera d'autant plus que les molécules de pétrole seront minéralisées.

Une première constatation se dégage de l'examen des valeurs du tableau XX. Alors qu'on observe une différence très significative de l'activité du CO_2 dégagé dans les tests impliquant le sol cultivé, aucune différence n'apparaît dans le CO_2 du sol sous prairie. La conclusion est claire : le compost pétrolier ne s'est pas encore minéralisé au 14^{ème} jour de l'incubation.

Tableau XX.- Activités ^{14}C des sols et du CO_2 produit par la minéralisation endogène.

	Hydromull du sol sous prairie		Hydromull du sol cultivé	
	Sol Témoin	"Sol + compost pétrolier"	Sol Témoin	"Sol + compost pétrolier"
Sol	1.096 ± 0.008		0.972 ± 0.007	
CO_2 dégagé de 0 à 14 jours	1.248 ± 0.009	1.265 ± 0.009	1.210 ± 0.009	1.004 ± 0.008

En ce qui concerne le sol cultivé, le fait que l'activité du CO_2 du test avec compost ($A_e/A_0 = 1.004 \pm 0.008$) soit très inférieur à celui du CO_2 du sol seul (1.210 ± 0.009) signifie que du CO_2 provenant du pétrole a dilué le CO_2 natif du sol. Ce fait confirme donc les données précédentes. Un calcul basé sur l'expression :

$$1.004 = (1 - x) 1.210$$

où x est la part du CO_2 provenant du pétrole, donne $x = 17\%$. Ce chiffre est comparable et compatible avec la valeur que l'on obtenait avec les données pondérales du CO_2 (15.5 %). Le taux de minéralisation du compost pétrolier donné sur le tableau XIX se trouve être ainsi validé.

Une seconde remarque résulte de l'examen du tableau XX. Le CO₂ de la minéralisation endogène du sol cultivé est un peu moins actif que celui du sol sous prairie. Nous donnerons ultérieurement une interprétation dynamique, mais, d'ores et déjà, on peut affirmer que les matières organiques qui se minéralisent dans le sol cultivé sont globalement plus vieilles.

IV.3. Apport du $\delta^{13}\text{C}$

Les résultats du tableau XXI montrent, de façon spectaculaire, que les matières organiques originaires du maïs se minéralisent de façon notable puisque le $\delta^{13}\text{C}$ du CO₂ du sol témoin prend la valeur moyenne de - 21.4 ‰, très significativement différente de celle notée sous la prairie (- 27.0 ‰).

Tableau XXI.- Valeurs $\delta^{13}\text{C}$ des sols et du CO₂ dégagé pendant l'incubation.

		SOL	CO ₂					M
			2ème j	4ème j	6ème j	8ème j	11ème j	
Hydromull du sol sous prairie	Sol témoin	- 27.7						
	CO ₂ du sol témoin		- 26.2	- 26.9	- 26.2	- 27.6	- 27.9	- 27.0
	Sol + compost pétrolier	- 27.4						
	CO ₂ du sol + compost pétrolier		- 24.0	- 25.7	- 27.3	- 26.4	- 26.5	- 26.0
Hydromull du sol cultivé	Sol témoin	- 26.8						
	CO ₂ du sol témoin		- 22.1	- 20.7	- 20.5	- 21.8	- 21.7	- 21.4
	Sol + compost pétrolier	- 26.2						
	CO ₂ du sol + compost pétrolier		- 22.0	- 21.4	- 20.8	- 21.8	- 22.0	- 21.6
Compost pétrolier		- 25.9						

Les matières organiques originaires du maïs se marquent pourtant très légèrement dans le sol. Si l'on admet que leur $\delta^{13}\text{C}$ est de - 12 ‰, on peut calculer (*) que 5.7 % du carbone du sol viennent du maïs. Il est donc très minoritaire et il faut souligner l'importance du "vieux" fond prairial.

A partir des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ du CO₂ des deux sols témoins, et en supposant que le CO₂ venant de la matière organique du maïs a un $\delta^{13}\text{C}$ de - 12 ‰, on observe que 37 % du CO₂ dégagé viennent de substances du maïs présentes dans le sol depuis moins de 12 ans.

(*) Le pourcentage est obtenu par :

$$\frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{prairie}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{sol cultivé}}}{\delta^{13}\text{C}_{\text{prairie}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{maïs}}} \times 100$$

V.- DISCUSSIONV.I. Conversion $\Delta^{14}\text{C}$ - Age moyen

Les valeurs du $\Delta^{14}\text{C}$ du CO_2 atmosphérique sont nécessaires pour que l'on puisse convertir l'activité ^{14}C des échantillons en âge moyen de turnover. Les données sur lesquelles nous nous appuyons sont celles présentées sur la figure 25, empruntée à DELIBRIAS (1985). On y repère bien la forte production de ^{14}C dans l'atmosphère, due à l'explosion des bombes atomique, qui culminent en 1963. Depuis cette date, le nombre de tests aériens a décréu et le CO_2 atmosphérique se dilue et s'échange avec l'énorme réservoir du CO_2 marin. De cela, il résulte une activité ^{14}C atmosphérique qui diminue.

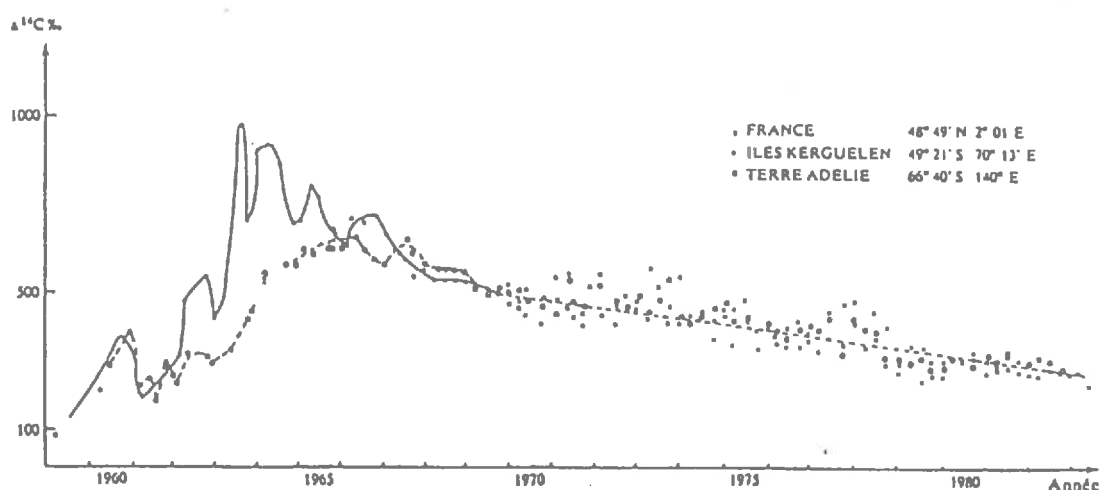


Figure 25.- Concentration en ^{14}C du CO_2 troposphérique depuis 1958. La courbe supérieure représente les variations en fonction du temps dans l'hémisphère nord et les courbes inférieures montrent les variations dans l'hémisphère sud (d'après DELIBRIAS, 1985).

Admettons que la matière organique d'un compartiment quelconque du sol ait une distribution des âges qui soit exponentielle ; connaissant la date de l'observation (ou du prélèvement), on peut aisément calculer le pourcentage de cette matière organique qui est entrée dans le compartiment, il y a un an, deux ans, trois ans, ... dix ans, etc. En y entrant à ces dates connues, elle y entre avec l'activité ^{14}C du CO_2 atmosphérique, telle que l'on peut l'évaluer, aux dates précises, sur la courbe de la figure 25. La somme du produit de ces multiples pourcentages par l'activité ^{14}C des années qui leur correspondent, donne une activité $\Delta^{14}\text{C}$ associée à un âge moyen que nous nous sommes donné.

En faisant varier l'âge moyen, on obtient des valeurs du $\Delta^{14}\text{C}$ différentes les unes des autres. Les deux courbes de la figure 26 ont été obtenues en bornant la distribution des âges entre l'année 1985, année du prélèvement des sols et 2 700 ans B.P., âge maximum que l'on puisse donner aux

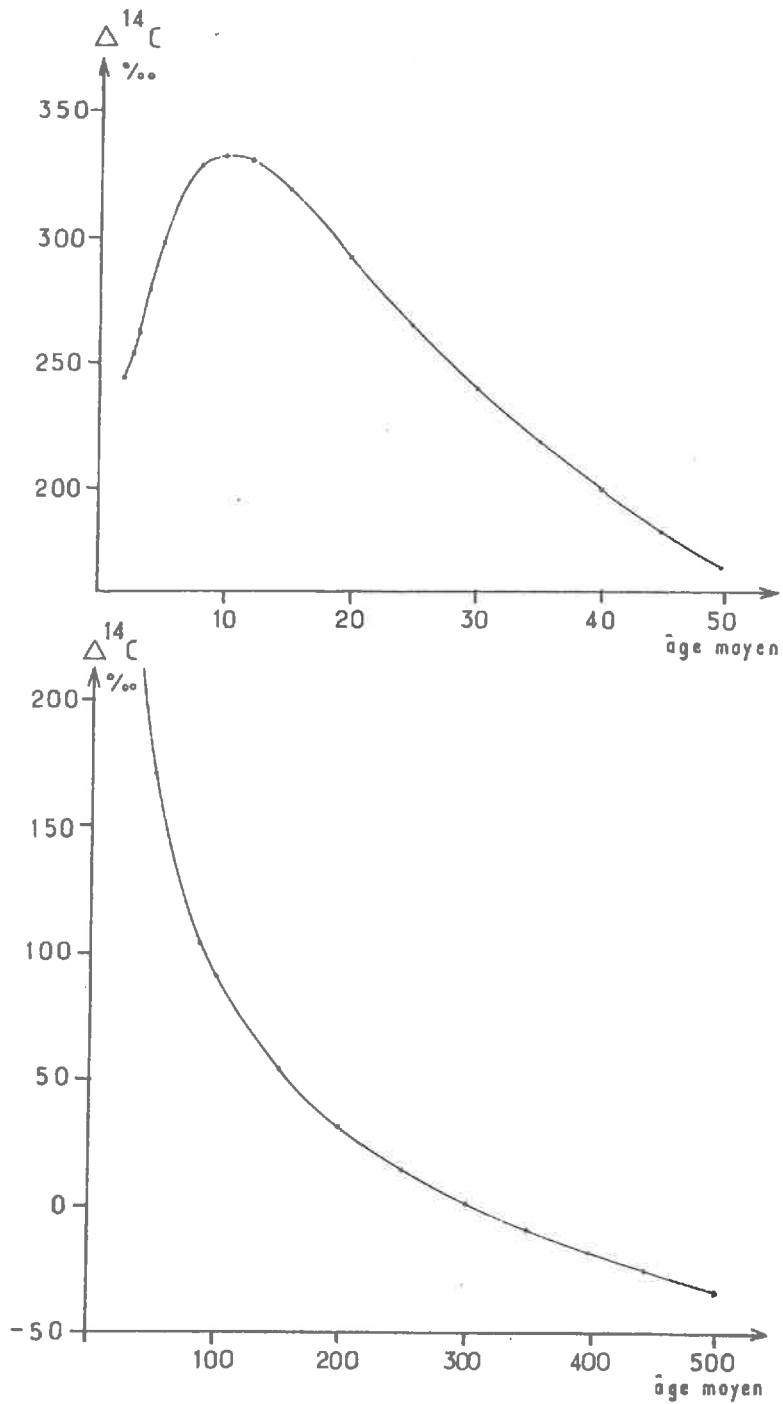


Figure 26.- Relation ^{14}C -Age moyen dans le cas d'une distribution exponentielle de l'âge de matières organiques de sols prélevés en 1985.

matières organiques des deux sols recouvrant des tourbes datant de cette époque.

V.2. Dynamique de l'humification

L'âge moyen de la matière organique totale du sol sous prairie et du sol cultivé est évalué à partir du $\Delta^{14}\text{C}$ mesuré et au moyen des courbes de la figure 26. Les valeurs indiquées (Tableau XXII), 90 ans pour les matières organiques du sol sous prairie et 440 ans pour le sol cultivé, témoignent de la plus grande ancienneté des matières organiques du sol cultivé. Ces valeurs d'âges ne sont portées ici qu'à titre indicatif, car il ne faut pas oublier qu'elles ont été calculées en acceptant l'hypothèse d'une distribution d'âge exponentielle, qui s'avère illusoire et abusive si l'on s'adresse à la totalité des matières organiques d'un sol (BALESDENT, 1982).

Tableau XXII.- Données permettant de calculer l'âge moyen en supposant une distribution exponentielle.

		C%	$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$	$\delta^{14}\text{C} \text{ ‰}$	$\Delta^{14}\text{C} \text{ ‰}$	Age moyen (années)
Hydromull du sol sous prairie	Sol	5.9	- 27.7	+ 96 ± 8	+ 102 ± 8	90 ± 7
	CO ₂ du sol témoin		- 27.0	+ 248 ± 9	+ 253 ± 9	27 ± 2
	CO ₂ du sol + compost pétrolier		- 26.0	+ 265 ± 9	+ 268 ± 9	24 ± 2
Hydromull du sol cultivé	Sol	5.6	- 26.8	- 28 ± 7	- 25 ± 7	440 ± 45
	CO ₂ du sol témoin		- 21.4	+ 210 ± 9	+ 201 ± 9	40 ± 2.5
	CO ₂ du sol + compost pétrolier		- 21.6	+ 4 ± 8	- 3 ± 8	

L'âge moyen du CO₂ dégagé est conforme aux données de l'activité ^{14}C . Ce qui se minéralise dans le sol cultivé est plus ancien (âge moyen = 40 ans) que le CO₂ du sol sous prairie (27 ans). On notera que dans ce dernier cas, il n'y a pas de différence significative lorsque le compost pétrolier est ajouté au sol : comme nous l'avons déjà dit, il ne semble pas s'être minéralisé. Ces âges sont, a priori, plus convenables que ceux affectés aux matières organiques globales, car on peut mieux admettre que le compartiment des matières organiques qui se minéralisent a une distribution exponentielle des âges.

Les activités ^{14}C du CO₂ dégagé sont bien supérieures à celles que pouvaient estimer DEVER et al. (1982) dans les sols calcimagnésiques de Champagne ($\delta^{14}\text{C} = 119 \text{ ‰}$).

Interprétation concernant le sol sous prairie

Supposons que ce sol soit constitué :

- d'un pool stable (I) de matière organique, dont l'âge serait de 2 100 ans B.P., âge du sommet de la tourbe sous-jacente (Illhaeusern 7, tableau IV). Ce serait une matière contemporaine des premiers moments de l'alluvionnement ;

- d'un pool (II) de cinétique de minéralisation exponentielle. Seule la matière de ce pool se minéralise.

Supposons également que le CO₂ dégagé lors de l'incubation soit représentatif de ce pool et de ce qui se minéralise au champ.

Le sol est à l'équilibre.

L'activité du CO₂ dégagé est la même que celle du pool II ($\Delta^{14}\text{C} = + 253 \text{ ‰}$; cf. Tableau XXII). Son âge moyen, ou temps de turnover, puisque la distribution est exponentielle, est de 27 ans. Cela signifie que, tous les ans, il se minéralise (et se renouvelle car le sol est à l'équilibre), 1/27 des matières organiques formant ce pool II.

Le pool I a, selon l'équation (2) de la page 56, une activité ^{14}C de $- 229 \text{ ‰}$ et $\Delta^{14}\text{C}$ de $- 225 \text{ ‰}$.

On peut calculer x, la part représentée par le pool II, d'après l'activité du sol, dont le $\Delta^{14}\text{C}$ est de $+ 102 \text{ ‰}$ (Tableau XXII). x représentera le carbone du pool II sur le carbone total (pool I + pool II) :

$$102 = - 225 (1 - x) + 253 x$$

$$x = 0.68$$

Sur les 5.9 % de carbone du sol, le pool II représenterait 4 % du carbone du sol et le pool stable I, 1.9 %. Le flux de carbone entrant dans le pool II serait de $4.0/27$, soit 0.15 ‰ an^{-1} , ou encore de 425 g de carbone par mètre carré (calcul effectué avec une épaisseur de 20 cm, et une densité apparente de 1.422 g/cm^3 (cf. Tableau V). Ces valeurs ne sont pas éloignées des apports estimés dans les pelouses du Jura par BALESSENT (1982), qui donne aussi 400 g/m^2 et par an.

L'âge moyen de la totalité de la matière organique du sol serait de :

$$(2 \ 100 \times 0.32) + (0.68 \times 27) = 690 \text{ ans}$$

Le temps de turnover serait de 27 ans, mais ne concerne que 68 % de la matière organique du sol.

Interprétation concernant le sol cultivé

Avec la même démarche que précédemment, on admet l'existence de deux pools de stabilité différente. Le pool ancien et stable a, ici, 2 700 ans, âge du sommet de la tourbe (Illhausern 2, tableau IV), ce qui correspond à $\Delta^{14}\text{C} = - 282 \text{ ‰}$.

La part du carbone du sol appartenant au pool II est de :

$$- 25 = - 282 (1 - x) + 201 x$$

$$x = 0.53$$

Le pool II correspondrait à 3 % du carbone du sol, son temps de turnover serait de 40 ans, son flux de carbone serait de 0.075 % par an, soit 233 g de carbone par an. Le pool stable I correspondrait à 2.6 % du carbone du sol.

L'âge moyen de tout le carbone du sol serait de 1 290 ans et son temps de turnover de 40 ans ne concernerait que 53 % du carbone organique.

Les caractéristiques que nous venons de présenter sont certainement illusoires, car le sol étant en déséquilibre, il était abusif de la considérer dans le même état que le sol sous prairie. Après la mise en culture, le stock organique a évolué, les flux de carbone ont changé. Les vitesses de minéralisation (et temps de turnover) ont pu varier selon les années. Ces variations rendent la modélisation difficile.

On peut pourtant se servir des données du $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 minéralisé pour préciser un point : comme 37 % du CO_2 viennent de substances originaires du maïs introduit pour la première fois il y a 12 ans, le temps de turnover d'un compartiment labile dont le CO_2 est l'image, est sûrement supérieur à 12 ans.

VI.- CONCLUSION

Les expériences d'incubation sont, à notre connaissance, parmi les premières où l'on ait pris soin de dater le CO_2 dégagé par deux procédés différents : ^{14}C et $\delta^{13}\text{C}$.

On a pu montrer que si l'on considère les matières organiques d'un sol dans leur ensemble, l'âge moyen et le temps de turnover ne peuvent pas être confondus. En effet, l'activité ^{14}C des matières organiques du sol est différente de celle du gaz carbonique produit par leur biodégradation.

Cela conduit à envisager, dans les sols en équilibre avec une végétation perenne, des modèles à deux compartiments de matières organiques d'âges différents. Le compartiment des matières organiques biodégradables a des paramètres qui sont ceux analysés avec le CO_2 dégagé. Dans les sols sous prairies du Ried ello-rhénan, ce compartiment peut représenter près des 3/4 du carbone du sol. Son temps de turnover est court, de l'ordre de 27 ans. Ce sont des sols actifs.

Des ajouts de composts pétroliers aux sols humiques des Rieds donnent des résultats surprenants en ce qui concerne la biodégradation de ces produits. Une minéralisation certaine, évaluée à près de 6 % de leur carbone en trois mois d'incubation, se produit dans les sols cultivés. Par contre, on n'observe aucun effet mesurable lorsque ces produits sont introduits dans les sols de prairie. Il y a là sans doute un effet de compétition et peut-être de sélection de la microflore à l'égard des molécules de produits pétroliers.

CONCLUSIONS GENERALES

CONCLUSIONS GENERALES

Le Ried ello-rhénan de la plaine d'Alsace représente une région caractérisée par la grande extension des sols hydromorphes à gley, qui ont été divisés en trois grandes unités : les sols humiques à gley, les sols à profils complexes et les sols humiques carbonatés.

L'étude des sols par transects a permis de préciser la structure de la couverture pédologique et la distribution des sols dans la zone étudiée. Les transects ont montré une distribution ordonnée des sols dans le paysage, selon la nature des matériaux. A l'Est du Ried situé près d'Illhaeusern, les matériaux sont calcaires, d'origine rhénane, tandis qu'à l'Ouest, ils sont non calcaires, argileux et d'origine vosgienne.

La dynamique fluviale de la diffluence des bras du Rhin a favorisé, au cours d'épisodes de crues, la formation de chenaux et cuvettes, dans lesquels des tourbières se sont développées.

Datés par le carbone ^{14}C , les débuts de la formation de la tourbe des chenaux se situent au cours de la période subboréale. Au cours de cette période, les conditions générales de température et d'humidité ont favorisé le développement de tourbières de basse altitude. La fin de la formation des tourbes varie avec la situation géographique des chenaux. Elle a pu être datée de 3 260 ans à proximité du cours actuel de l'Ill, et de 2 030 ans lorsque l'on s'en éloigne vers l'Est.

La formation des tourbes s'est achevée lorsque des alluvions fines sont venues les recouvrir et les sceller. Calcaires, de texture limono-argileuse et d'origine rhénane à l'Est, ces alluvions deviennent plus fines lorsqu'elles se situent dans les champs d'inondation de l'Ill.

Ces apports d'éléments fins alluviaux se sont produits au cours de la période subatlantique (de 2 700 ans à l'Actuel) et semblent être liés à deux phénomènes majeurs de l'histoire récente de la région Centre-Alsace. La subsidence du secteur du Ried ello-rhénan a joué un rôle de réceptacle d'alluvions, sans doute originaires de secteurs déforestés et érodés sous l'influence d'une anthropisation croissante des paysages-amonts.

Les sols sont jeunes, caractérisés par des horizons hydromorphes de gley, des tourbes et anmoor enfouis et des hydromull de surface, humifères et de couleur sombre, bruns ou noirs. Depuis longtemps, ces sols, anciennement palustres, portent des prairies permanentes, qui, pour des raisons économiques, sont de plus en plus fréquemment retournées par les labours et reconverties en champs cultivés. Ce mouvement, qui s'accélère, a commencé au cours des années 1950-1960 et nous a permis de mettre en place une recherche sur la dynamique de l'évolution de la matière organique lorsque les sols passent d'un état d'"équilibre prairial" à l'état cultivé.

La mise en culture des sols prairiaux fait vieillir la matière organique en même temps que les teneurs baissent. A partir des deux types d'agrosystèmes, c'est-à-dire un sol sous prairie et un sol cultivé, les datations par le ^{14}C montrent bien que l'activité ^{14}C des matières organiques de l'horizon A_p et de l'horizon sous-jacent est plus faible que dans les horizons homologues du sol sous prairie. La chute d'activité peut signifier que pendant les 16 années de culture, ce sont, sélectivement, les matières organiques jeunes qui ont disparu. Le vieillissement résulterait de la contribution relative des substances plus âgées, qui, d'année en année, deviendraient plus importantes.

Le fractionnement de la matière organique des deux sols et les datations des fractions livrent les enseignements suivants :

- La matière organique est bien formée de compartiments, qui ont des âges apparents différents.

- Les substances jeunes, comme les débris végétaux, les acides fulviques et, d'une façon générale, les petites molécules organiques, sont relativement moins abondantes dans le sol cultivé que dans le sol sous la prairie. Des apports annuels moindres, et une vitesse de minéralisation plus élevée, sont les causes les plus probables de l'apparente disparition des substances jeunes et du vieillissement qui s'ensuit.

- Les acides humiques voient leur proportion relative s'accroître dans le sol cultivé, en même temps qu'ils vieillissent; leur âge tend vers celui de l'humine très fine, alors qu'il s'en écarte significativement dans le sol sous la prairie. Il est vraisemblable que la culture a provoqué une minéralisation sélective de substances jeunes composant les acides humiques et d'autre part les conditions pédoclimatiques ont favorisé le transfert d'une fraction du carbone des humines vers les acides humiques.

- Les fractions les plus vieilles sont celles formant les résidus de l'hydrolyse acide des humines très fines et fines. Peu riches en azote, constituées de nuclei majoritairement formés de structures aromatiques (ANDREUX, 1979), ces fractions constituent le compartiment le plus stable du sol (CAMPBELL et al., 1967 ; GUILLET, 1979).

Les expériences d'incubation et de minéralisation de la matière organique des sols viennent porter témoignage du fonctionnement en compartiments des matières organiques.

En datant par le ^{14}C le CO_2 dégagé lors de l'incubation au laboratoire, on montre que ce qui se minéralise n'a pas la même activité que l'ensemble de la matière organique. Ce n'est pas toute la matière organique qui prend part au processus de biodégradation. Il existe des compartiments qui se minéralisent et se renouvellent quand les conditions d'équilibre sont satisfaites, et d'autres compartiments plus stables, voire inertes.

Ce qui se minéralise est plus jeune que l'ensemble des matières organiques. Ceci apporte une confirmation remarquable des idées de BALESSENT (1982), qui prévoyait que dans un sol, l'âge moyen des matières organiques devait différer du temps de turnover. Ainsi, il est clair que les notions d'âge moyen ou temps moyen de résidence et de temps de turnover ne peuvent pas être confondues. Elles prennent, dans les sols, des valeurs différentes et, seul, le temps de turnover permet d'accéder au flux de renouvellement des matières organiques.

Si l'on accepte comme hypothèse que le temps de turnover, d'où découle par relation inverse la vitesse de minéralisation, est l'âge des matières organiques qui se minéralisent, et si l'on admet que ces matières organiques ont des âges se distribuant de façon exponentielle, alors il devient possible de comparer le sol cultivé et le sol sous prairie.

L'ensemble des matières organiques du sol sous la prairie aurait un âge moyen de près de 690 ans. Seule une fraction de cette matière organique pourrait se renouveler : 68 % de celle-ci se renouvelleraient avec un temps de turnover de 27 ans. Pour le sol cultivé, l'état de déséquilibre du sol limite la portée des interprétations. L'âge moyen serait pourtant de près de 1 300 ans et seulement 53 % de sa matière organique pourraient se renouveler à un rythme plus lent, puisque le temps de turnover serait de l'ordre de 40 ans.

BIBLIOGRAPHIE

- AL-SIDDIK (M.A.), 1983 - La couverture pédologique en Forêt de Rennes : Analyse morphologique de séquences et cartographie en courbes d'isodifférenciation à grande et petite échelle. Thèse Doct. Ing., E.N.S.A. Rennes, 125 p.
- ANDREUX (F.), 1979 - Genèse et propriétés des molécules humiques. In : Pédologie. Tome 2 : "Constituants et Propriétés du sol". M. Bonneau et B. Souchier eds., Masson Paris, 97-122.
- Atlas des Ressources Naturelles et Aménagement de la Région Alsace. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1974.
- BALESDENT (J.), 1982 - Etude de la dynamique de l'humification de sols de prairies d'altitude (Haut-Jura), au moyen des datations ^{14}C des matières organiques. Thèse Doct. Ing., Univ. Nancy I, 90 p.
- BALESDENT (J.) et GUILLET (B.), 1982 - Les datations par le ^{14}C des matières organiques des sols. Contribution à l'étude de l'humification et du renouvellement des substances humiques. Science du sol, 2, 93-112.
- BALESDENT (J.), MARIOTTI (A.) et GUILLET (B.), 1986 - Natural ^{13}C abundances as a tracer for soil organic matter dynamics studies. Soil Biol. Biochem. (sous presse).
- BARRIUSO (E.), 1985 - Caractérisation des fractions organo-minérales et des constituants humiques d'un sol de pelouse subalpine. Thèse Doct. Univ. Nancy I, 170 p.
- BENDER (M.M.), 1971 - Variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. Phytochemistry, 10, 1239-1244.
- BERNHARD (C.), 1985 - Evolution du risque de contamination des eaux souterraines du Ried central de l'Ill par les nitrates. Thèse Doct. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 192 p.
- BOIFFIN (J.) et FLEURY (A.), 1974 - Quelques conséquences agronomiques du retournement des prairies permanentes. Ann. Agron., 25 (4), 555-573.
- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), HUMBEL (F.X.) et LUCAS (Y.), 1982a - Analyse structurale et cartographique en Pédologie. I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIX (4), 309-321.

- BOULET (R.), HUMBEL (F.X.), LUCAS (Y.), 1982b - Analyse structurale et cartographique en pédologie. II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XIX (4), 323-339.
- BOUSLAH (H.), 1982 - Etude des sols de la bordure sous-vosgienne et des formations alluviales de la Thur (Alsace). Thèse Doct. Ing., Univ.Nancy I, 121p.
- BRIQUET (A.), 1923 - Les alluvions quaternaires de la Plaine d'Alsace entre la Fecht et la Bruche. Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 1 (2), 65-76.
- BROECKER (W.S.) et OLSON (E.A.), 1961 - Lamont radiocarbon measurements VIII. Radiocarbon, 3, 176-204.
- CAMPBELL (C.A.), PAUL (E.A.), RENNIE (D.A.) et McCALLUM (K.J.), 1967 - Applicability of the carbon-dating method of analysis to soil humus studies. Soil Science, 104 (3), 217-224.
- CARBIENER (R.), 1967-1969 - Exucursion dans le Ried Centre-Alsace, zone Nord. Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar, 53, 12-24.
- CARBIENER (R.), 1969 - Le grand Ried d'Alsace. Ecologie d'un paysage. Bull. Soc. Indust. Mulhouse, 734, 15-44.
- CARBIENER (R.), 1983 - Le grand Ried Central d'Alsace : écologie et évolution d'une zone humide d'origine fluviale rhénane. Bull. Ecol., 14 (4), 249-277.
- Carte Géologique au 1/50 000 Colmar-Artolsheim, et notice explicative, 1972 - Publication B.R.G.M.
- CRAIG (H.), 1954 - Carbon-13 in plants and the relationships between carbon-13 and carbon-14 variations in nature. The J. Geol., 62 (2), 115-149.
- DELBOS (J.) et KOECHLIN-SCHLUMBERGER (J.), 1867 - Description géologique et minéralogique du Haut-Rhin. Tome 2, ed. E. PERRIN.
- DELIBRIAS (G.), 1985 - Le carbone 14. In : "Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels. Application". E. Roth et B. Poty eds., Masson, Paris, 421-459.
- DELPONT (J.), FRANC DE FERRIERE (P. J.J.) et PERRETTE (G.), 1955 - Notice de la carte des régions naturelles du Haut-Rhin. Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 8 (2), 20-29.
- DEVER (L.), DURAND (R.), FONTES (J. Ch.) et VACHIER (P.), 1982 - Géochimie et teneurs isotopiques des systèmes saisonniers ; dissolution de la calcite dans un sol sur craie. Geochim. Cosmochim. Acta, 46, 1947-1956.
- DOMMERGUES (Y.) et MANGENOT (F.), 1970 - Ecologie microbienne du sol. Masson, Paris, 796 p.
- DUBOIS (G.) et FRANC DE FERRIERE (P.J.J.), 1955 - Notice de la carte des régions naturelles du Haut-Rhin. Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 8 (2), 5-13.

- DUBOIS (M.), GILLES (K.A.), HAMILTON (J.K.), REBERS (P.A.) et SMITH (F.), 1972 - Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical Chem., 28, 350-356.
- DUCHAUFOR (Ph.) et JACQUIN (F.), 1959 - Note sur l'évolution de la matière organique dans les sols. C.R. Acad. Agric., 516-519.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1977 - Pédologie. Tome I. Pédogenèse et classification. Masson, Paris. 477 p.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1984 - Abrégé de Pédologie. Masson, Paris, 218 p.
- DUPRAT (A.), SIMLER (L.) et VALENTIN (J.), 1979 - La nappe phréatique de la plaine du Rhin en Alsace. Sci. Géol., Mém. n° 60, 266p.
- DUPUIS (M.), 1953 - Etude des sols du Ried situé au Nord-Est de Colmar. Bull. A.F.E.S., 43, 4-15.
- FONTES (J.Ch.), 1971 - Un ensemble destiné à la mesure de l'activité du radiocarbone naturel par scintillation liquide. Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dynam. (2), Vol. 8, F-1, 67-86.
- GUCKERT (A.), ROGER (P.) et JACQUIN (F.), 1968 - Contribution à l'utilisation des techniques radioisotopiques pour l'étude de la matière organique du sol. Bull. E.N.S.A. Nancy, 10 (2), 69-100.
- GUCKERT (A.), 1973 - Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et de leur rôle dans les mécanismes d'agrégation. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 124 p.
- GUILLET (B.), 1972 - Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 112 p.
- GUILLET (B.), JANSSEN (C.R.), KALIS (A.S.) et DE VALK (E.S.), 1976 - La végétation pendant le Post-Glaciaire dans l'Est de la France. in : "La Préhistoire française". Tome II. Editions du C.N.R.S. Paris, 82-87.
- GUILLET (B.), 1979 - Etude du renouvellement des matières organiques des sols par les radioisotopes (^{14}C). In : "Pédologie" Tome 2 : "Constituants et propriétés du sol". M. Bonneau et B. Souchier eds. Masson, Paris, 210-226.
- HENIN (S.), GRAS (R.) et MONNIER (G.), 1969 - Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson, Paris (2ème édit.), 332).
- HETIER (J.M.), GUILLET (B.), BROUSSE (R.), DELIBRIAS (G.) et MAURY (R.), 1983 - ^{14}C datings of buried soil in the volcanic chaine des Puys (France). Bull. Vulcanol., 46, 193-201.
- HIRTH (C.), 1971 - Eléments d'explication à la formation des Rieds ello-rhé-nans au Nord de Comar, du début du Post-Glaciaire à la canalisation du Rhin au XIXème Siècle. Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar, 54, 21-44.

- HUFTY (A.), 1976 - Introduction à la climatologie. P.U.F., 264 p.
- ISSLER (E.), 1932 - Les prairies non fumées du Ried ello-rhénan et le Mesobrometum du Haut-Rhin. Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar, 23, 44-129.
- JAMAGNE (M.), 1967 - Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. Agron., 18, n° Hors-série, INRA, p. 139.
- JANEL (Ph.), JOCTEUR MONROZIER (L.) et TOUTAIN (F.), 1979 - Caractérisation de l'azote des litières et des sols par hydrolyse acide. Soil Biol. Biochem. 11, 141-146.
- JOCTEUR MONROZIER (L.), 1984 - Nature et évolution de l'azote organique dans les sols et les sédiments marins récents. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 177 p.
- JOCTEUR MONROZIER (L.) et JEANSON (P.), 1978 - Caractères généraux et évolution de l'azote organique dans les sédiments superficiels. ORGON IV, Golfe d'Aden, Mer d'Oman, Edition C.N.R.S. Paris, 503-526.
- JOCTEUR MONROZIER (L.) et ANDREUX (F.), 1981 - L'azote organique des sols. Exemples de quantification des formes protéiques et des combinaisons complexes. Science du sol, 3, 219-242.
- KONONOVA (M.M.), 1961 - Soil organic matter. Pergamon Press.
- MARESQUELLE (M.H.J.), 1969 - Le Ried Centre-Alsace. Bull. Soc. Indust. Mulhouse, 734, 7-10.
- MAROCKE (R.), 1962 - Datation des formations pédologiques fossiles et actuelles de la terrasse würmienne du Sud de l'Alsace. C.R. Acad. Sci., Paris, 254, 3116-3118.
- MAROCKE (R.), 1963-1964 - Evolution des dépôts rhénans de la Haute Alsace au cours du Pléistocène récent. Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar, 51, 3-35.
- MARTEL (Y.A.) et PAUL (E.A.), 1974 - The use of radiocarbon dating of organic matter in the study of soil genesis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38, 501-506.
- MCGILL (W.B.) et PAUL (E.A.), 1976 - Fractionation of soil and ¹⁴N nitrogen to separate the organic and clay interactions of immobilized N. Can. J. Soil Science, 56, 203-212.
- METTAUER (H.), 1969 - Etude agropédologique de la plaine d'Alsace. Notice explicative de la carte pédologique de la Hardt à l'échelle du 1/25 000°. Bull. A.F.E.S., 6, 5-20.
- METTAUER (H.), HUCK (Ch.), GUILLET (B.), BRUCKERT (S.) et GAIFFE (M.), 1985 - Etude de la valeur d'amendement de boues de raffineries de pétrole. Rapport de fin de contrat à destination du Ministère de l'Environnement. Publ. INRA, Centre de Recherche Agronomique de Colmar, 21 p.
- METTAUER (H.), BOUSLAH (H.), GUILLET (B.) et BRUCKERT (S.), 1986 - Dégénération et transformation d'un compost pétrolier apporté à des sols battants et effets sur leurs propriétés physiques. Agronomie (à paraître).

- MILLOT (G.), SITTLER (J.), Von ELLER (J.P.) et SIMLER (L.), 1963 - Notice géologique et hydrologique du département du Bas-Rhin. Bull. Service Carte Géol. Als. Lorr., 16 (2), 73-113.
- MONNIER (G.), 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Ann. Agron., 16 (5), 471-534.
- MONNIER (G.), STENGEL (P.) et FIES (J.C.), 1973 - Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. Ann. Agron., 24 (5), 533-545.
- MOORE (S.) et STEIN (W.H.), 1954 - A modified ninhydrin reagent for the photometric determination of amino-acids and related compounds. J. Biol. Chem., 211, 907-913.
- NAKHLA (S.M.) et DELIBRIAS (G.), 1967 - Utilisation du C-14 d'origine thermonucléaire pour l'étude de la dynamique du carbone dans le sol. A.I.E.A. Proc. Series, 169-176.
- NGUYEN KHA, VEDY (J.C.) et DUCHAUFOR (Ph.), 1969 - Etude expérimentale de l'évolution saisonnière des composés humiques en climat tempéré. Pédologie, Gand, 19 (1), 5-22.
- NGUYEN KHA et DOMMERGUES (Y.), 1970 - Influence de l'hygrothermopériodisme sur la stabilité de la matière organique du sol mesurée par respirométrie. Science du sol, 1, 53-62.
- NGUYEN KHA (1972 - Note sur la séparation des différentes formes d'azote dans les composés organiques des sols. Bull. E.N.S.A.I.A.Nancy, 14 (1), 57-63.
- NGUYEN KHA, 1973 - Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 157p.
- OBERDORFER (E.), 1967 - Systematische Übersicht der westdeutschen Phanerogamen und Gefässkryptogamengesellschaften. Schritt. Vegetationskde, 2, 7-62.
- OCHSENGEIN (G.), 1969 - Particularités botaniques des prairies naturelles du Ried. Bull. Soc. Indst. Mulhouse, 734, 45-50.
- PARTY (J.P.), 1984 - Carte départementale des terres agricoles. Colmar-Artolsheim 1/50 000. Ministère de l'Agriculture, Direction de l'Aménagement.
- PAUL (E.A.), CAMPBELL (C.A.), RENNIE (D.A.) et McCALLUM (K.J.), 1964 - Investigations of the dynamics of soil humus utilizing carbon dating techniques. Proc. 8th Int. Cong. Soil Sci., Bucarest, III, 201-207.
- PLAISANCE (G.) et CAILLEUX (A.), 1968 - Dictionnaire des sols. La Maison Rustique, Paris.
- SCHARPENSEEL (H.W.) et PIETIG (F.), 1969 - Einfache Boden- und Wasserdatierung durch Messung der ¹⁴C-order Tritiumkonzentration. Geoderma, 2, 273-289.
- SCHARPENSEEL (H.W.), 1972 - Messung der natürlichen C-14 Konzentration in der organischen Substanz von renzenten Böden. Eine Zwischenbilanz. Zeitsch. Pflanzennern. Bodenkde, 133 (3), 241-263.

SCHARPENSEEL (H.W.), 1974 - Natürlich Radiokohlenstoffmessungen als Mittel zur Untersuchung von Bodenprocessen und deren Dynamik. Trans. 10th Int. Cong. Soil Science, 6, 315-330.

SCHNITZLER-LENOBLE (A.) et CARBIENER (R.), 1982 - La forêt d'Ichtratzheim, exemple d'une forêt de l'Ill. Etude de l'histoire stationnelle et de l'évolution phytosociologique d'une forêt du Ried Gris Nord. Bull. Assoc. Philomat. Als., 19, 107-171.

STEVENSON (J.), KIDDER (G.) et TILO (S.N.), 1967 - Extraction of organic nitrogen and ammonium from soil with hydrofluoric acid. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31, 71-76.

THEOBALD (N.), 1947 - Structure géologique de la partie Sud du pays de Bade. Livret-guide publié à l'occasion de l'excursion pédologique interuniversitaire, 39 p.

THEOBALD (N.), 1948 - Carte de la base des formations alluviales dans le Sud du fossé rhénan. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 9, 78 p.

UDENFRIED (S.), STEIN (S.), BOHLEN (P.), DAIRMAN (W.), LEIMGRUBER (W.) et WEIGELD (M.), 1972 - FLuorescamine : a reagent for assay of amino-acids, peptids, proteins and primary amines in the picomole range. Science, 178, 871-872.

VOGT (T.) et MAROCKE (R.), 1973 - Les encroûtements calcaires de la Hardt (Haute-Alsace) : Genèse et évolution. Sci. Géol. Bull., 26 (4), 305-314.

WAGNER (G.H.), 1981 - Humus under different long term cropping systems. Proc. Coll. "Humus et Azote", P. Dutil et F. Jacquin eds. INRA Châlons-sur-Marne/ E.N.S.A.I.A. Nancy, 23-29.

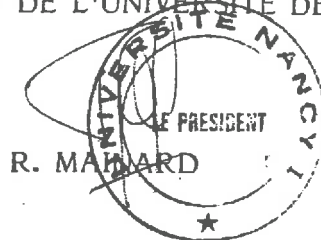
NOM DE L'ETUDIANT : AL SIDDIK Mohamed Abdullah

NATURE DE LA THESE : Doctorat de l'Université de NANCY I en Sciences du Sol

VU, APPROUVE ET PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le 13 JUIN 1986 n° 994

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I



R E S U M E

L'étude des sols du Ried ello-rhénan de la région d'Illhaeusern a été faite par transects, qui ont permis d'établir la structure de la couverture pédologique. On en a déduit les relations chronologiques existant entre les horizons qui s'assemblent en profils complexes.

Les datations des tourbes par le ^{14}C ont permis de dater leur mise en place et leur fossilisation, qui est survenue il y a 2000-2800 ans, lors des recouvrements alluviaux en provenance de l'Ill ou du Rhin.

Les agrosystèmes du Ried étant tantôt prairiaux tantôt cultivés, on a tenté de connaître l'évolution des matières organiques lors de la mise en culture de sols prairiaux. Le fractionnement des matières organiques et la datation des fractions montrent que si les teneurs en matières organiques chutent après culture, cela est dû à la disparition de substances jeunes. Il en résulte clairement un vieillissement des matières organiques dans les sols cultivés.

Des expériences d'incubation de sols ont été faites au laboratoire et concernent les horizons superficiels d'un sol de prairie et d'un sol cultivé. On a mesuré et daté le CO_2 dégagé. On montre que l'âge de ce qui se minéralise est bien plus jeune que l'âge moyen des matières organiques présentes dans le sol. Cet âge, équivalent au temps de turnover, est plus bas dans le sol sous prairie (27 ans) que dans le sol cultivé (40 ans).

MOTS-CLES : Ried d'Illhaeusern - Transects de sols - Datations ^{14}C - Tourbe Sol de prairie - Retournement de prairie - Dynamique de l'humification - Fractionnement de la matière organique - Hydrolyse acide - Incubation - Datation ^{14}C du CO_2 minéralisé - Isotopes stables $\delta^{13}\text{C}$.