

menter le culot de la centrifugation précédente, puis par renversement, pendant deux heures.

Au bout des deux heures, les tubes sont centrifugés à 30 000 t durant 30' (ou 15 000 t pendant 90'). Un aliquot du surnageant (20 ml) est recueilli avec précaution (seringue) et filtré sur millipore (0,22 $\mu$ ) en vue du dosage. Si un résidu apparaît sur le filtre, il est réintroduit pour l'extraction suivante.

Les dosages des éléments minéraux (Fe, Al, Si, Ca) ont été effectués par spectrophotométrie d'absorption atomique. Le carbone a été dosé sur les solutions organiques initiales, soit par la méthode ANNE, soit au Carmograph par combustion.

L'estimation du contenu en carbone des surnageants, après extraction, a été faite dans certains cas par colorimétrie (280 m $\mu$ ) en prenant la solution initiale comme étalon. Ces estimations étant faussées par la coloration due au fer mis en solution, ne sont valables que pour les expériences où il n'y a pas ou peu de fer en solution.

#### 4.2.- Résultats

##### a) Observations préliminaires (Planche II<sub>9</sub> et tableau II<sub>14</sub>)

La mise au point du protocole ci-dessus défini a nécessité des essais au cours desquels certaines observations se sont avérées très utiles pour l'interprétation.

Les premiers essais ont été effectués avec des acides fulviques précipités par HCl, puis dialysés jusqu'à pH 4 environ. La dialyse a éliminé l'excès d'acide et les cations solubles. Mais à mesure que le pH s'élève, la solubilité de l'alumine et du fer diminue, et ces éléments subsistent dans l'adialysat avec la plupart des molécules carbonées. Nous avons contrôlé l'aspect des acides fulviques à ce stade, alors qu'ils contiennent beaucoup d'alumine et un peu de fer et de silice. Nous avons observé alors un grand nombre de billes (Photo 1) qui ne peuvent provenir que de la précipitation d'alumine préalablement dissoute par la soude (pH 12), puis par l'acide (pH 1). Ces billes de gels précipités disparaissent aisément sous l'action des résines cationiques (photo 2). Nous avons vérifié sur le résidu de filtration (photo 3) que la suspension ne contenait pas de billes héritées. Les dosages correspondant à ces contrôles sont rassemblés dans le tableau II<sub>14</sub>.

Tableau II<sub>14</sub>. Teneurs en carbone et en cations des solutions organiques

	Acides fulviques		Hydrosolubles de Hêtre	
	Après dialyse pH 3,8	Après résines pH 3,5	Naturels pH 7,2	Décationisés pH 3,5
C ppm	25	20	20	90
Fe "	30	2	3	6
Al "	210	7,5	2	3
Si "	11	12	2	3
Ca "	0	0	4	0
K "	0	0	4	0

## b) Expériences principales (Planche II<sub>9</sub> Bis)

Par souci de clarté, nous ne rendrons pas compte de toutes les expériences effectuées sur les différents types de gels et de matériaux (roches et sols broyés, gels artificiels), car les résultats essentiels peuvent être illustrés par deux expériences principales.

La première est effectuée sur les divers matériaux, à l'aide d'un extrait hydrosoluble de litière de Hêtre peu concentré (C = 20 ppm) mais à pH voisin de la neutralité, et Non décationisé. Dans ce cas, nous nous rapprochons des conditions de l'andosolisation où les phénomènes d'insolubilisation l'emportent.

La seconde est effectuée avec les mêmes matériaux, mais l'extrait de litière est beaucoup plus concentré (90 ppm) à un pH bas, voisin de 3, et fortement décationisé. Dans ce cas, nous simulons la podzolisation, où les phénomènes de solubilisation par complexation et abaissement du pH l'emportent.

### *α) Andosolisation simulée (Première expérience)*

Quel que soit le type de matériau, les deux extractions à l'eau effectuées en premier, ne mettent en solution qu'un peu de silice (5 ppm).

Par la suite (que l'on emploie des acides fulviques dialysés et décationisés (pH 3) ou des hydrosolubles non décationisés ni dialysés à la même concentration (20 ppm)), on obtient à peu près toujours le même résultat sur tous les matériaux. Nous n'avons donc représenté qu'une seule des courbes établies : celle que nous avons obtenue en utilisant la roche-mère comme support minéral et l'hydrosoluble de Hêtre comme solution organique.

On obtient, dans tous les cas :

- la dissolution de la silice, faible mais constante,
- l'adsorption d'un tiers du carbone (dans le cas du gel, l'adsorption est plus forte) jusqu'à la quatrième extraction,
- l'extraction du fer ne devient mesurable qu'à partir de la quatrième extraction et ne permet d'atteindre une concentration de 8 ppm qu'à la huitième extraction,
- l'extraction d'une quantité très faible d'aluminium à partir de la huitième ou neuvième extraction.

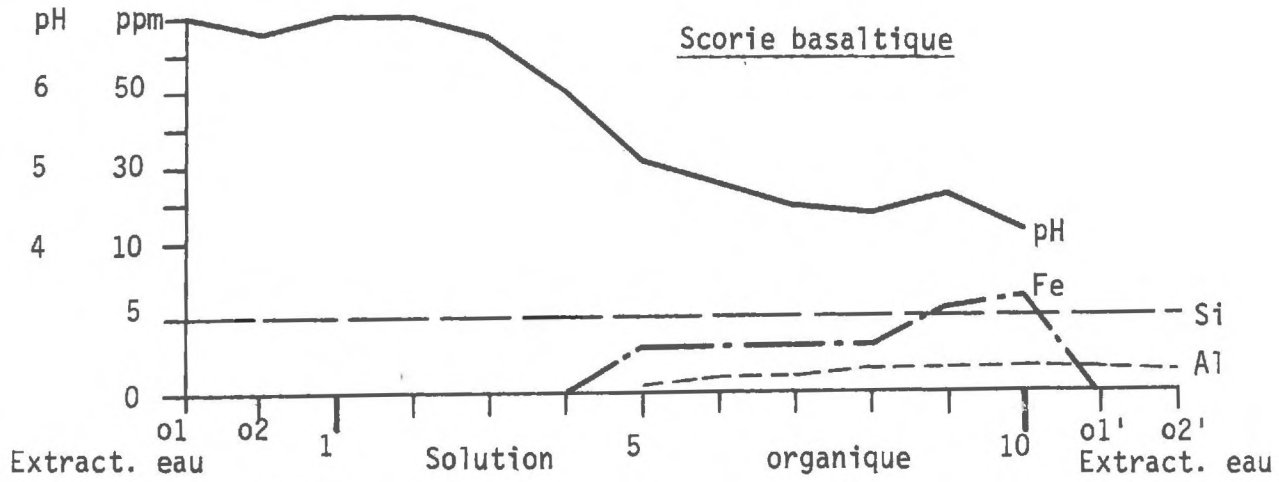
Signalons que nous avons obtenu exactement le même résultat avec des acides fulviques décationisés à la même concentration.

### *β) Podzolisation simulée (Deuxième expérience)*

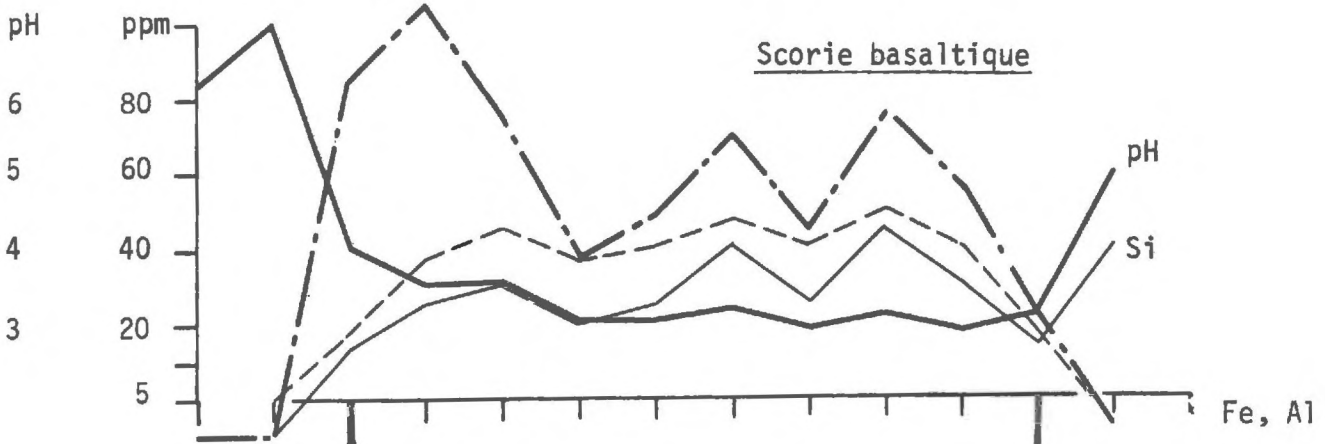
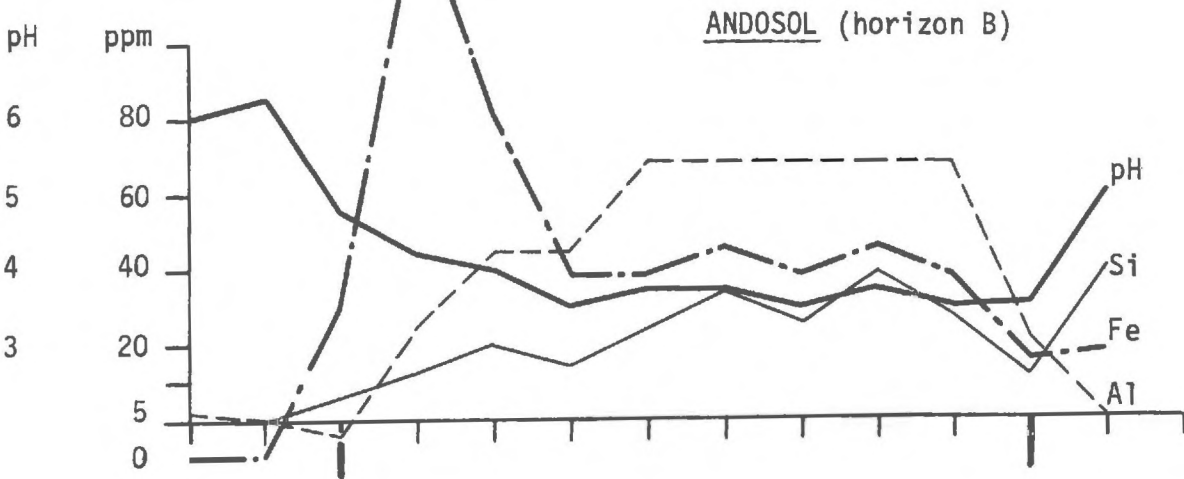
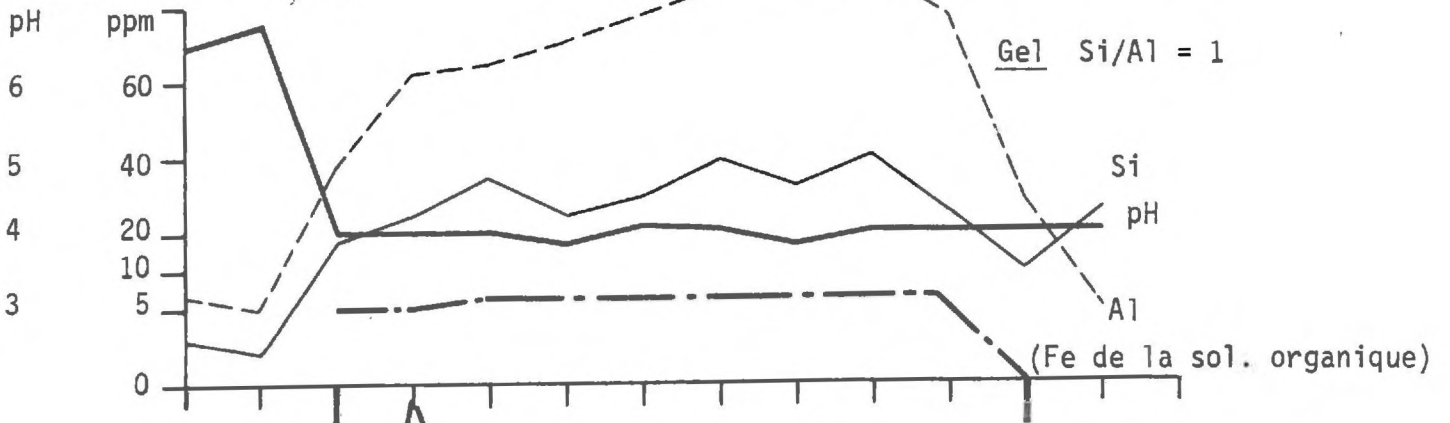
Après quelques essais, nous avons déterminé que, dans les conditions de l'expérience, les solutions carbonées décationisées devaient avoir des concentrations comprises entre 50 et 100 ppm de C pour obtenir des dissolutions rapides et importantes. Les trois courbes reproduites correspondent aux résultats obtenus avec des extraits hydrosolubles de Hêtre assez concentrés (90 ppm) et à pH bas (3,5) après décationisation.



Expérience : ANDOSOLISATION



Expérience : PODZOLISATION



### - Sol et Scorie

Le fer est extrait en grande quantité et en premier lieu, dès la deuxième extraction. A partir de la quatrième, la quantité de fer extraite à chaque traitement correspond à des concentrations de l'ordre de 40 ppm, les fluctuations suivant celles de la concentration de la silice.

L'alumine est extraite un peu moins vite, mais en quantité supérieure et assez constante, à partir de la troisième ou quatrième extraction.

La silice est extraite encore plus lentement, surtout dans le sol et les fluctuations de concentration suivent celles du fer, surtout dans la roche-mère. Lorsque le pH remonte dans l'eau des deux dernières extractions, la concentration de Si remonte également.

### - Gel

L'alumine et la silice sont facilement extraites en quantité importante, à partir des gels qui tous, donnent des courbes d'aspect semblable quel que soit le rapport Si/Al.

Rapportées au poids de l'échantillon, les quantités extraites au total à la fin de l'expérience, sont reportées dans le tabl II<sub>15</sub>. Les quantités de fer et d'aluminium sont à peu près équivalentes dans le sol, bien que les cinétiques soient différentes (12 % du sol environ). Par contre, la scorie libère plus de fer que d'aluminium (7,7 % contre 4,8 %). Dans tous les cas, la quantité de silice extraite est inférieure à celle d'alumine.

Tableau II<sub>15</sub>. Quantités cumulées d'éléments extraits au cours de l'expérience (% du matériau)

	Fe	Al	Si
Gel Si/Al = 1	-	36	15
Sol	12,5	12,5	6
Scorie	7,7	4,8	3,8

### 4.3.- Interprétation - Discussion

Tous ces faits, apparemment un peu disparates, peuvent cependant très bien s'expliquer par les règles du comportement chimique de l'aluminium et de la silice (WEY et SIFFERT, 1961; ACQUAYE et TINSLEY, 1965; ELGAWHARY et LINDSAY, 1972; MILLOT, 1964).

En effet, la silice est soluble dans l'eau à des concentrations relativement élevées, en l'absence d'aluminium dans la solution. Par contre, en présence d'aluminium, la solubilité de la silice est en grande partie dépendante des conditions de précipitation de l'aluminium. Lorsque le pH est assez bas (inférieur à 4), ou que l'aluminium engagé dans un complexe organominéral ne peut pas précipiter, on peut trouver des concentrations de silice relativement élevées (30 à 40 ppm). Par contre, dans les deux premières expériences où les conditions de pH ne permettent pas le passage de quantités

notables d'aluminium en solution, on trouve des quantités de silice faibles et constantes aussi bien dans l'eau que dans les solutions organiques. Mais ces faibles quantités sont néanmoins relativement importantes par rapport à l'aluminium qui est pratiquement indosable.

Au point de vue chimique, ces faits s'accordent bien avec les résultats récemment obtenus par WADA et INOUE (1974) qui remarquent que la silice est d'autant moins adsorbée par le sol que le pH est plus bas et que l'échantillon est riche en composés organiques.

Si on admet que la concentration observée couramment dans les expériences (5 ppm) comme concentration moyenne des eaux de percolation, on obtient, pour une pluviométrie de 1 500 mm par an, dont la moitié serait évapotranspirée, et pour une durée de pédogénèse de 8 000 ans :

$$5 \text{ mg/l} \times 750 \times 8000 = 3.10^7 \text{ mg}$$

soit 60 kg environ de  $\text{SiO}_2$  par tonne de scorie, ce qui représente environ 1/3 de la silice perdue au cours de l'andosolisation, d'après les bilans établis (500 kg x 0,5 sur les 4/5 du profil).

Cette évaluation très approximative représente sans doute un minimum, car les concentrations de silice soluble couramment rencontrées dans les eaux naturelles (MOINEREAU *et al.*, 1974) sont souvent plus élevées. Il en va de même dans les expériences où le temps de contact entre la solution et le support minéral est plus long (WADA et INOUE, 1974).

Bien que d'autres mécanismes de désilicification différentielle puissent aussi intervenir, comme nous l'avons vu plus haut, la perte de silice sous forme soluble est une voie importante de désilicification, après la formation de la phase organo-minérale amorphe insoluble.

BELOUSOVA et TONKONOGOV avaient d'ailleurs noté l'importance de cette phase organo-minérale floculée dans laquelle l'aluminium jouait le principal rôle d'agent d'insolubilisation des composés organiques.

#### 4.4.- Conclusion

Bien que trop fragmentaires, ces expériences nous ont tout de même apporté des renseignements importants sur les mécanismes de l'andosolisation.

- Nous avons vérifié que des "billes" d'hydroxydes d'aluminium pouvaient se former facilement par précipitation. Ceci nous prouve qu'il existe une autre cause de la présence d'éléments sphériques dans les andosols que l'héritage des billes détritiques à partir des verres.

- Les gels artificiels adsorbent énergiquement les composés organiques quelle que soit la coordinance de l'aluminium.

- L'adsorption ou immobilisation des composés organiques est le phénomène qui oppose radicalement les deux types de pédogénèse, andosolisation et podzolisation. Pour que la podzolisation puisse se produire, *il faut que les composés riches en groupements fonctionnels ne soient pas saturés et qu'ils soient largement excédentaires par rapport aux capacités d'adsorption du substrat minéral.*

- La solubilité de la silice, bien que faible en présence d'alumine insoluble, suffit à expliquer pour une bonne part, la désilicification des profils que nous avons observés dans la nature.

## 5.- CONCLUSIONS D'ENSEMBLE

L'andosolisation, comme la brunification sur roche-mère volcanique, sont des pédogénèses au cours desquelles l'altération est assez intense et fortement soustractive, mais la ressemblance est limitée à cet aspect global.

En effet, le devenir des produits de l'altération est très différent dans les deux processus :

- Dans l'andosolisation, le complexe d'altération est essentiellement amorphe, et les liens de l'alumine avec le carbone d'une part, l'excédent de silice non combinée d'autre part, permettent une désilicification intense des profils.

- Dans la brunification, la plus grande partie de la silice et de l'alumine libérées plus progressivement, peut se recombinaer au sein des réseaux des minéraux argileux.

La podzolisation reste le fait des roches très siliceuses peu altérables et les redistributions importantes de matière au sein des profils n'interviennent que tardivement.

En ce qui concerne l'andosolisation, le mécanisme de la désilicification différentielle est dû, et nous avons pu le vérifier expérimentalement, au fait que l'alumine reste stable et que la silice est toujours mobile, soit sous forme de particules au début de l'altération, soit sous forme soluble ultérieurement. La stabilité géochimique de l'alumine est d'abord liée aux conditions physico-chimiques, le pH essentiellement, et au rôle joué par les composés organiques dans la complexation et la "cofloculation" des complexes Al-C qui sont ensuite mis à l'abri des évolutions ultérieures, bio-dégradation et cristallisation.

## II.- FRACTION ORGANIQUE

Nous avons évoqué dans la première partie les propriétés générales de la matière organique des andosols telles qu'elles ressortent des données bibliographiques et de nos propres observations. La minéralisation est en général active et la matière organique s'accumule sous forme de composés humiques dont le degré de polymérisation semble varier en fonction de la végétation et de l'âge des sols.

Nous allons maintenant essayer de préciser expérimentalement les mécanismes de cette accumulation.

Pour cela, nous examinerons tout d'abord le problème de la minéralisation des litières sur la base des résultats respirométriques des incubations de sol en présence de tissus végétaux uniformément marqués au  $^{14}\text{C}$ .

Puis nous essaierons de préciser le comportement des composés humifiés en nous appuyant sur la comparaison des horizons superficiels et profonds, les bilans de la radioactivité après incubation et enfin, les mesures respirométriques de "réincubation" de composés humifiés radioactifs.

Pour de multiples raisons, qu'il serait trop long d'analyser ici, les résultats des incubations de sol dans les conditions habituelles ne sont pas directement transposables aux phénomènes naturels.

Mentionnons simplement que la température élevée ( $28^{\circ}\text{C}$ ) favorise l'activité bactérienne, alors que les andosols semblent assez riches en actinomycètes (ISHIZAWA et TOYODA, 1964).

Cependant, comme dans beaucoup de problèmes abordés en pédologie expérimentale, cette méthode d'approche peut être utilisée grâce aux comparaisons de types de sols et d'horizons différents.

Il pourrait paraître surprenant dans nos régions où les andosols ne sont pas cultivés, d'avoir utilisé le maïs comme matériel végétal plutôt que les graminées ou les espèces de la végétation naturelle des andosols.

Les raisons de ce choix sont surtout d'ordre pratique. Les très difficiles problèmes posés par la culture jusqu'à maturité en atmosphère contrôlée, ont été résolus pour le maïs (ANDRE et al., 1974) et il aurait fallu une adaptation particulière aux plantes montagnardes ou forestières. Les plants de maïs mûr étaient disponibles et leur utilisation comme matériau d'étude de l'humification était en cours (LESPINAT et al., 1975). Cette dernière étude a permis de constater que grâce à l'état de maturité atteint par le maïs, nous pouvions obtenir, au terme des expériences d'incubation, des résultats cohérents avec les connaissances générales des modalités de l'humification sur les andosols, les sols ferrallitiques et les sols bruns.

Afin de mieux comprendre les mécanismes, nous avons essayé de dissocier les deux constituants essentiels des litières : 1) les contenus cellulaires, en général formés d'hydrosolubles rapidement entraînés par les pluies en profondeur 2) les membranes celluloseuses et ligneuses qui subissent une transformation plus progressive.



Pour cela, nous avons utilisé un extrait hydrosoluble de maïs marqué qui représente approximativement les contenus cellulaires, et nous comparons le comportement de cet extrait à celui d'un mélange de tous les tissus, hydrosolubles compris, appelé maïs total.

En ce qui concerne les composés humifiés radioactifs, l'utilisation des extraits hydrosolubles permet également une bonne vérification de leur comportement, car il est possible, en fin d'incubation, d'éliminer tous les produits hydrosolubles résiduels. On peut alors considérer que la radioactivité restante n'est due qu'aux composés humifiés.

Après un rapide rappel des méthodes suivies, nous examinerons les résultats en fonction des expériences effectuées.

Puis, au niveau de l'interprétation, nous regrouperons les enseignements que l'on peut en tirer, d'abord à propos de la minéralisation des litières, puis à propos de l'accumulation des composés humifiés.

## 1.- MATERIEL ET METHODES

### 1.1.- Le Maïs

Nous avons utilisé un mélange de tiges, feuilles et racines (38 %, 57 % et 5 %) finement broyé, provenant d'un plant cultivé pendant 120 jours dans une chambre de culture spéciale (C<sub>2</sub> 3 A, ANDRE et al., 1974).

L'uniformité du marquage à 34  $\mu$ Ci par gramme de C a été vérifiée sur les trois tissus ainsi que sur leurs produits d'hydrolyse (LESPINAT et al., 1975).

Nous avons également utilisé un extrait hydrosoluble concentré sous vide, jusqu'à la concentration d'environ 5 mg de C/ml.

### 1.2.- Les sols

Nous avons utilisé les deux andosols types :

- Andosol type du Mercoeur (865) : horizon A<sub>1</sub> et horizon (B)
- Andosol brunifié du Cantal (589) : horizon A<sub>1</sub>
- Sol brun, Hohrodberg (157) : horizon A<sub>1</sub> et horizon (B)

Ce dernier sol est un sol brun acide jeune, situé dans les Vosges, à 700 m d'altitude (SOUCHIER, 1971).

Avant incubation, ces sols secs, tamisés à 2 mm, sont ramenés à l'humidité équivalente, soit :

865 A<sub>1</sub> : 40 % - 865 (B) : 35 %

589 A<sub>1</sub> : 60 %

157 A<sub>1</sub> : 20 % - 157 (B) : 15 %

### 1.3.- Les gels et allophanes

La préparation des gels a été décrite à propos de l'expérience sur le lessivage différentiel de silice soluble.

A partir de l'horizon (B) du Mercoeur, nous avons préparé un extrait enrichi en allophane, de la manière suivante :

- tamisage à 250 $\mu$
- élimination de la matière organique par NaClO, 24 h à 60°C
- lavage
- décationisation par résines H<sup>+</sup>
- mise en suspension au pH du sol

Une suspension de cet extrait représentant environ 1 g de matière sèche a été utilisée pour la réhumectation du sol brun et de l'andosol.

De même, 1 g de gel artificiel (rapport Si/Al = 2) mis en suspension dans l'eau d'humectation, a été ajouté au sol brun.

L'augmentation de surface spécifique du mélange sol brun-gel ou sol brun-extrait allophanique, est donc de l'ordre de 150 %, alors que sur l'andosol, cette augmentation est environ 10 fois moindre.

### 1.4.- Le dispositif d'incubation

Le dispositif utilisé dérive de celui qui a été mis au point par GUCKERT et al. (1968) et utilisé par CHONE et al. (1974). Les modifications apportées (LESPINAT et al., 1975) portent essentiellement sur le système de régulation du débit d'air exempt de CO<sub>2</sub> (2 l/h), d'humification de cet air et de barbotage dans la soude, destinée au dosage du CO<sub>2</sub> total et radioactif.

La difficulté la plus grande consiste à ne pas dessécher partiellement le sol sous l'effet d'une circulation d'air imparfaitement saturé d'humidité, lorsque l'on choisit de faire circuler l'air à faible débit, pendant des temps très longs.

Ajoutons enfin que, contrairement aux auteurs précédemment cités, nous avons effectué cette incubation à l'abri de la lumière.

### 1.5.- Protocole expérimental

L'incubation proprement dite était en général organisée en deux phases où l'humidité était maintenue à un niveau constant, séparées par une phase au cours de laquelle les sols maintenus en place, étaient balayés par un courant d'air sec, provoquant une déshydratation progressive et partielle des échantillons.

Par contre, pour provoquer un arrêt rapide de l'activité biologique, nous avons parfois provoqué une dessiccation complète du sol à l'étuve.

Dans le cas de l'étude de la biodégradation des composés humifiés issus des hydrosolubles, une troisième phase d'incubation de six semaines ininterrompues a suivi l'élimination des hydrosolubles résiduels.

L'ajout de matériel marqué était effectué avant (matériel solide) ou au moment de la réhumectation. Cet ajout représentait 0,17 % du sol dans le cas du maïs total et 0,13 % dans le cas des hydrosolubles.

L'apport de maïs représente donc toujours moins de 5 % du C du sol (5 % pour le sol brun, 4 % pour le (B) de l'andosol, 2 % pour l'horizon A<sub>1</sub> et 1 % pour l'andosol brunifié).

Pour pouvoir effectuer des comparaisons entre les types de sols, il nous a semblé préférable d'ajouter des doses faibles et uniformes, plutôt que des doses proportionnelles au C du sol, qui auraient varié de 1 à 6.

#### 1.6.- Extractions

En fin d'incubation, les hydrosolubles résiduels ont été éliminés sur la totalité de l'échantillon.

Sur une prise de 10 g, une séparation densimétrique par le mélange bromoforme-alcool ( $d = 1,8$ ) a été faite pour éliminer au mieux le maïs radioactif non humifié.

Un aliquot du culot (1 à 5 g selon les sols) a été utilisé pour faire les extractions alcalines selon le protocole décrit à propos de l'extraction des complexes organo-minéraux :

E I : soude, pH 5,8 (contrôlée au pH-mètre)

E II : Pyrophosphate 1 %, pH 9,8

E III : soude 0,1 N, pH 11,4 à 12 (selon les sols)

Chaque extraction a été suivie d'un lavage à l'eau joint à la liqueur d'extraction proprement dite.

Sur quelques échantillons, nous avons poursuivi par les attaques dithionite et HF-HCl afin d'extraire par la soude (E IV et E V) l'humine solubilisable. A ce propos, il faut noter que la quantité de maïs radioactif représente un poids minime dans l'échantillon (6 à 7 mg) qui sert aux extractions. Après les extractions alcalines, il n'en reste plus que 3 mg et aux pertes inévitables en cours de manipulations, viennent s'ajouter les erreurs de comptage. Ceci fait que le "bilan" de la radioactivité "boucle" en général avec un déficit de l'ordre de 10 %. De plus, certaines solutions sont impossibles à compter par scintillation liquide. C'est le cas des acides hymatomélaniques dans le mélange bromoforme alcool ou du C hydrolysé dans le mélange HF-HCl. Dans ce dernier cas, la fraction hydrolysée a été estimée par différence et jointe à la fraction d'humine solubilisable.

C'est également pour des raisons pratiques du même ordre, que nous avons renoncé à effectuer la précipitation des acides humiques.

## 2.- RESULTATS

### *Expression des résultats*

Nous avons choisi les expressions chiffrées et graphiques suivantes :

$C_S$  : carbone du sol

$C_M$  : Carbone du maïs

$C_T$  :  $C_S + C_M$

Le  $CO_2$  dégagé par la respiration du sol et du maïs est, soit exprimé en valeur absolue : mg de C pour 100 g de sol, soit en valeur relative par rapport à  $C_S$  ou à  $C_M$  en % ou %.

RE :  $CO_2$  de la respiration endogène du témoin, valeur absolue

RM :  $^{14}CO_2$  provenant du maïs, valeur absolue

RT :  $CO_2$  total dégagé, valeur absolue

REM : RT - RM

Selon le point de vue adopté, nous avons utilisé les courbes journalières ou cumulatives correspondant aux valeurs absolues ou aux valeurs relatives ( $RT/C_T$  ;  $RM/C_M$  ou  $RM/C_T$ ).

### 2.1.- Minéralisation globale du carbone du sol (échantillon sans maïs) (Planche II<sub>10</sub>)

Les quatre courbes de la figure 1 illustrent les deux comparaisons sur lesquelles est en grande partie basée l'interprétation :

- comparaison de l'andosol avec le sol brun de référence,
- comparaison de l'activité minéralisatrice vis-à-vis des litières (horizon A relativement riche en litière) et les composés humifiés (horizon (B)).

Sur ces courbes, nous voyons que, vis-à-vis de l'andosol type, l'activité respiratoire globale du sol brun est deux fois plus intense (en valeur relative par rapport au C du sol) dans l'horizon A et cinq fois plus dans l'horizon (B).

En outre, grâce à une dessiccation rapide effectuée après 14 jours d'incubation, nous avons pu constater que, malgré une stimulation temporaire les dessiccations n'étaient pas susceptibles de changer notablement la vitesse de minéralisation dans les horizons de surface. Par contre, dans les horizons (B), où les composés humifiés sont majoritaires, la minéralisation est fortement ralentie dans les deux cas. Il est ainsi établi que *ce n'est pas l'absence de dessiccation qui pourrait être à l'origine de l'accumulation des composés humifiés des andosols.*

Les courbes de la figure 2 correspondent aux témoins de l'expérience comportant une phase de déshydratation modérée et progressive. Ces courbes soulignent la différence de comportement des andosols et des sols bruns au niveau de la respiration endogène globale du sol.

PLANCHE II<sub>10</sub> COURBES CUMULATIVES DU <sup>12</sup>CO<sub>2</sub> ET <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> MINÉRALISÉS

I Sols - Respiration endogène

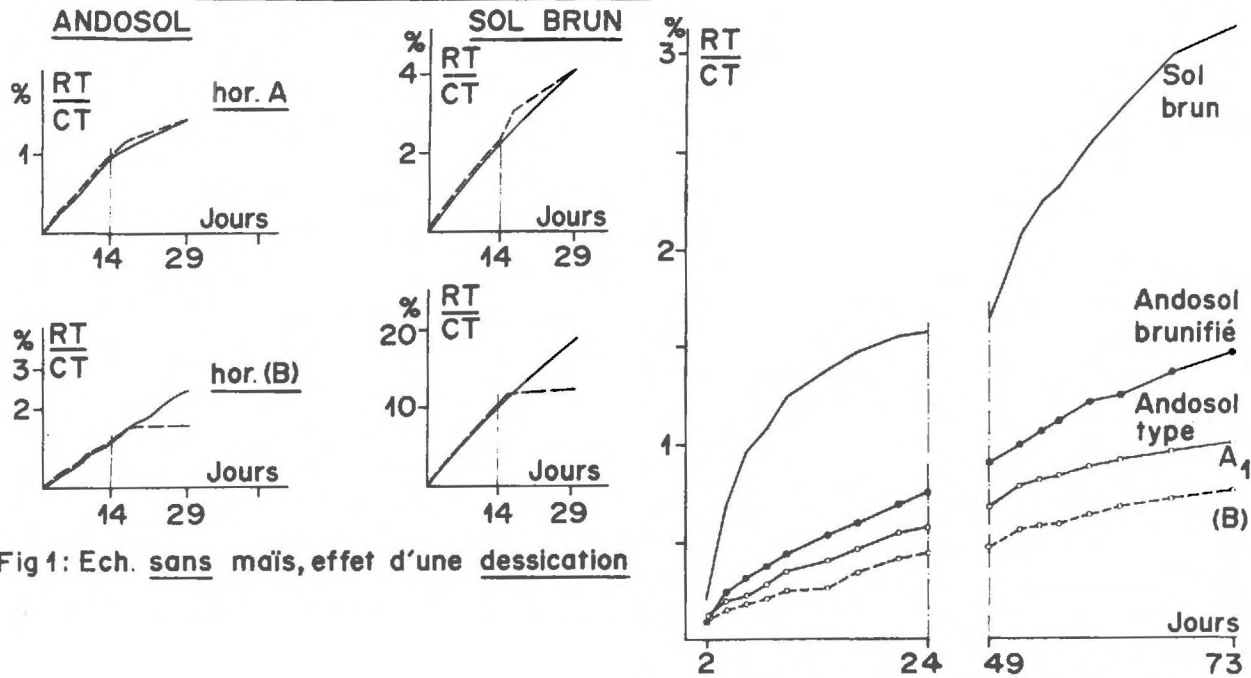


Fig 1: Ech. sans maïs, effet d'une dessiccation

Fig 2: Ech. sans maïs, effet d'une deshydratation

II Sols + apport <sup>14</sup>C (maïs ou hydrosolubles)

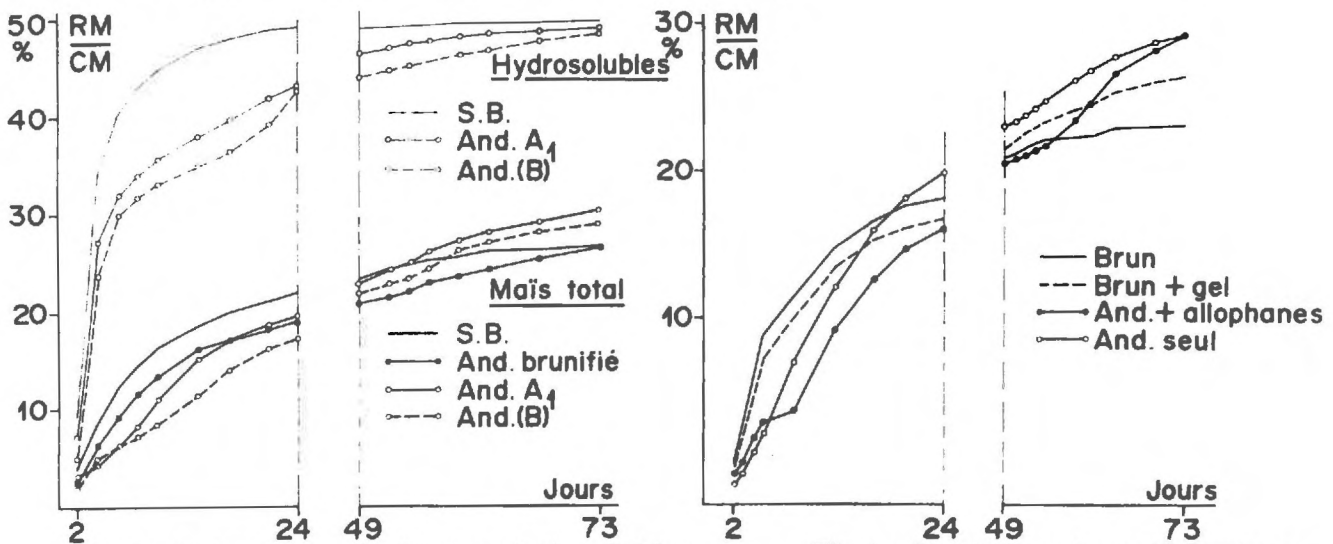


Fig 3 : Ech. avec maïs total ou hydrosolubles

Fig 4 : Ajout de gel ou d'allophanes

III Composés humifiés provenant des hydrosolubles

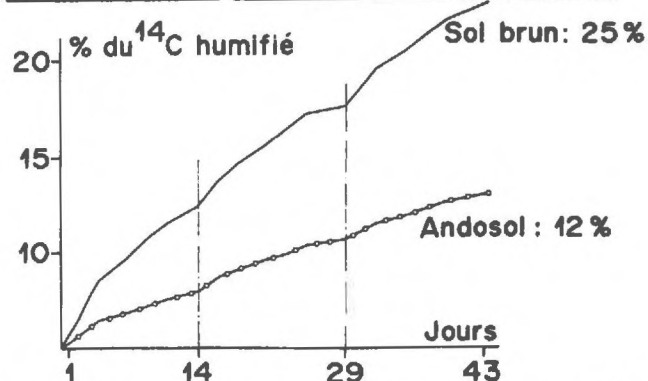


Fig 5: Réincubation des composés humifiés issus des hydrosolubles



Par rapport au C du sol, l'activité respiratoire des andosols est relativement faible, mais constante. Elle est assez peu modifiée après la déshydratation qui est d'ailleurs très partielle, car en trois semaines, les andosols n'avaient même pas perdu la moitié de l'humidité initiale. Par contre, le sol brun se déshydrate facilement et l'activité est fortement stimulée par la réhumectation.

## 2.2.- Minéralisation du maïs marqué

On ne peut distinguer, dans l'activité minéralisatrice globale du sol, ce qui est dû aux litières, sans utiliser de végétaux uniformément marqués.

### a) Composés hydrosolubles (figure 3 )

D'une façon très générale, dans tous les types de sol, on observe durant les premières 48 heures, une minéralisation intense des hydrosolubles (LILY HU et al., 1972). Dans les andosols, on observe un *ralentissement très net de l'activité dans les jours suivants, alors qu'elle continue dans le sol brun.*

Les courbes cumulatives correspondantes sont donc connexes dans le cas du sol brun et présentent une inflexion marquée dans le cas des andosols.

Au bout des 73 jours, la quantité totale d'hydrosolubles minéralisée est à peu près la même dans les deux sols

### b) Maïs total (figure 3)

Dans le cas du maïs total, nous retrouvons, plus atténuée, l'inflexion observée sur les courbes correspondant aux hydrosolubles marqués ajoutés aux andosols.

Nous observons en outre le maintien d'une activité non négligeable durant la période de déshydratation. Après réhumectation, l'activité minéralisatrice devient plus forte pour les andosols que pour les sols bruns. Au bout de 23 jours, la quantité totale de maïs minéralisé est finalement plus grande sur andosol que sur sol brun.

### c) Vérification : ajout de gel et d'allophane au sol brun et à l'andosol

Dans le cas des tissus solides, il nous a semblé nécessaire de confirmer l'effet observé par une expérience complémentaire, car l'interprétation de ce retard n'était pas évidente. Aussi, avons-nous effectué une nouvelle série d'incubations en ajoutant des gels artificiels et l'extrait enrichi en allophane au sol brun et à l'andosol. Les résultats de cette expérience sont reportés sur les courbes de la figure 4 .

La présence de gel ajouté au sol brun provoque une légère baisse de l'activité minéralisatrice durant la première phase, sans changement de l'allure de la courbe. Par contre, l'activité de la deuxième phase est nettement plus intense.

Sur l'andosol, l'ajout d'allophane accentue nettement les phénomènes observés lors de l'expérience précédente : ralentissement initial de la minéralisation au début de la première phase et maintien d'une forte activité durant la deuxième.

### 2.3.- Interactions entre le carbone du sol et le carbone du maïs marqué

L'effet de ces interactions est révélé par l'étude des coefficients de minéralisation reportés dans le tableau II<sub>16</sub>.

L'apport de maïs total semble stimuler légèrement la minéralisation du carbone du sol brun, et reste à peu près sans effet sur celle de la matière organique des andosols.

Par contre, lorsque l'on effectue l'apport sous forme d'hydrosolubles, l'effet produit est très net. Il se produit une forte stimulation de la dégradation de la matière organique du sol brun, *alors que la minéralisation de celle des andosols est fortement ralentie*. Ajoutons que si les quantités de matière radioactive biodégradée sont à peu près les mêmes dans le cas du sol conservé frais et du sol sec, l'effet inhibiteur vis-à-vis du C du sol *est beaucoup plus marqué dans le cas du sol frais* (coefficient témoin 1,09 %, REM 0,28). Il faut souligner dès à présent que ce résultat constituera un élément important de l'interprétation.

Nous n'avons pas établi de coefficients annuels à partir de ces valeurs, car le calcul d'extrapolation repose sur des bases trop arbitraires pour que l'on puisse obtenir des chiffres significatifs. Signalons seulement que ces estimations conduisent à constater que, dans les andosols, les litières se minéralisent environ 20 fois plus vite que le C du sol, et dans le sol brun, deux à trois fois plus vite seulement.

### 2.4.- Bilan de l'humification (Planche II<sub>11</sub> et Tabl. II<sub>17-18</sub>)

Après les incubations, nous avons procédé aux extractions des composés organiques alcalino-solubles et aux attaques de l'humine.

#### a) Hydrosolubles (figure 1)

Le bilan du <sup>14</sup>C après humification des hydrosolubles est assez différent de celui obtenu à partir du maïs total. Le taux d'extraction est plus fort globalement. L'extraction E I disperse beaucoup plus de carbone radioactif, l'humine est beaucoup plus extractible, et il y a moins de pertes au cours des traitements dithionite et acides.

Les bilans de l'humification des hydrosolubles sont très semblables dans les deux horizons de l'andosol. Celui du sol brun diffère surtout par l'importance plus grande de l'extraction II (pyrophosphate) et par l'humine dont une moindre quantité est solubilisable.

#### b) Maïs total

En ce qui concerne le carbone total, les résultats confirment en tout point ceux des analyses de caractérisation (figure 2).

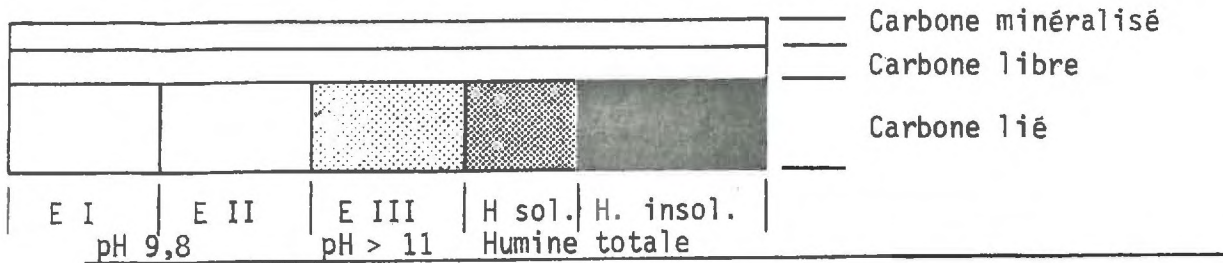
Tableau II<sub>16</sub>. Coefficients de minéralisation (% du C du sol ou du maïs)

Echantillons	24 jours				42 jours			
	Témoïn	Maïs	Sol enrichi		Témoïn	Maïs	Sol enrichi	
			RT/CT	REM			RT/CT	REM
<u>Maïs total</u>								
A <sub>1</sub> Marlieux	0,75	192	0,97	0,80	1,47	268	1,76	1,55
A <sub>1</sub> Mercoeur	0,65	198	0,95	0,59	1,09	306	1,62	1,10
(B)Mercoeur	0,44	174	1,24	0,48	0,75	290	1,95	0,75
Sol brun A <sub>1</sub>	1,57	220	2,97	1,90	3,11	269	4,64	3,40
<u>Hydrosolubles</u>								
A <sub>1</sub> Mercoeur	0,65	434	0,71	0,13	1,09	480	0,94	0,28
(B)Mercoeur	0,44	400	1,20	0,25	0,75	498	1,54	0,48
Sol brun A <sub>1</sub>	1,57	495	4,23	2,80	3,11	558	6,12	5,05

Tableau II<sub>17</sub>.- Comparaison de l'extraction alcaline sur le maïs avant et après incubation

	Hydrosolubles % du maïs restant	Alcalinosolubles			Total extractible
		I	II	III	
Maïs avant incubation	2 % du maïs total	3,6	4,6	16,1	26,1
Sol brun	0,8	9,41	5,4	14,02	29,6
Andosol A <sub>1</sub>	0,4	20	3,5	17,9	41,8
Andosol (B)	0,2	18,45	5,21	28,9	52,8

PLANCHE II<sub>11</sub> : BILAN DU <sup>14</sup>C et du <sup>12</sup>C APRES INCUBATION



CARBONE RADIOACTIF

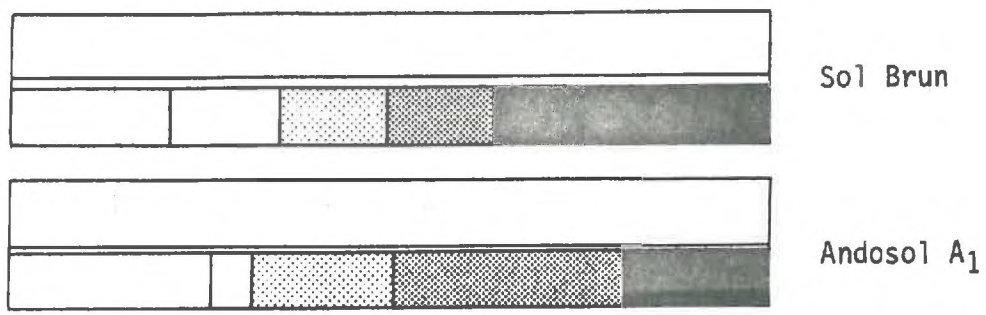


Figure 1.- Hydrosolubles

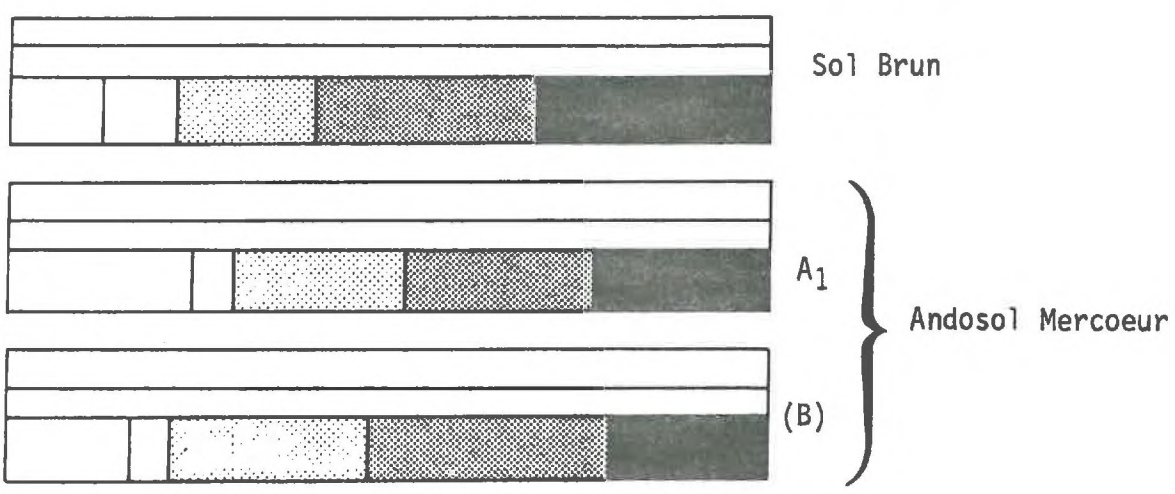


Figure 2.- Maïs total

CARBONE TOTAL

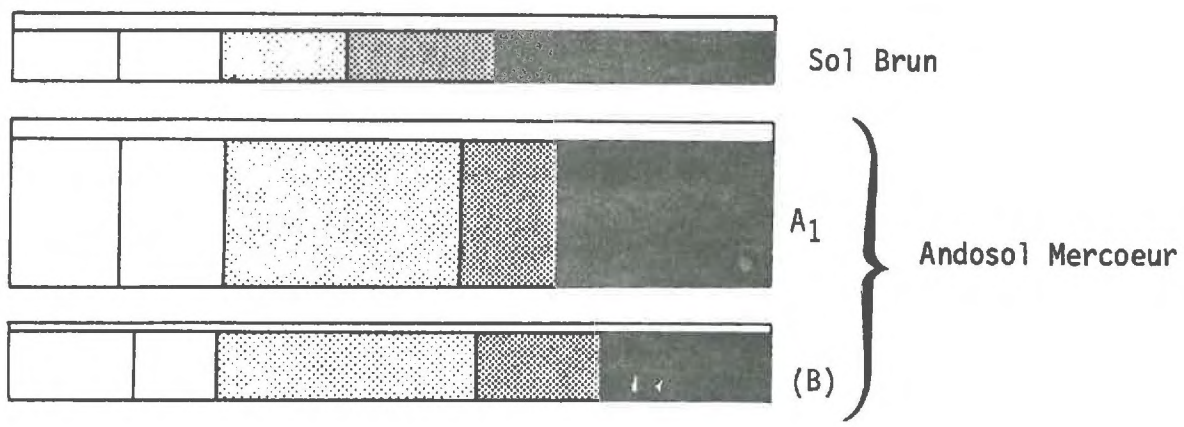


Figure 3



Tableau II<sub>18</sub>.- Bilan du carbone stable et radioactif

	Echantillon	Minér.	Libre	Hydrosoluble + Hymatomélan.	Alcalinosoluble			Humine		Taux d'extract. % du C du sol → III   → V		Total récupéré
					I	II	III	IV + V	Insol.			
<u>STABLE</u> % du C total	Sol brun	4,52	23,2	0,5 + 4	10	9	11	12	28	34,5	46,5	102,22
	Andosol A <sub>1</sub>	1,70	13	0,1 + 1,5	12	10	30	10,2	19,8	53,6	63,8	98,30
	Andosol (B)	1,95	8	0,1 + n.d.	14	9	35	10,5	23,5	58,1	68,6	102,05
<u>RADIOACTIF</u> Maïs total % du <sup>14</sup> C introduit	Sol brun	22	26	0,4 + n.d.	4,9	2,8	7,3	13	17	15,4*	28,4	93,45
	Andosol A <sub>1</sub>	30	24	0,2 + n.d.	10,8	1,9	9,7	10,6	7,3	19,7 22,6 32,3	36,4 33,2 47,4	94,50
	Andosol (B)	29	17	0,1 + n.d.	8,5	2,4	13,3	16	8	24,3 34,7	42,3 60,4	94,30
Hydrosoluble	Sol brun A <sub>1</sub>	50	3,5	4,8	9,3	6	6	3,3	15,3	21,3 42,6	24,6 45,2	92
	Andosol A <sub>1</sub>	48	0,6	2,5	11,3	4,3	7,8	12	8	23 45	35 67	93,6

\* En caractères gras : % du <sup>14</sup>C introduit  
 En italique : % du <sup>14</sup>C non minéralisé



En ce qui concerne le carbone radioactif, nous avons tout d'abord effectué une comparaison entre l'effet des extractions alcalines sur le maïs non incubé (en mélange avec le sol brun de référence) et ces mêmes extractions effectuées après incubation. Pour faciliter la comparaison, les résultats sont ramenés à radioactivité constante, c'est-à-dire en éliminant le  $^{14}\text{CO}_2$  minéralisé et la fraction légère séparée par densimétrie (tableau II<sub>17</sub>).

Les résultats montrent que dans tous les sols, l'humification se traduit par une diminution des hydrosolubles et une augmentation nette des quantités extraites par les deux premiers traitements alcalins (pH 9,8 et pyrophosphate). Par contre, la quantité de C dissous par l'extraction III (soude, pH 12) n'est significativement plus élevée que dans le (B) de l'andosol.

Le bilan du  $^{14}\text{C}$  après incubation est figuré selon la même disposition que pour le C total (figure 2), la quantité de C dégagé étant reportée au-dessus de la fraction surnageante. Les résultats chiffrés sont reportés sur le tableau II<sub>18</sub>.

Le taux d'humification du maïs est plus faible (70 %) que celui du C du sol (90 %). Cependant, nous avons remarqué un effet d'entraînement mécanique à la densimétrie : plus la fraction légère est abondante, plus on y trouve de débris de maïs.

Les taux d'extraction sont bien sûr beaucoup plus faibles que ceux du C stable, très humifié : moins de 50 % par rapport au  $^{14}\text{C}$  de la fraction lourde au lieu de 70 à 80 %. Cependant, le taux d'extraction maximum est bien trouvé dans l'horizon le plus andosolique.

La répartition des fractions extractibles est à la fois fonction du type de sol et de la répartition observée sur le maïs non incubé. Nous avons donc déjà, dans le sol brun, plus de  $^{14}\text{C}$  dans l'extraction III que dans les deux premières, E I + E II. A plus forte raison, nous trouvons dans l'andosol, des quantités de  $^{14}\text{C}$  croissantes de A en (B). Dans ce dernier horizon, l'influence de la nature du substrat minéral est particulièrement nette. Ce fait démontre la rapidité de la formation de complexes d'insolubilisation très stables. Il est très important, car il vient renforcer la constatation faite dans le chapitre I, à propos des constituants organiques, selon laquelle les acides humiques extraits par la soude à pH 12 sont non seulement plus stables (temps moyen de résidence supérieur) mais encore antérieurs aux acides fulviques qui leur sont superposés en position externe.

Dans les trois échantillons, la quantité d'humine radioactive soluble est supérieure à la fraction  $^{12}\text{C}$  équivalente. Elle est tout de même relativement plus grande dans l'andosol que dans le sol brun.

#### 2.5.- Réincubation des composés humifiés (Fig. 5, Planche II<sub>10</sub>)

La dernière expérience consiste à faire subir une troisième phase d'incubations aux échantillons de sol brun et d'andosol qui avaient été enrichis en hydrosolubles, après avoir au préalable éliminé, par un lavage à l'eau, les composés non humifiés qui pourraient subsister après les deux premières phases d'incubation.

Dans ces conditions, nous avons estimé que le dégagement de CO<sub>2</sub> pouvait être attribué à la biodégradation des composés humifiés. Les deux courbes de la figure 5 montrent que, en 43 jours, *la microflore du sol brun parvient à biodégrader deux fois plus de composés humifiés radioactifs(\*) que celle de l'andosol.*

### 3.- INTERPRETATION

#### 3.1.- Principes d'interprétation

L'interprétation de ces résultats ne porte pas sur la nature exacte des processus microbiologiques ou physico-chimiques qui interviennent au cours des transformations subies par les molécules carbonées radioactives durant l'incubation.

Il s'agit plutôt de replacer cette étude expérimentale dans le cadre des études générales consacrées ces dernières années aux caractères biochimiques et écologiques de l'humification (DUCHAUFOR, 1973).

Rappelons qu'au terme de toutes ces études, il apparaît que l'ensemble des composés humifiés comporte deux parties principales :

La première résulte de l'insolubilisation rapide des composés hydrosolubles, précurseurs de l'humification, sans provoquer de transformations immédiates des molécules. L'agent principal d'immobilisation est variable selon le type de sol et le stade de l'humification. En dehors du rôle joué, à ce point de vue, par les argiles (GUCKERT, 1973 ; NGUYEN KHA, 1972), par la perte de groupements fonctionnels (ANDREUX *et al.*, 1974) le rôle des cations a été souligné, dans le cas du calcium, par VEDY (1973), et dans le cas du fer, par TOUTAIN (1974). Nous avons vu, à propos des complexes organo-minéraux (BRUCKERT *et al.*, 1974) que dans le cas des andosols, l'aluminium jouait un rôle prépondérant à cet égard. Dans chaque groupe de sols, un élément joue ainsi un rôle pilote dans l'humification.

La deuxième partie des composés humifiés correspond à ceux qui ont subi des transformations profondes après une phase de maturation qui peut être plus ou moins longue selon les types de sols. Lorsque le pédoclimat comporte de nombreuses alternances d'humectation et de dessiccation, il a été démontré (NGUYEN KHA, 1973) que cette maturation était nettement plus rapide et accentuée.

Pour plus de clarté, nous examinerons donc successivement les caractères de l'évolution des hydrosolubles radioactifs qui passent très rapidement dans la catégorie des composés humiques d'insolubilisation.

Puis nous interpréterons le comportement de la litière globale qui comprend, rappelons-le, une partie assimilable aux hydrosolubles (les contenus cellulaires) et une partie solide (les membranes).

Nous pourrions alors étudier les caractères des composés humifiés dont la maturation s'est effectuée durant toute la durée de l'expérience grâce, en particulier, aux phases de déshydratation et de dessiccation.

---

\* Remarque : Au niveau du C total, on observe à peu près la même différence (CO<sub>2</sub> total rapporté au C total).

### 3.2. Evolution des hydrosolubles et des composés d'insolubilisation récente

Dans le cas des composés hydrosolubles radioactifs ajoutés au sol, nous avons observé un net ralentissement de l'activité minéralisatrice dans le cas des andosols. Le ralentissement de l'activité minéralisatrice est classiquement attribué à l'adsorption des molécules organiques par les composés amorphes (BROADBENT et al., 1964 ; WADA et INOUE, 1967). Ce ralentissement s'étant également manifesté, bien qu'avec une moindre amplitude, sur les échantillons de maïs total, nous avons confirmé qu'il s'agissait bien, même dans ce cas, d'un phénomène d'insolubilisation par adsorption en ajoutant un surplus de composés amorphes naturels ou artificiels.

Mais, au total, la quantité globale de composés hydrosolubles minéralisée au bout de 73 jours, est du même ordre de grandeur dans les andosols et dans le sol brun.

L'adsorption superficielle des composés organiques les fait entrer dans la catégorie des "composés humiques" sans changer durablement leur comportement vis-à-vis de la microflore du sol. La seule insolubilisation par adsorption n'est pas de nature à provoquer à la longue l'accumulation du carbone dans les andosols.

### 3.3.- Evolution de la litière globale

En dehors du léger fléchissement initial de l'activité minéralisatrice dont nous venons de préciser le sens, le comportement des litières représentées par le maïs radioactif est caractérisé dans les andosols, par la permanence de sa dégradation durant la phase de déshydratation d'une part, et durant la deuxième phase de l'incubation.

Ce comportement caractéristique est reproduit sur sol brun par le simple ajout de gel silico-alumineux artificiel. Or, nous avons observé, dans ce cas, que l'humidité du sol brun était conservée par la présence du gel. Il nous semble donc logique d'admettre que c'est la permanence de l'humidité qui favorise la maintien de l'activité minéralisatrice du sol à un niveau plus élevé que dans le sol brun.

La permanence de l'humidité est une propriété bien connue des andosols, comme nous l'avons vu dans la première partie de cet ouvrage, et il est également bien connu que l'activité microbienne est étroitement fonction de l'humidité du sol (DOMMERGUES, 1962).

Sur le terrain, et à l'échelle de l'année, les conséquences de ces faits seront que des litières de même nature, également biodégradables, disparaîtront plus vite sur un andosol qui ne se dessèche jamais, que sur les sols sujets à des dessiccations périodiques.

Nous retrouvons donc expérimentalement un des faits importants qui caractérise l'andosol. Dans les andosols, la minéralisation des litières est active et il apparaît que ce phénomène est lié au maintien constant de l'humidité à un niveau élevé.

### 3.4.- Evolution des composés humifiés après maturation

Nous avons vu que le comportement des composés d'insolubilisation récente (qui seraient habituellement considérés comme acides fulviques) n'est pas très fortement affecté par l'adsorption sur les sites Al libres du milieu.

Il n'en est pas de même pour les composés humifiés de longue date et qui ont subi une "maturation", soit de longue durée, dans les conditions naturelles du sol, soit de courte durée dans l'expérience d'incubation des composés radioactifs, où la maturation est artificiellement accélérée par les phases de déshydratation et de dessiccation.

En comparant le comportement des échantillons d'horizon (B) naturels (non enrichis en produits marqués) des andosols et du sol brun, nous avons déjà remarqué que les composés humifiés des andosols étaient beaucoup moins biodégradables que ceux des sols bruns. En outre, la cinétique des phénomènes respiratoires observés (absence ou faiblesse du "pic initial" durant les premières 48 heures après réhumectation) correspond à l'absence de substrat biodégradable. Cette absence est ici due à la nature des liaisons au sein de la phase organo-minérale amorphe et non à la soustraction par lessivage comme dans certains autres sols (MERLET, 1975).

En outre, la comparaison des coefficients de minéralisation de ce même horizon (B) de l'andosol en l'absence et en présence de substances marquées facilement biodégradables, a souligné leur grande stabilité vis-à-vis des phénomènes de biodégradation.

L'étude des bilans de la radioactivité nous a confirmé que l'on pouvait, à bon droit, considérer qu'au terme des 73 jours d'incubation, une partie importante des composés radioactifs avaient acquis les propriétés des acides humiques naturels du sol.

C'est pourquoi nous avons estimé que l'expérience de "réincubation" des composés humifiés issus de l'évolution des hydrosolubles était décisive. Et cette expérience nous a montré qu'une fois humifiés en présence de l'andosol, les composés humiques radioactifs sont deux fois plus résistants que lorsqu'ils ont évolué en présence du sol brun.

C'est, à notre avis, là que réside le véritable mécanisme de l'accumulation du carbone dans les andosols. L'effet de protection physique et chimique des amorphes vis-à-vis de la biodégradation suppose un certain nombre de phénomènes qui sont rapides à l'échelle de la pédogénèse, mais ne sont tout de même pas instantanés, et que nous avons globalement désigné par le terme de "maturation".

Une fois mises à l'abri des cycles de renouvellement, les molécules organiques pourront évoluer pour leur propre compte, et au cours du temps, acquérir des propriétés bien différentes des molécules biodégradables insolubilisées ultérieurement.

A cet égard, la différence de comportement des horizons A et (B) de l'andosol est particulièrement intéressante, car à tous les points de vue, il est apparu que l'horizon (B) avait une capacité d'adsorption et d'insolubilisation beaucoup plus grande que l'horizon A déjà saturé de composés organiques dont une partie importante reste biodégradable.



Nous retrouvons donc, au niveau des expériences d'incubation, des faits qui viennent confirmer les observations faites lors de l'étude statique des complexes organo-minéraux et à l'occasion des mesures d'âge apparent par le  $^{14}\text{C}$ .

Après une phase de maturation relativement limitée et rapide vis-à-vis de la durée de la pédogénèse, une partie des composés humifiés est mise à l'abri des processus de biodégradation et peut ainsi évoluer par vieillissement pendant que l'activité biologique du sol utilise comme substrat, les molécules fraîchement précipitées par une charge minérale modérée.

#### 4.- DISCUSSION

L'interprétation de ces expériences doit être maintenant rapprochée des résultats de l'étude statique de caractérisation des complexes d'une part, et d'autre part des résultats expérimentaux obtenus par d'autres auteurs.

Les études expérimentales de l'évolution des composés organiques des andosols sont assez peu nombreuses. Nous retiendrons les résultats suivants :

Les expériences d'adsorption expérimentale de composés organiques montrent que les allophanes peuvent fixer 4 à 10 fois plus de composés organiques que les autres minéraux secondaires (KOBŌ et FUJUSAWA, 1964 ; KYUMA et KAWAGUCHI, 1964 ; WADA et INOUE, 1967).

WADA et INOUE démontrent en outre que l'adsorption est plus lente sur les allophanes que sur les montmorillonites, mais qu'une fois fixées, ces substances demeurent plus extractibles par la soude 0,1 N, mais moins biodégradables dans le cas des allophanes que dans celui des montmorillonites.

BROADBENT et al. (1964) ont effectué des observations du même ordre, mais ils étudient également les modifications du cycle de l'azote et vont plus loin dans leurs conclusions. Grâce à l'étude de la microflore et des groupements fonctionnels des substances humiques, ces auteurs démontrent que les premiers stades de l'évolution de la matière organique fraîche sont peu différents dans les andosols et les sols argileux (bruns). L'évolution ultérieure reste semblable si le complexe organo-minéral est déjà formé et abondant (KATO, 1972). Par contre, elle est différente s'il reste des sites minéraux disponibles et actifs et si les substances humiques sont riches en groupements fonctionnels. Dans ce cas, il y a adsorption et blocage de l'action enzymatique. A l'équilibre, une fois le complexe formé, le sol à allophane contient deux fois plus de matière organique que le sol à halloysite, mais la minéralisation annuelle est du même ordre de grandeur.

A cela, nous ajoutons que, avant d'atteindre cet état d'équilibre, lorsque l'on peut encore former des composés humiques analogues à ceux qui ont évolué dans les premiers stades de l'altération, l'aptitude à la minéralisation de ces composés est faible. Les valeurs expérimentales des coefficients que nous avons obtenues sont assez basses en valeur absolue et ne sont pas tellement différentes de celles que l'on peut obtenir dans la nature. En effet, si on compare les mesures effectuées *in situ* par INO et MONSI (1965) sur les andosols du Mont Kirigamine (coefficient de minéralisation annuel de 0,5 % du C) avec nos propres valeurs extrapolées



à un an (1 %), on trouve des valeurs qui ne sont pas si différentes qu'on pouvait le croire. Ceci prouve que malgré leur caractère très artificiel quant aux conditions expérimentales, ces expériences d'incubation in vitro ne sont pas inutiles.

Par ailleurs, nous avons observé les phénomènes d'adsorption qui sont la cause du ralentissement de l'activité minéralisatrice des composés hydrosolubles peu transformés et riches en groupements fonctionnels. Mais ce phénomène d'adsorption n'est pas la cause directe de l'accumulation du carbone dans les andosols, puisque son effet n'est que temporaire. Comme l'ont noté WADA et INOUE, la fixation des molécules organiques par l'ensemble amorphes-allophane est importante, mais lente, et interprétée comme une pénétration des substances humiques au sein du "réseau embrouillé" (\*) des amorphes.

C'est sans doute finalement là que réside l'explication des phénomènes observés. La simple adsorption physico-chimique ne provoque qu'un ralentissement passager de la biodégradation.

Par contre, l'absorption au sein d'une masse d'amorphes met les molécules organiques à l'abri des processus de minéralisation, et leur permet d'évoluer vers des formes plus polymérisées au sein de ce complexe doué d'une grande stabilité.

Cette notion de stabilité nous ramène à considérer qu'à l'échelle du temps de la pédogénèse, cet état stable peut durer plusieurs milliers d'années (T.M.R. supérieur à 3 000 ans dans la fraction humique la plus interne). A cette échelle, nous pouvons considérer que la formation de ce complexe stable est très rapide, puisqu'il a été obtenu au laboratoire à partir de 73 jours d'incubation.

Mais contrairement à d'autres groupes de sols, c'est ici l'aluminium et non le fer, qui joue le rôle principal d'agent d'immobilisation. Ceci avait déjà été noté au niveau de l'étude de caractérisation statique des complexes organo-minéraux et correspond aux résultats obtenus par INOUE et WADA (1968), qui avaient remarqué que le pouvoir adsorbant des amorphes vis-à-vis des composés organiques était inversement proportionnel au rapport silice/alumine. Ces auteurs trouvent pour les amorphes les plus alumineux, un pouvoir adsorbant de l'ordre de 15 g de C pour 100 g de fraction fine (inférieure à  $2\mu$ ). Si on transpose ces valeurs à nos propres échantillons, on trouve par le calcul, des valeurs du même ordre de grandeur (4 à 5 %) que ce que nous avons observé dans les horizons (B) des andosols, où le carbone est en majorité très stable (3 à 4 000 ans de T.M.R.). Seuls des changements pédoclimatiques lents ou rapides peuvent entraîner la déstabilisation de ces complexes et amorcer une évolution ultérieure (MOINEREAU, 1974).

---

\* "entangled silice frame work of allophane structure".

## 5.- CONCLUSION

Cette étude expérimentale nous a permis de reproduire les deux phénomènes majeurs de l'évolution de la matière organique dans l'andosolisation :

- minéralisation rapide des litières
- accumulation des composés humifiés

Grâce au rapprochement des résultats de cette étude avec ceux de la caractérisation biochimique et structurale des complexes organo-minéraux d'une part, et ceux des études fondamentales (BROADBENT et al., 1964; WADA et INOUE, 1967 ; INOUE et WADA, 1968) effectuées sur ce sujet, nous avons pu également avancer dans l'interprétation des mécanismes de l'accumulation.

L'adsorption physico-chimique ne peut, à elle seule, expliquer qu'un ralentissement temporaire de la biodégradation des molécules organiques hydrosolubles, héritées des litières, ou néoformées par un début de biodégradation

Par contre, si, à cette adsorption s'ajoute l'enfouissement des molécules organiques au sein du complexe amorphes-imogolite-allophane, l'ensemble devient très stable, aussi bien en ce qui concerne les constituants organiques qui ne se dégradent plus, que les constituants minéraux qui ne peuvent cristalliser.

Avec ces expériences d'incubations qui se sont avérées très utiles pour vérifier la validité des hypothèses précédemment émises, s'achève l'étude dynamique et expérimentale de l'andosolisation en climat tempéré. Nous pouvons donc maintenant aborder, après un résumé des résultats obtenus dans les diverses phases de l'étude, les conclusions générales au terme desquelles nous pourrions proposer une interprétation d'ensemble des principaux caractères de l'andosolisation en climat tempéré.

CONCLUSIONS GENERALES

Les andosols constituent, parmi les sols volcaniques, un ensemble très particulier qui n'a été intensivement étudié que depuis une vingtaine d'années en Nouvelle Zélande et au Japon, et une dizaine d'années seulement dans les autres parties du monde. La plupart de ces études portent sur la fraction minérale active, amorphe ou cristallisée, un petit nombre sur les composés organiques, *mais à peu près aucune n'envisage comme objet d'étude, la phase organo-minérale amorphe dans son ensemble.*

*C'est pourquoi le but du présent travail consistait à mettre en relief la nature, la structure et l'évolution de la phase organo-minérale amorphe qui est particulièrement importante dans les andosols des régions tempérées.*

La compréhension des mécanismes de l'andosolisation, outre son intérêt propre, tire son importance du fait que beaucoup de processus généraux tels que la formation et l'évolution des complexes organo-minéraux ou la cristallogénèse des argiles sont rendus plus visibles par la vitesse de l'altération et la pauvreté de la roche en minéraux phylliteux primaires. Les andosols sont donc de véritables laboratoires d'étude de l'humification, des liaisons organo-minérales, de l'argilogénèse, pour ne citer que les processus les plus importants.

L'exposé de notre travail a été divisé en deux parties :

La première est consacrée tout d'abord aux définitions, propriétés générales et classification des andosols sur la base de rappels bibliographiques, complétés par des contributions méthodologiques originales concernant la granulométrie et l'estimation quantitative des amorphes. Puis, l'étude écologique des sols de deux régions clés du Massif Central Français, complétée par une analyse détaillée des facteurs de l'andosolisation, nous conduit à formuler, sous forme d'hypothèses, les mécanismes essentiels de l'andosolisation en climat tempéré.

La deuxième partie rassemble l'essentiel des recherches effectuées sur la phase organo-minérale amorphe. Ces recherches ont été d'abord menées d'un point de vue statique, selon une démarche analytique s'adressant à la nature des constituants, à leurs propriétés et à la structure de leur agencement. Puis, d'un point de vue dynamique, nous avons cherché à mettre en évidence, par des analyses et des calculs cristallochimiques,

l'évolution de la fraction minérale, et, par des expériences basées sur l'utilisation de végétaux marqués au  $^{14}\text{C}$ , l'évolution de la matière organique.

Grâce à tout cet ensemble de mesures, d'observations, d'analyses et d'expériences, nous pourrons, en conclusion, proposer un *schéma d'interprétation générale des grands traits de l'andosolisation en climat tempéré.*



## PREMIERE PARTIE

### CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PROPRIETES

La première partie de notre travail a consisté à vérifier que certains des sols du Massif Central, formés aux dépens de matériaux volcaniques présentaient bien les propriétés particulières des andosols que nous avons rapidement passées en revue :

#### Propriétés morphologiques et micromorphologiques

- Structure grumeleuse très fine et très poreuse
- Microstructure en pseudo-particules à plasma isotrope

#### Propriétés physiques

- Densité apparente très faible
- Grand pouvoir de rétention de l'eau
- Texture fine à pseudo-limons abondants

#### Propriétés chimiques

- Capacité d'échange cationique élevée et variable avec le pH
- Grand pouvoir de fixation des anions

#### Propriétés biochimiques

- Accumulation de matière organique
- Bonne activité biologique
- Matière organique humifiée à évolution différenciée selon l'âge et la végétation

En outre, une contribution méthodologique originale a été apportée à propos de la granulométrie et de l'extraction des substances amorphes. Grâce aux améliorations apportées sur ces deux points, nous avons pu obtenir à la fois une estimation rapide et correcte de la teneur globale en produits amorphes, et de bonnes conditions d'étude quantitative et qualitative des minéraux argileux.

## ETUDE ECOLOGIQUE

L'étude écologique de terrain s'est ainsi trouvée étayée par une définition et une classification plus précise et plus rationnelle des andosols, reposant sur une limite de teneur en amorphes et en argile de la terre fine (silice + alumine amorphe  $\geq 10\%$  ;  $\Sigma \text{Si} + \text{Al}/\text{Arg.} \geq 1,5$  dans l'horizon (B).

Cette étude écologique a également mis en valeur l'importance et la hiérarchie des différents facteurs de l'andosolisation, première phase indispensable à une bonne compréhension des mécanismes.

Des questions fondamentales se trouvent ainsi posées, auxquelles nos recherches apportent des éléments de réponse dans le cadre de l'objectif précédemment défini :

- Pédoclimat : Rôle de la permanence de l'humidité dans le maintien à l'état amorphe, la cristallogénèse des argiles et l'évolution de la matière organique.

- Roche-mère : Caractères pétrographiques et géochimiques et leur rôle dans la formation des amorphes par héritage de particules vitreuses ou par précipitation des solutions d'altération.

- Age des matériaux : Mise en évidence des phases prépédologiques et pédologiques de l'altération.

- Durée de la pédogénèse : Influence du facteur temps dans l'évolution et le renouvellement des composés humifiés et dans l'argilogénèse.

Un certain nombre de réponses aux questions ainsi posées, sont fournies par l'étude écologique elle-même.

- L'analyse globale des séquences altitudinales nous a ainsi montré que le degré d'andosolisation était étroitement lié au taux de matière organique dont dépend, au premier chef, la capacité d'échange et le taux d'alumine amorphe.

- La teneur globale en éléments amorphes et, plus particulièrement, en fer et en silice, est liée à l'indice de basicité et de teneur en fer de la roche-mère.

- L'altération des matériaux les plus anciens se traduit par une plus grande quantité d'argile dont "hérîte" le sol ultérieurement formé.

- A une autre échelle de temps, la durée de l'andosolisation sur quelques milliers d'années se traduit plus par l'accumulation des composés humifiés, la désaturation en bases et la désilicification, que par l'argilogénèse.

*La brunification* sur roche volcanique peut être soit directe, au-dessous de la zone altitudinale climacique des andosols, soit intervenir après l'andosolisation, à la fin d'une évolution naturelle lente, ou artificiellement accélérée (façons culturales).

*La podzolisation* reste le fait des roches les plus acides, donc les moins altérables.

Tous les intergrades andiques - bruns-andiques et andopodzoliques - peuvent être rencontrés.

## DEUXIEME PARTIE

### ETUDE STATIQUE DES CONSTITUANTS

Nous avons surtout procédé à des recoupements en rapprochant les résultats de l'étude des éléments amorphes et des complexes organo-minéraux. Toutes les extractions ont été contrôlées par microscopie électronique.

#### Amorphes - Allophane

En ce qui concerne les amorphes, nous avons tenté d'éliminer un certain nombre d'ambiguïtés résultant de l'emploi abusif du terme d'allophane pour des produits extraits ou isolés dans des conditions qui sont rarement comparables. La confrontation de nos résultats avec d'autres travaux nous amène à considérer que le simple héritage des particules vitreuses hydratées n'est pas de nature à expliquer pour une part importante, l'abondance de la phase amorphe des andosols. Le phénomène le plus important est sans aucun doute le phénomène de précipitation, sur place, des produits issus de la dissolution (par hydrolyse ou altération microbienne ou biochimique) des minéraux et verres primaires. Il n'a pas semblé possible de trancher entre deux hypothèses concernant cette précipitation :

- La précipitation d'éléments purement minéraux précède-t-elle l'insolubilisation des composés humiques, ou s'agit-il d'une précipitation de complexes organo-minéraux ?

Dans le cas des andosols tempérés, où l'altération a lieu sous l'influence directe des solutions organiques, la deuxième hypothèse nous paraît plus probable. En climat tropical, où l'hydrolyse joue un rôle important dans l'altération, il n'est pas impossible que le premier mécanisme puisse jouer.

La présence d'allophane au sens précis donné par les études physico-minéralogiques des auteurs belges, ou par DE VILLIERS ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 6$ ), n'apparaît pas indispensable pour expliquer les propriétés particulières des andosols. La présence d'Al tetracoordonnée peut être expliquée de plusieurs manières, et de toute façon, seuls les sites Al VI sont directement accessibles aux anions organiques ou minéraux si l'on tient compte des caractères du "modèle" allophane et des dosages d'amorphes réellement effectués dans les sols.

### Les constituants organiques

Nous avons rangé sous le terme de complexes organo-minéraux, tout un ensemble de corps organiques et minéraux qui se dissolvent simultanément au cours d'extractions progressives, contrôlées par microscopie électronique.

Les résultats de ces extractions ont été en outre confrontés avec des mesures d'âge apparent de fractions carbonées qui sont venues compléter les mesures d'âge de la matière organique totale, effectuées dans le cadre de l'étude écologique.

Deux ensembles bien distincts de composés humifiés ont ainsi été mis en évidence.

Les premiers sont relativement peu polymérisés, et sont en quelque sorte "accessibles" aux processus de biodégradation. Ils subissent de ce fait des cycles de renouvellement relativement rapides, du fait de leur position "externe".

Les seconds, en position "interne", sont plus polymérisés, plus stables biologiquement, mais aussi plus anciens que les premiers. Ils nous sont apparus intimement liés à certains produits de l'altération, dont les halloysites glomérulaires. Il nous semble probable que dans une première phase de l'andosolisation, certaines fractions carbonées soient contemporaines du début de la pédogénèse.

## DYNAMIQUE DE L'ANDOSOLISATION

### Evolution de la fraction minérale

Nous avons tout d'abord cherché à mesurer l'amplitude des transformations qui conduisent de la roche-mère au sol en établissant des bilans approximatifs de l'évolution de la terre fine.

Au cours de l'andosolisation, près de la moitié de la matière minérale est soustraite, ces pertes étant essentiellement constituées de silice et de bases, alors que la quasi totalité de l'alumine reste sur place.

Ainsi apparaît clairement la différence entre l'andosolisation et la brunification, processus au cours duquel il se produit des pertes simultanées de silice et d'alumine combinées au sein des argiles, qui subissent un lessivage plus ou moins important.

La podzolisation reste le fait des roches peu altérables sous l'influence des composés organiques qui provoquent une certaine redistribution de l'alumine et du fer au sein des profils.

Par rapport à la ferrallitisation, autre type d'altération intense des climats tropicaux auquel on a parfois comparé l'andosolisation sur le plan de l'intensité de la désilicification, les différences semblent plus apparentes sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif. En effet, le facteur de stabilité de l'alumine n'est pas, ici, son engagement dans des réseaux kaoliniques ou gibbsitiques, mais sa liaison avec la matière organique qui inhibe la cristallisation et empêche les processus d'entraînement. Nous n'avons pas abordé expérimentalement le problème



très délicat de la cristallo-génèse, mais nous avons cependant vérifié au laboratoire, que dans les conditions physico-chimiques des andosols, une fois la phase organo-minérale formée et abondante, la perte de silice soluble qui se produit, pourrait, à elle seule, expliquer entre le tiers et la moitié de la désilicification observée dans l'étude géochimique.

#### Phases de l'argilogénèse

A ce point de l'étude, nous sommes arrivés à la question de l'origine des minéraux secondaires cristallisés, non pas en vue d'établir une fois de plus des "filiations" désormais classiques, mais plutôt en vue de préciser quelque peu les sites et la chronologie de l'argilogénèse au cours de l'andosolisation.

Deux phases principales apparaissent : la première, très précoce, se produit à l'occasion des phénomènes hydrothermaux ou de l'hydrolyse "interne" qui suit immédiatement la mise en place des laves ou des scories. Cette phase pourrait conduire à la formation des chlorites, des smectites et sans doute, d'une partie au moins de l'halloysite (halloysite glomérulaire). Pour ce dernier minéral, une autre hypothèse peut également être envisagée, qui serait la cristallisation des sphérules héritées des verres en liaison avec leur désilicification dans le sol.

Ensuite, au long des phases suivantes de la pédogénèse, dans le milieu très lessivant pour les bases et la silice, on aboutirait à la cristallisation de l'imogolite, puis de la kaolinite, et enfin de la gibbsite dans les solutions des sols.

Les deux phases se distinguent donc à la fois dans l'espace : milieu interne aux éléments de roche, milieu externe, solution du sol, et dans le temps : argilogénèse pré-pédologique, argilogénèse pédologique.

#### Evolution de la matière organique

La deuxième série de travaux expérimentaux concernait les transformations conduisant de la matière organique fraîche aux composés humifiés très stables, que nous avons observés dans l'étude analytique.

Grâce à l'emploi de matériel végétal uniformément marqué utilisé dans les expériences d'incubation, nous avons pu reproduire les deux aspects principaux de ces transformations. Nous avons précisé tout d'abord une des causes principales de la rapidité de minéralisation des litières : due semble-t-il au maintien d'un haut niveau d'activité biologique grâce à la permanence de l'humidité.

Nous avons ensuite reproduit les deux phases de l'humification : la simple insolubilisation des composés hydrosolubles sur les gels amorphes ne provoque qu'un ralentissement passager de l'activité minéralisatrice et ne peut donc expliquer l'accumulation de carbone humifié. Après "maturation" ces composés humifiés deviennent assez rapidement résistants à la biodégradation, puisque dans les limites du temps de l'expérience, les composés humiques radioactifs étaient devenus deux fois plus résistants dans l'andosol que dans le sol brun.

Enfin, nous avons pu confirmer que les composés humiques les plus stables sont également les plus anciens, puisqu'ils se forment directement et ne dérivent donc pas de la polymérisation lente des acides fulviques plus récents et moins stables.

## INTERPRETATION GENERALE : PHASES DU PROCESSUS D'ANDOSOLISATION

Dès leur mise en place, ou immédiatement après, les laves et les scories subissent des altérations hydrothermales et météoriques au cours desquelles apparaissent les premiers minéraux secondaires (chlorites, smectites, halloysites, hématites) dont héritera ensuite le sol au moment de sa formation.

Au cours de ce premier stade, la silice en excès peut déjà être éliminée dans les solutions aqueuses, et aller précipiter plus loin sous forme de particules d'opale ou de croûte siliceuse. Par entraînement mécanique, ces particules, ainsi que quelques minéraux argileux, peuvent également être entraînés par les nappes et rejoindre les bassins versants.

Lors de la colonisation par la végétation, l'altération s'accélère considérablement sous l'influence des processus de solubilisation provoqués par les composés organiques issus des litières et de l'activité microbienne de la rhizosphère. Ces molécules organiques précipitent immédiatement autour des particules minérales disponibles, en formant autour d'elles des sortes de gangues organo-minérales.

Ainsi se constitue l'essentiel du stock d'humus très stable d'une part, et d'autre part, la masse de fer, alumine et silice amorphes, qui caractérisent les andosols et leur confèrent leurs propriétés si particulières.

Les complexes insolubles servent ainsi de "piège géochimique" pour l'aluminium et pour le fer, qui peuvent difficilement participer à des agrégations d'argile, mais ne participent pratiquement pas à des néoformations importantes et rapides de minéraux argileux ou d'oxydes cristallisés.

En l'absence de "barrière géochimique" spécifique, la silice peut continuer à être évacuée différentiellement sous forme soluble.

L'abondance des floculats organo-minéraux qui enrobent toutes les particules minérales et organiques a un triple effet :

- blocage des processus d'entraînement mécanique
- ralentissement de l'altération
- inhibition des processus de biodégradation

Jusqu'à la fin de cette phase, les temps moyens de résidence de certaines fractions humiques des horizons profonds sont peu différents de l'âge réel du sol.

Un état d'équilibre relativement stable est atteint lorsque la majeure partie des composés organiques issus des litières ou de l'activité rhizosphérique, n'étant plus soustraits aux cycles de biodégradation par l'abondance des gels minéraux, peuvent subir un turn-over de plus en plus rapide. Ce serait à ce stade que se formeraient la kaolinite puis la gibbsite.

*En fin d'évolution, au bout d'un temps variable selon les conditions stationnelles ou les événements locaux (mise en culture par exemple), la matière organique, même la plus ancienne, finit par se biodégrader, les amorphes par cristalliser en réseaux argileux, et le sol amorce une nouvelle évolution pédologique variable selon les climats et les conditions stationnelles:*

- Podzolisation sur roche acide, en conditions climatiques rigoureuses ;*
- brunification sur roche basique, en conditions plus modérées ;*
- ferrallitisation : ferrallites et sols gibbsitiques des pays tropicaux.*

## ANNEXE ANALYTIQUE

### INTRODUCTION

Nous avons regroupé dans cette annexe, les fiches morpho-analytiques des profils les plus caractéristiques dont les plus significatifs ont été utilisés pour l'étude de la matière organique et la reconstitution cristalochimique.

Il n'était pas possible de décrire dans le détail tous les profils prélevés au cours des études de terrain et sur lesquels s'appuie l'interprétation des facteurs de l'andosolisation.

Aussi avons-nous regroupés tous les résultats analytiques dans des tableaux, en soulignant pour chaque sol prélevé, les caractéristiques jouant un rôle dans l'interprétation d'ensemble.

Pour limiter le nombre d'analyses, nous n'avons prélevé que des profils complets représentatifs d'ensembles volcaniques jugés importants d'une part, et d'autre part des prélèvements plus sommaires de sol volcanique dont les caractères morphologiques ne permettaient pas un diagnostic suffisamment précis sur le terrain.

Nous n'avons donc prélevé que très peu de sols volcaniques non andiques et seulement trois profils sur roche-mère non volcanique.

Les observations morphologiques utiles à l'interprétation, mais qui n'ont pas été accompagnées de déterminations analytiques, sont évoquées dans le texte de la partie "Observations écologiques".

Par contre, nous avons mentionné tous les numéros des sols analysés, même lorsque nous n'avons pas jugé indispensable de reproduire l'analyse dans cette annexe.

N° 1235 : PONTGIBAUD : SOL BRUN

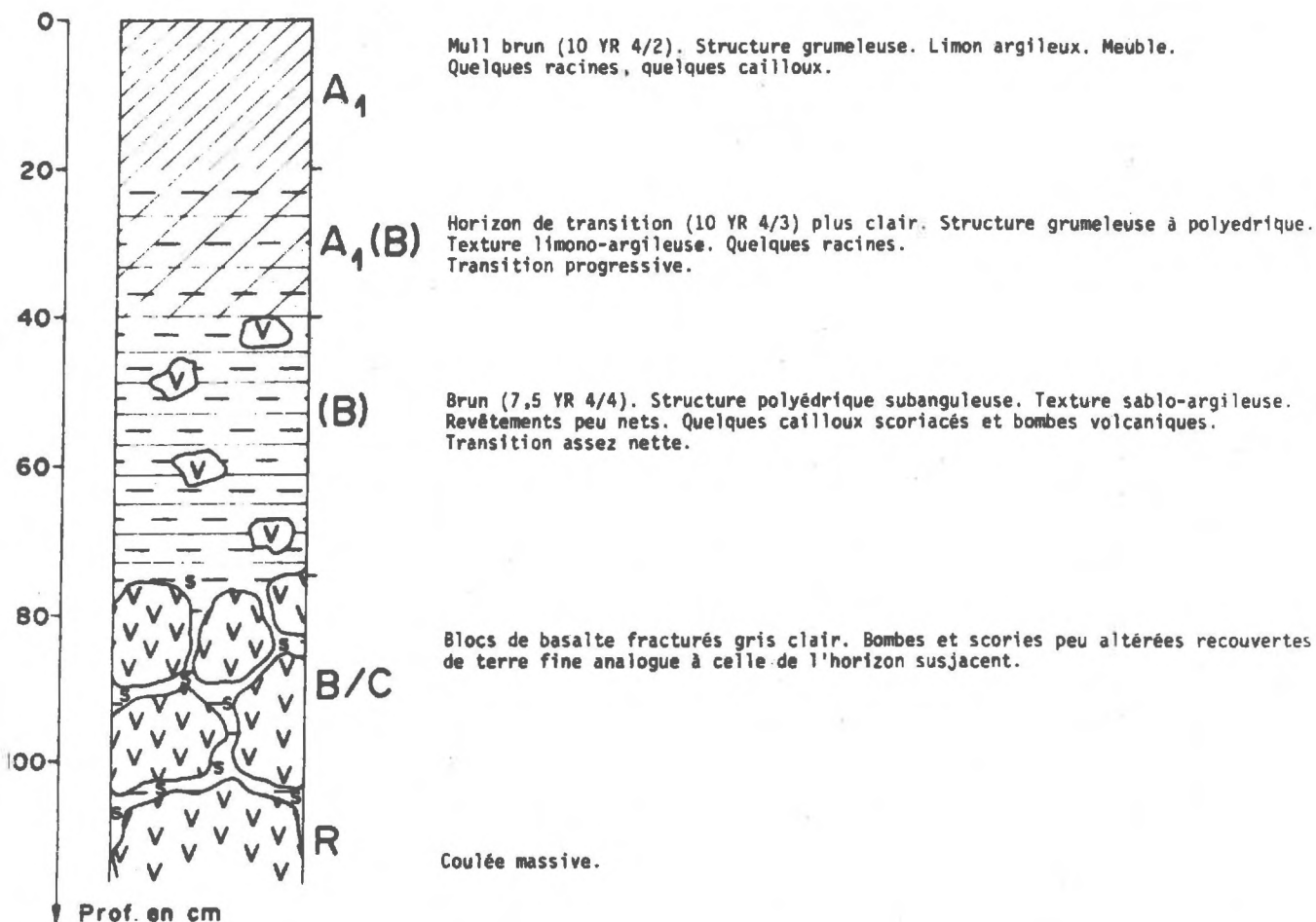
Localisation : 100 m au nord de la N 141 à la sortie de Pontgibaud (N 50°96' - E 0°58') Altitude 700 m.

Végétation : Chênaie-Hêtraie à Grande Fétuque et Ronces.

Roche-mère : Labradorite.

Station : Faible pente orientée vers l'Ouest.

Profil : Description morphologique



Hor.	Prof.	Granulométrie % <sup>*</sup>					M.O. %	ST PT % <sup>**</sup>	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
	0-20	5,8	6,8	9,3	30,2	18,1	11,2	88,2	5,6	0,456	12	5,5	19,6	2,60	0,90	23,1	30,8	75,1	34,0	14,8	8,
A <sub>1</sub> (B)	20-40	19,1	7,8	9,7	27,9	13,6	2,4	77,3	1,2	0,097	12	6,2	10,4	0,60	0,15	11,2	16,0	69,8	34,8	14,0	10,
(B)	40-60	33,5	11,4	8,6	20,9	10,5	1,0	79,3	0,5	0,038	13	6,5	7,6	0,47	0,14	8,2	9,4	87,6	21,6	7,2	6,
B/C	60-70	12,2	11,4	12,7	32,5	14,3	0,8	56,4	0,4	0,038	10	5,6	7,2	2,00	0,10	9,3	6,7	139,1	29,6	6,8	8,

\* Méthode résines

\*\* ST = Sol tamisé ; PT = Poids total.



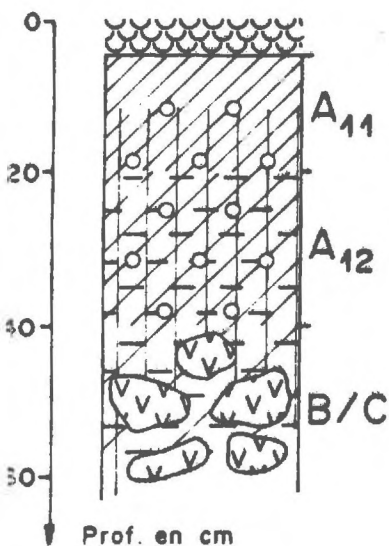
N° 574 : LE CHEIX : SOL ANDIQUE

Localisation : Le Cheix (15) - Feuille 1/50 000 Mauriac 3-4 - E 2°31' - N 45°16' - Altitude 950 m.

Végétation : Lande à Genêt et Fougère aigle.

Roche-mère : Basalte.

Profil : Description morphologique.



Frais, couleur (5 YR 4/8) humide, (7,5 YR 3/4) sec. Débris organiques. Pas d'éléments grossiers. Limono-sableux. Structure fragmentaire grumeleuse très fine. Volume des vides assez important. Semi-rigide, fragile. Chevelu de racines. Transition graduelle.

Frais, couleur (5 YR 3/6) humide, (7,5 YR 4/3) sec. Matière organique non directement décalable. Texture et structure identiques. Volume des vides faible, Semi-rigide, fragile, "fluent". Quelques racines. Transition graduelle.

Frais, couleur (5 YR 3/4) humide, cailloux abondants de basalte. Texture limono-sableuse. Poreux. Quelques racines.

Hor.	Prof.	Granulométrie %			M.O. %	Humidité à 105° %	C% orga.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100S <sup>+</sup>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>11</sub>	0-20	31,8	13,5	40,0	17,5		8,75	0,59	14,8	5,0	1,42	0,63	0,25	2,30	26,3	8,7	32	19,6	6,8
A <sub>12</sub>	20-40	32,6	16,3	40,2	12,8	4,9	6,40	0,47	13,6	4,9	0,89	0,50	0,25	1,64	25,2	6,5	32	20,8	7,2
B-C	40-60	35,7	18,8	39,2	9,5	4,2	4,75	0,34	14,0	5,0	1,05	0,48	0,25	1,78	24,6	7,2	28	19,6	6,8

\* Somme Limons + argile de la dispersion Méthode Internationale hexametaphosphate.

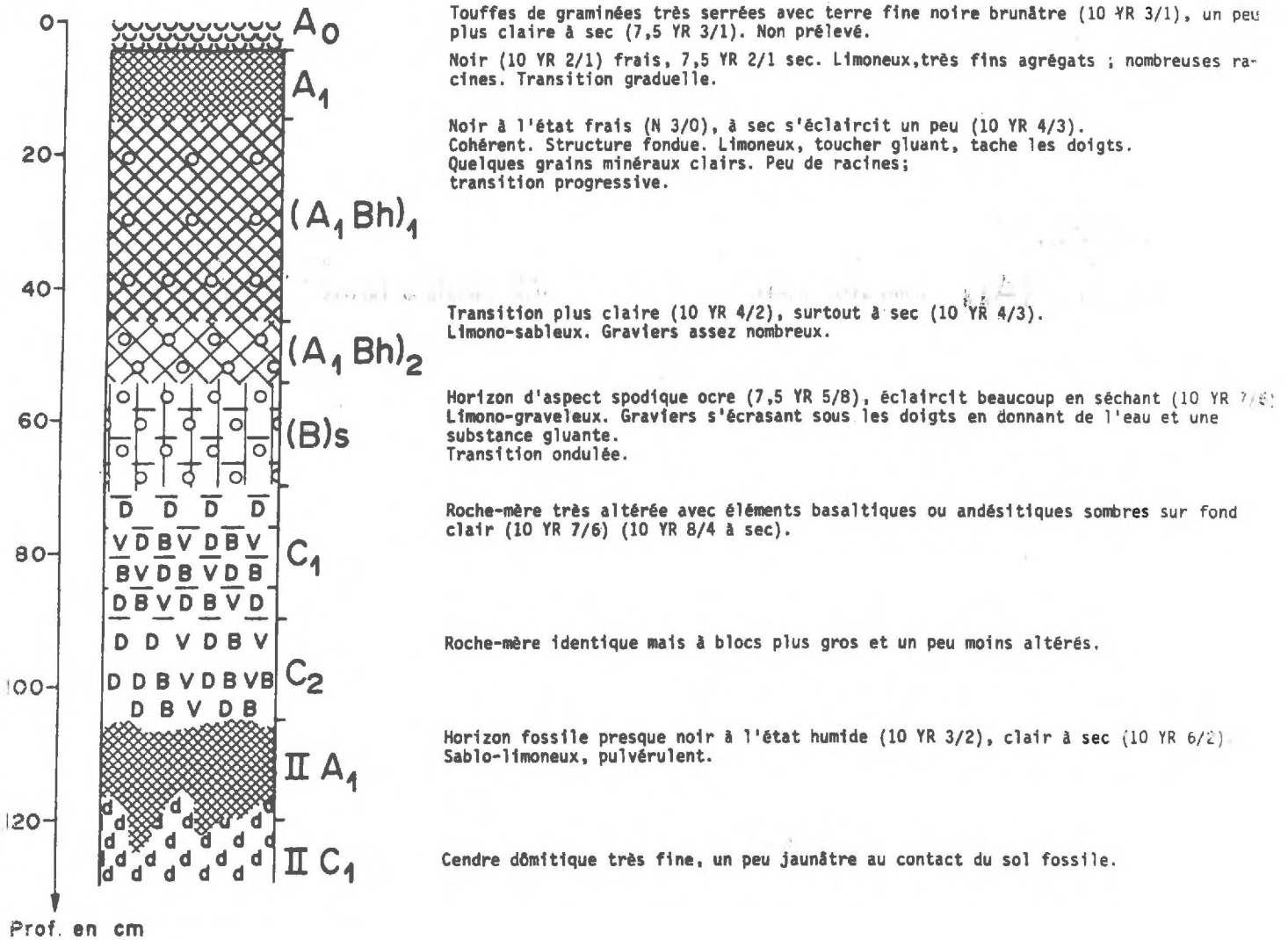
N° 716 : PUY-DE-DÔME : ANDOSOL HUMIQUE (sol ando-podzolique)

Localisation : Sommet du Puy-de-Dôme (1/50 000 Clermont-Ferrand N 50°86' - E 0°64'85"). Talus du Parking. Altitude 1 465 m.

Végétation : Pelouse pseudo-alpine à *Festuca rubra*, *Alochemilla alpina*, *Viola sudetica*, *Genista pilosa*, *Vaccinium uliginosum*, etc.

Roche-mère : Projections de dômite à hornblende dominantes, mais nombreux débris allochtones basaltiques ou andésitiques.

Profil : Description morphologique



Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	ST PT %**	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100S <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-15					32,8	55	16,4	1,237	13,3	4,5	2,10	0,60	0,44	3,14	72,2	4,3	14	16	3
A <sub>1</sub>	15-45					26,8	75	13,4	0,946	14,2	4,5	1,40	0,28	0,16	1,84	52,6	3,5	18	27	8
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	45-55	25,6	8,7	42,5	0,1	15,4	36,7	7,7	0,610	12,6	4,8	0,90	0,12	0,06	1,08	38,2	2,8	23	48	15
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	45-55	40,0	10,0	34,9	1,3	9,8	50	4,9	0,336	14,6	5,0	1,00	0,15	0,06	1,21	29,0	4,2	23	46	22
C <sub>1</sub>	55-70	77,9	8,3	10,7	0,5	1,7	36	0,8	0,067	14,2	5,3	0,45	0,10	0,07	0,62	7,0	8,9	12	15	10
C <sub>2</sub>	> 90	76,2	10,3	8,9	0,2	0,9	33,3	0,4	0,032	14,1	5,4	0,55	0,10	0,08	0,73	6,8	10,7	10	11	10

\* L+A = Somme limons + argile de la dispersion Méthode Internationale hexametaphosphate.

\*\* ST = Sol tamisé ; PT = Poids total.

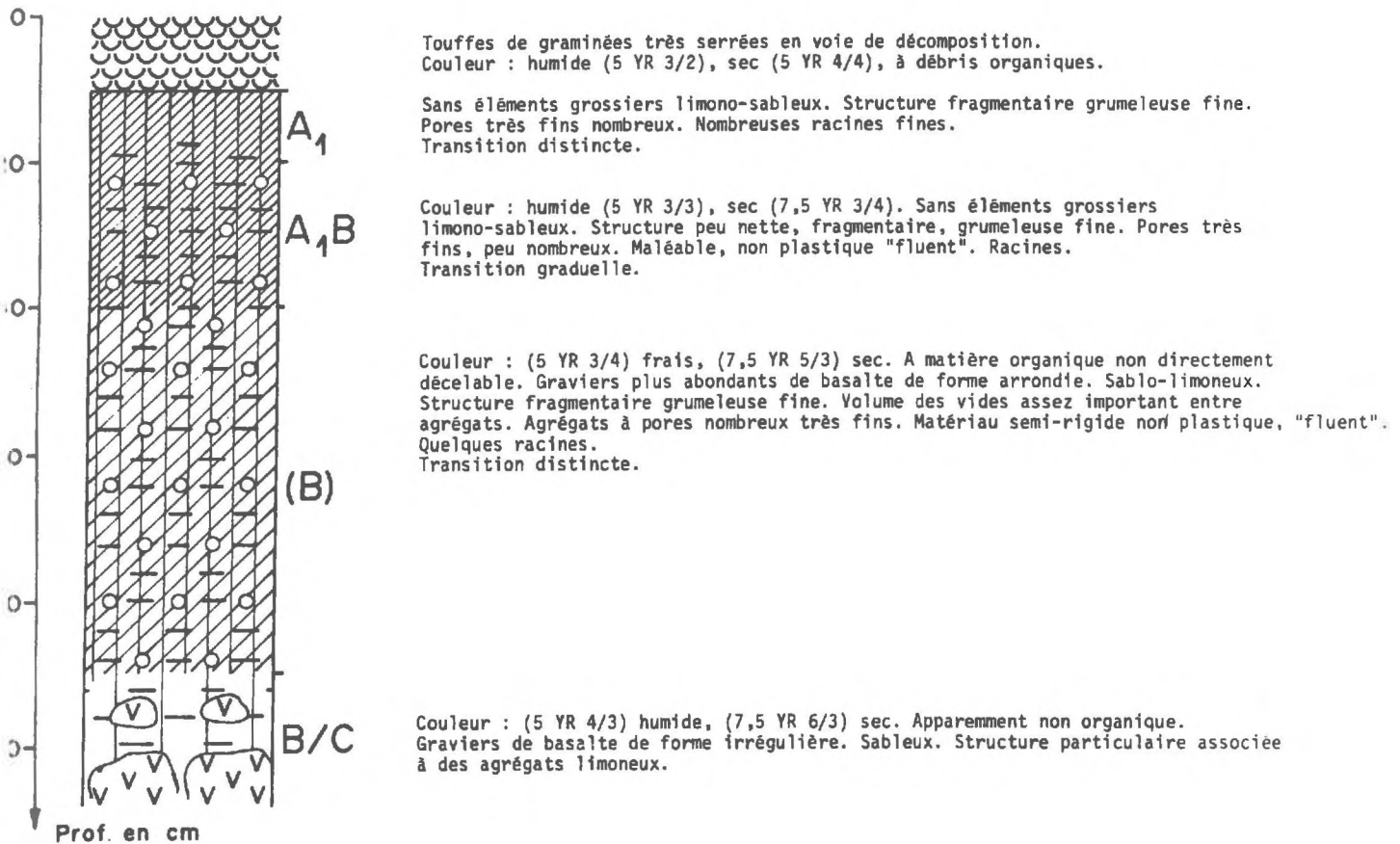
N° 589 : MARLIEUX : ANDOSOL

Localisation : Montagne de Marlieux (15) - Feuille 1/50 000 Riom-es-Montagne 5-6 - E 2°35'10" - N 45°13' - Altitude : 1 180 m.

Végétation : *Nardus stricta*, *Festuca rubra*, *Viola sudetica*, *Dianthus carthusianorum*.

Roche-mère : Ankaramite.

Profil : Description morphologique.



Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	Humidité à 105° %	C% orga.	N% Tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> / <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A**							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-20					31,6		15,8	1,24	12,7	4,5	1,50	0,73	0,39	2,62	49,5	5,3	51,2	32,0	6,0
A <sub>1</sub> B	20-40	10,7	14,5	59,9	8,7	16,8	12,2	8,4	0,69	12,2	4,9	1,21	0,40	0,13	1,74	47,2	3,7	51,6	44,0	15,2
B <sub>1</sub>	40-80	16,6	16,3	57,3		11,0	10,1	5,5	0,40	13,8	5,3	1,27	0,37	0,11	1,75	41,6	4,2	60,0	53,2	27,2
B <sub>2</sub>	> 80	36,2	17,5	52,8	7,4	3,8	6,0	1,9	0,15	12,9	5,5	1,11	0,40	0,04	1,55	28,0	5,5	48,0	32,0	19,2

\* L+A = Somme limons + argile de la dispersion Méthode Internationale hexametaphosphate.

\*\* A = Argile vraie, dispersion aux résines.

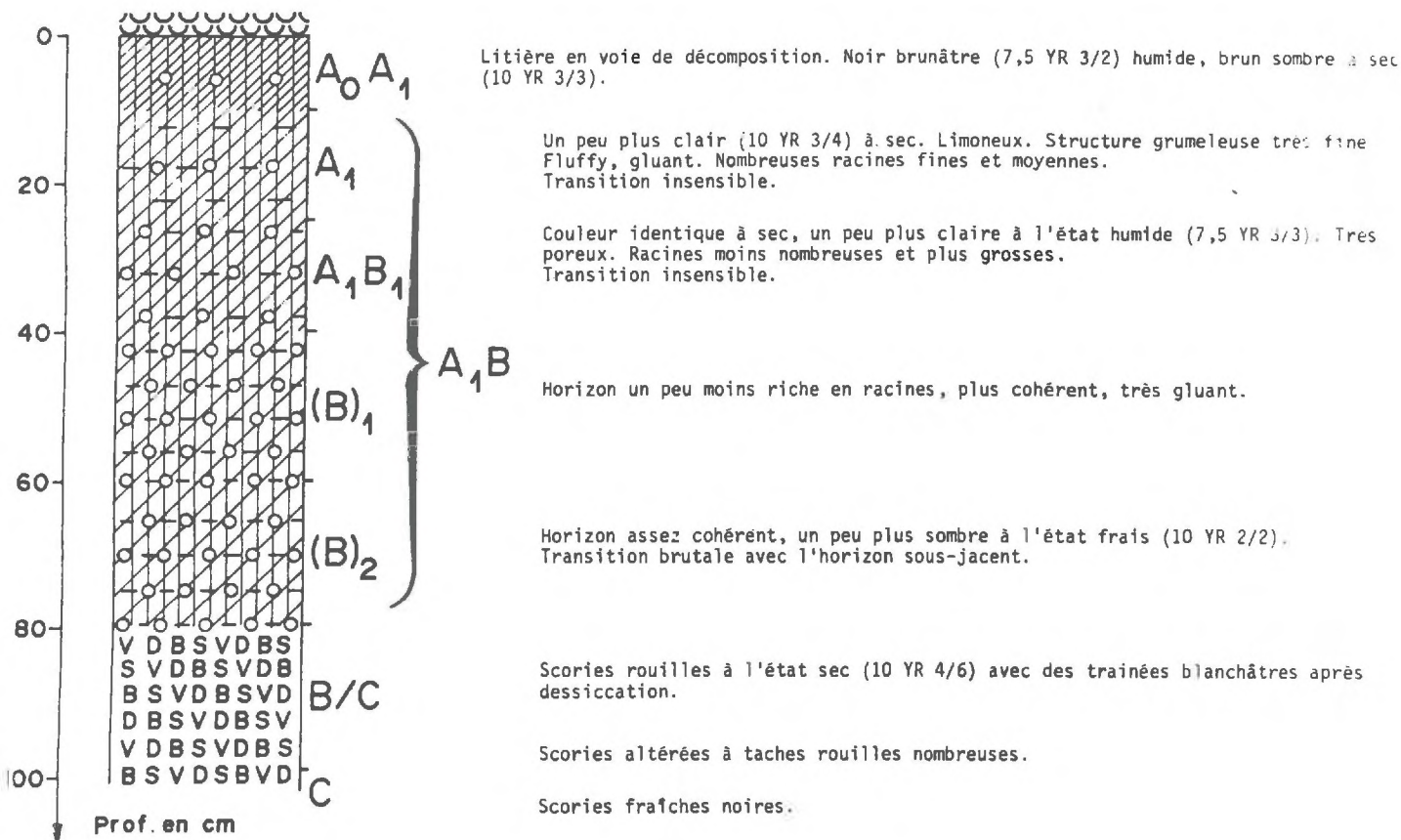
N° 865 : MERCOEUR : ANDOSOL

Localisation : Puy de Mercoeur (Feuille 1/50 000 Veyre Monton - N 50°80' - E 064°80"). Versant N.E. - Altitude 1 150 m.

Vegetation : Hêtraie à flore mésophile et nitratophile (*Mercurialis perennis*, *Asperula odorata*, *Lamium galicta*, *Urtica montanum*, *Melittis meliseophyllum*, *Polygonatum verticillatum*, *Equisetum sylvaticum*, etc.)

Roche-mère : Scorie basaltique.

Profil : Description morphologique.



Hor.	Prof.	Granulométrie % *					M.O. %	ST <sub>2</sub> PT <sup>**</sup>	C% org.	N% Total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 S <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0- 10	7,7	6,8	5,2	11,6	4	23,2	91,6	11,6	0,914	13	4,6	6,10	1,74	0,20	8,04	54,3	14,8	51,2	61,6	20,0
A <sub>1</sub>	10- 25						18,8	92,1	9,4	0,695	14	4,6	3,07	0,84	0,10	4,01	45,5	8,8	56,0	60,0	23,2
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	25- 40	8,5	7,5	3,6	8,1	3,8	20,0	94,2	10	0,701	14	4,8	4,56	1,31	0,07	5,94	45,3	13,1	54,4	61,6	23,2
B <sub>1</sub>	40- 60						11,4	95,6	5,7	0,378	15	5,3	5,74	1,63	0,07	7,44	41,0	18,1	55,2	60,8	28,8
B <sub>2</sub>	60- 80	13,9	10,8	9,3	11,2	2,2	8,8	89,4	4,4	0,277	16	5,4	6,07	1,31	0,06	7,44	38,4	19,4	52,8	57,6	30,4
BC	80-100						6,6	87,5	3,3	0,212	16	6,6	5,81	1,18	0,50	7,49	31,2	24,0	50,4	52,0	27,2
C <sub>1</sub>	100-110						0,8	89,4	0,4	0,020	20	5,8	2,88	0,55	0,08	3,51	12,6	27,9	36,8	24,8	21,6
C <sub>2</sub>	> 110	80,5	2,7	0,5	0,9	0,5	0,4	97,6	0,2	0,063	20	6,5	3,25	0,73	0,18	4,16	7,0	59,4	20,0	11,1	12,0

\* Méthode résines

\*\* ST = Sol tamisé ; PT = Poids total.

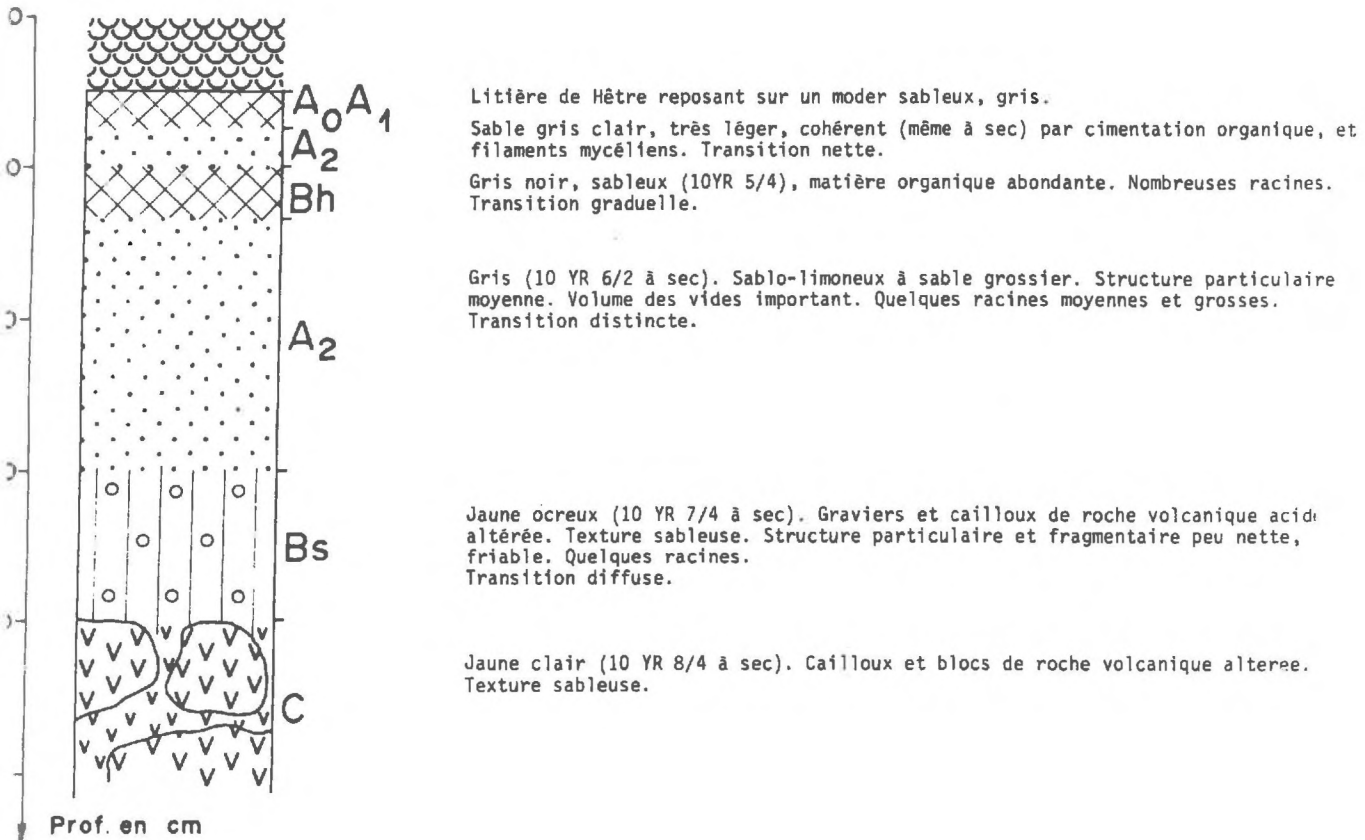
N° 588 : PUY D'AUGOULES : SOL PODZOLIQUE

Localisation : Puy d'Augoules (15) - Feuille 1/50 000 Riom-es-Montagne 1-2 - E 2°36' - N 45°19' - Altitude : 940 m.

Végétation : Taillis de Hêtre.

Roche-mère : Trachyte.

Profil : Description morphologique



Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	Humidité à 105° %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100S <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-20	13,8	13,7	57,4	5,4	16,0	3,4	8,0	0,38	21	4,0	1,04	0,61	0,43	2,08	21,7	10,4	11,6	4,0	1,2
B <sub>h</sub>	20-25	23,2	11,1	50,9	4,7	14,4	4,0	7,2	0,31	23	4,5	1,27	0,42	0,17	1,86	23,0	8,1	12,0	8,4	1,6
A <sub>2</sub>	25-60	22,0	14,4	56,3	4,4	7,2	3,3	3,6	0,19	19	4,9	0,75	0,36	0,12	1,23	16,0	7,7	12,0	11,6	2,8
B <sub>s</sub>	60-80	33,8	13,6	53,2	2,4	2,4	2,0	1,2	0,09	12,7	5,5	0,73	0,34	0,17	1,24	8,0	15,5	13,2	9,6	5,6
B <sub>c</sub>	> 80	48,1	13,6	36,8	2,4	1,0	1,1	0,5	0,04	12,7	5,3	0,94	0,39	0,10	1,43	8,0	18	9,2	6,8	3,2

\* L+A = Somme limons + argile de la dispersion Méthode Internationale hexametaphosphate.



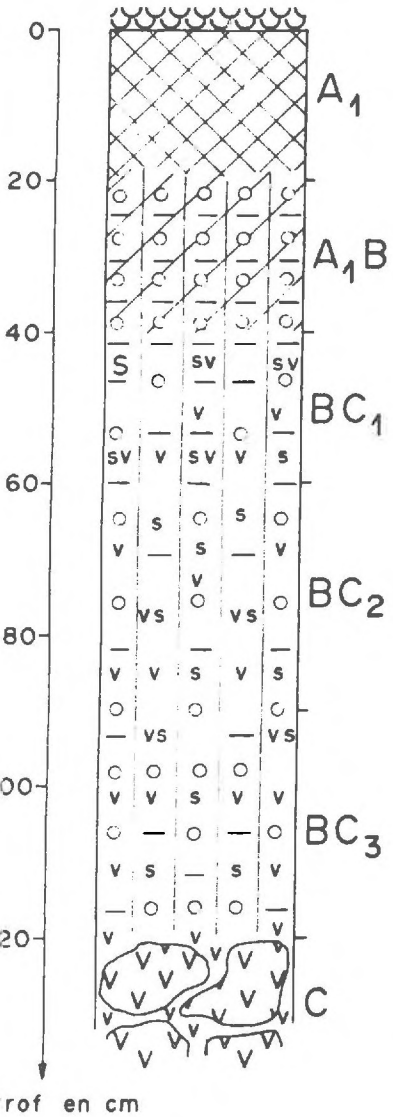
N° 733 : LE BOUCHET : ANDOSOL

Localisation : Cheire du Puy de Louchadière (1/50 000 Clermont-Ferrand N 50°64'80" - E 0°64'57"). Plateau. Altitude 900 m.

Vegetation : Lande à Fougère Aigle et Sarothamne.

Roche-mère : Scorie basaltique et projections (proximité de la bouche d'émission).

Profil : Description morphologique



Noir brunâtre (10 YR 3/2), un peu plus clair à sec (10 YR 3/3). Mull-moder limoneux à grumeaux très fins. Transition nette et ondulée.

Brun jaune sombre (10 YR 5/3 et 5/4 à sec). Limono-sableux pulvérulent fragile. Structure fluffy, gluant si humide. Très poreux, toujours ressuyé, presque sec. Transition progressive.

Brun jaune clair (10 YR 6/6). Limono-graveleux tassé ; nombreux cailloux ; peu de racines. Transition très progressive.

Horizon très semblable au précédent (10 YR 6/6, 5/6 ou 7/6 selon les taches dues aux racines ou aux blocs).

Aspect identique mais augmentation de la proportion de blocs (bombs volcaniques) et cailloux.

Roche-mère : scories et bombes d'aspect rouille (10 YR 5/6) en surface.

Scories et blocs frais brun rouge foncé 5 YR 3/3 ou violacé.

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	ST PT %**	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100S <sub>T</sub>	Amorphes (m.e./100g)		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-20					14,5	80	7,75	0,604	12,8	5,2	1,60	0,67	0,37	2,64	19,8	13,3	25	16	17
A <sub>1</sub> B	20-40	36,5	14,5	38,9	4,7	3,8	65	1,9	0,154	12,5	5,8	1,30	0,34	0,12	1,76	8,4	21,0	36	40	19
BC <sub>1</sub>	40-60	39,9	13,5	38,7	4,0	2,0	56,7	1,0	0,081	12,3	6,4	1,80	0,38	0,07	2,25	8,4	26,8	34	32	28
BC <sub>2</sub>	60-90	41,5	13,8	36,1	4,1	2,2	65	1,10	0,086	12,8	6,6	2,60	0,51	0,09	3,20	6,6	48,4	36	35	27
BC <sub>3</sub>	90-120	46,3	14,8	30,3	3,6	1,6	46,7	0,8	0,067	11,9	6,7	2,00	0,50	0,09	2,59	8,4	30,8	38	24	30
C <sub>1</sub>	120-160	46,9	14,1	31,7	4,0	1,0	53,3	0,5	0,047	10,6	6,9	2,10	0,58	0,18	2,86	7,4	38,6	36	31	30
C <sub>2</sub>	> 160	74,5	18,6	4,1	1,0	0,24	44	0,12	0,020	6	6,8	1,00	0,21	0,14	1,35	3,2	42,2	18	16	26

\* L+A = Somme limons + argile de la dispersion Méthode Internationale hexametaphosphate.

\*\* ST = Sol tamisé ; PT = Poids total.

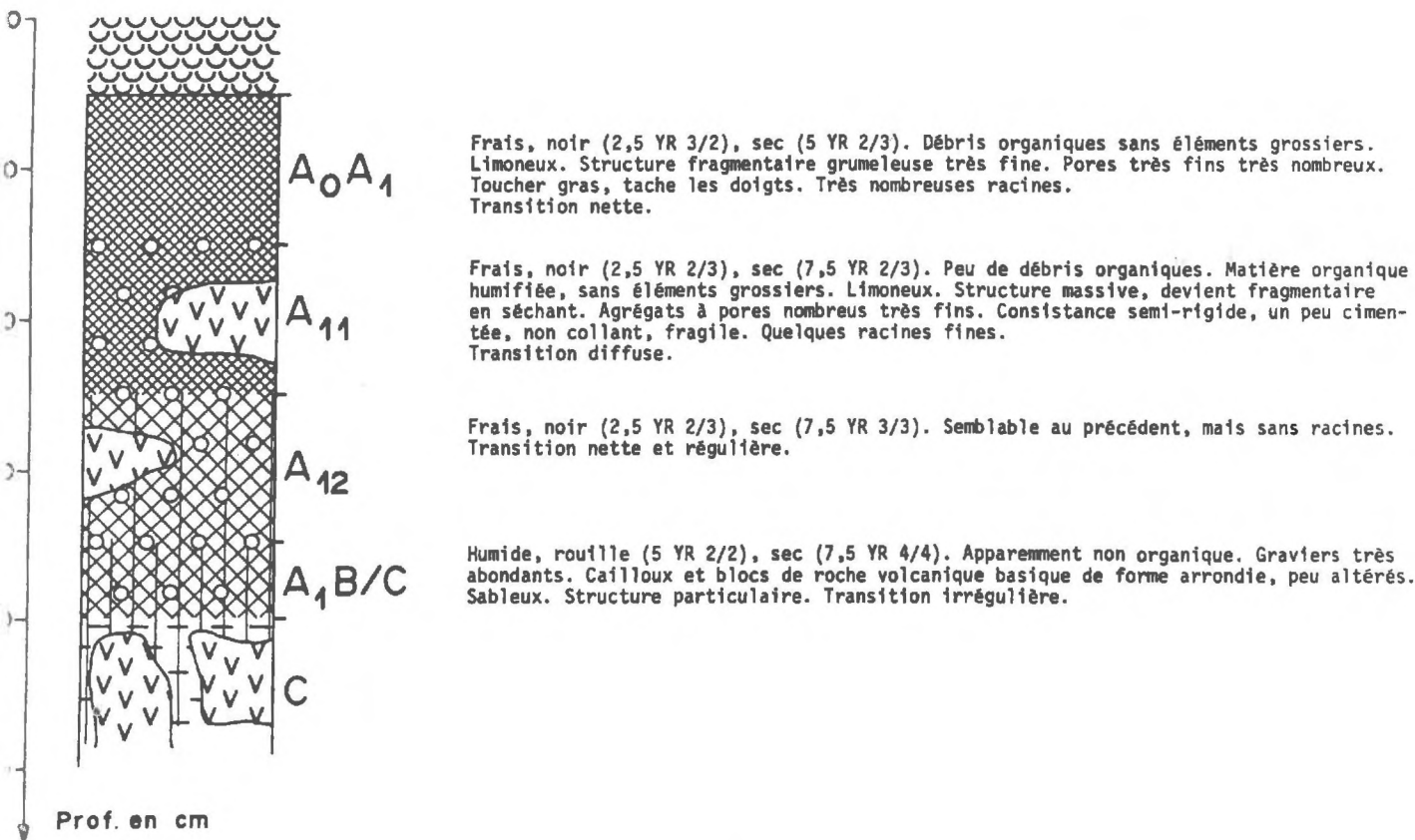
N° 580-723 : SUC DU ROND : RANKER SUR ANKARAMITE

Localisation : Suc du Rond (15) - Feuille 1/50 000 Murat 1-2 - N 45°10'40" - E 2°38'. Altitude : 1 582 m.

Végétation : Pelouse subalpine à Ericacées.

Roche-mère : Ankaramite.

Profil : Description morphologique



Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	Humidité à 105° %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D.%		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-30					46,4	13,3	23,2	1,8	12,8	4,1	0,75	0,98	0,73	2,45	57,6	4,25	53	19	14
A <sub>11</sub>	30-50					36,6	14,8	18,3	1,28	14,3	4,5	0,16	0,37	0,26	0,79	43,4	1,83	64	27	16
A <sub>12</sub>	50-70	8,4	7,2	49,8	11,7	30,0	9,9	15,0	1,05	13,3	4,7	0,06	0,27	0,11	0,44	41,8	1,05	62	40	10
A <sub>1</sub> BC	70-80	26,7	9,8	36,5	7,5	11,6	18,5	5,8	0,40	14,5	4,5	0,13	0,12	0,05	0,30	20,2	1,49	53	36	27
C	> 80	21,0	16,1	41,8	4,9	7,7	11,9	3,9	0,25	15,5	4,8	0,14	0,12	0,02	0,28	18,8	1,49	61	37	27

\* L+A = Somme Limons + argile de la dispersion Méthode Internationale hexametaphosphate.

N° 1234 : LUSCLADE: SOL PODZOLIQUE

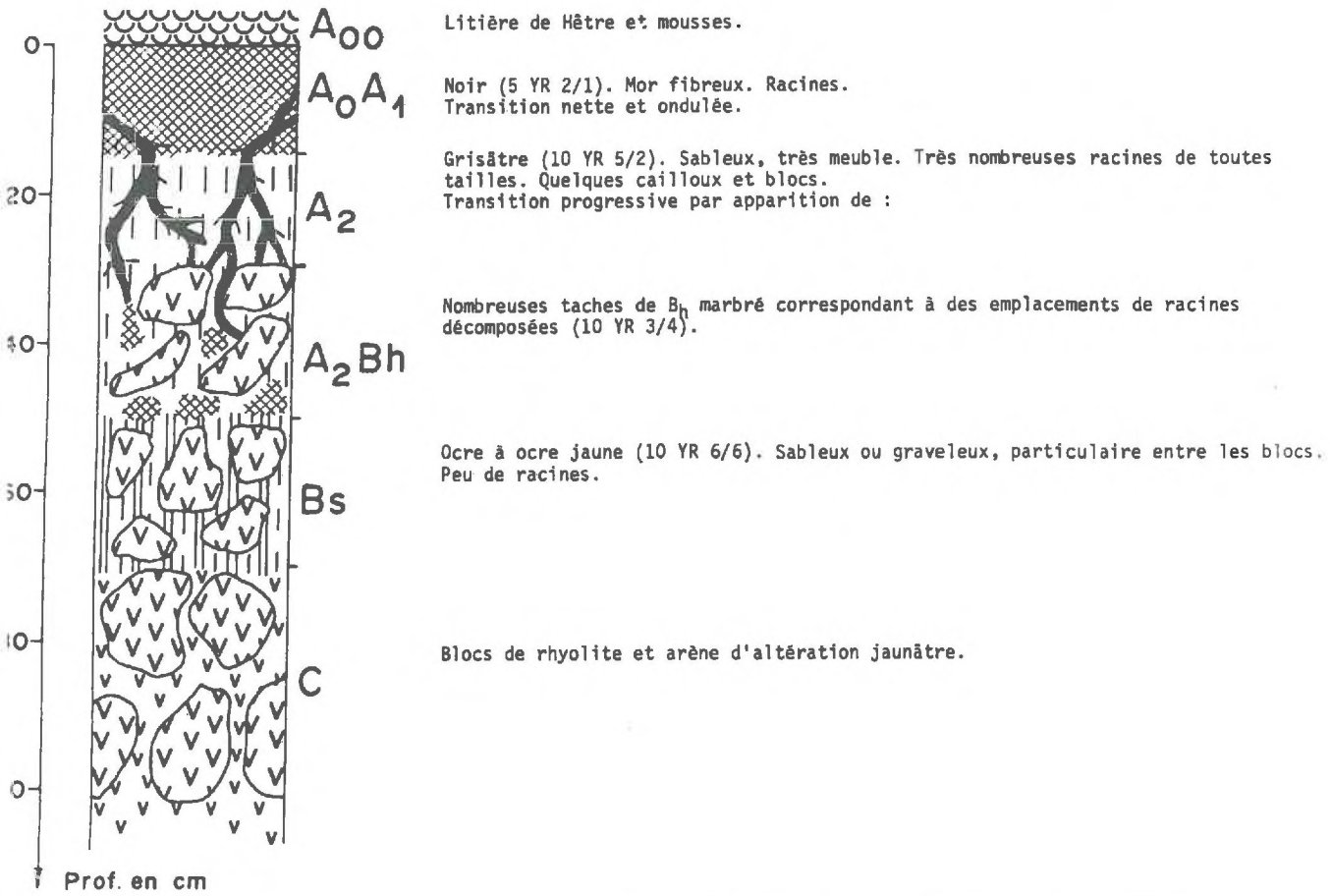
Localisation : Carrefour N 596 et route de Lusclade (N 50°65' - E 0°50'). Altitude 930 m.

Végétation : Hêtraie dégradée à Callune, Myrtille, Canche flexueuse et mousses acidiphiles.

Roche-mère : Rhyolite (Ignimbrite dévitrifiée).

Station : Versant nord, pente forte.

Profil : Description morphologique



Hor.	Prof.	Granulométrie % *					M.O. %	ST PT %**	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> / <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	10-20	7,5	19,8	10,2	22,8	11,7	26,0	83,9	13,0	0,403	32	3,1	0,39	0,29	0,22	0,90	35,2	2,6	14,8	4,4	1,6
A <sub>2</sub>	20-40	28,9	16,2	7,8	16,6	7,4	17,0	95,4	8,5	0,262	32	3,4	0,13	0,13	0,09	0,35	24,5	1,4	16,8	8,8	2,0
A <sub>2</sub> B <sub>h</sub>	40-50	28,5	20,0	7,9	16,5	6,5	9,6	84,6	4,8	0,123	39	3,6	0,20	0,07	0,05	0,32	17,2	1,9	14,8	13,2	4,0
B <sub>s</sub>	50-70						2,8	60,7	1,4	0,055	25	3,6	0,19	0,06	0,04	0,29	10,2	2,8	16,0	13,6	6,8
	> 70	62,0	15,4	2,9	4,7	1,8	0,6	90,6	0,3	0,015	20	3,6	0,29	0,06	0,06	0,41	3,7	11,1	6,0	4	2,8

\* Méthode résines.

\*\* ST = Sol tamisé ; PT = Poids total.

## I.- CHAÎNE DES PUY

### 1.- Andosols et sols andiques

#### a) Sans dôme

##### α) *Partie Nord (n° 869-870)*

N° 869-870 : Puy Beaunit - N 51<sup>G</sup>0'10" - E 0<sup>G</sup>71'20" - Altitude : 900 m.

Au Nord de la Nationale 141, la dôme n'apparaît plus ni sur les appareils ni sur les coulées. Ce fait est classiquement attribué à l'existence d'une limite de portée des projections dômiques qui n'auraient pas atteint les appareils de la partie Nord, pourtant plus anciens que les dômes trachytiques.

Deux sols ont été prélevés dans cette partie Nord, afin de voir s'il existait un lien entre l'âge des appareils et le degré d'évolution des sols. En outre, ces deux profils ont été prélevés, l'un sur versant nord, plus humide, et l'autre sur versant sud, plus sec, afin de mesurer l'influence des dessiccations saisonnières du profil.

Les deux andosols ne sont pas plus évolués que l'andosol type de Marceuil.

Le sol du versant humide est plus désaturé et moins riche en bases échangeables que l'autre ; les amorphes sont en outre un peu moins siliceux. Par ailleurs, le sol du versant nord est en général plus riche en éléments fins.

De cet ensemble d'observations, il ressort deux conclusions : dans la chaîne des Puy, sur les matériaux volcaniques du quaternaire récent, le degré d'évolution des andosols n'est pas directement fonction de l'âge des matériaux, mais bien plutôt de l'histoire locale de la végétation et de l'érosion qui règle la répartition des sols plus ou moins évolués selon les stations. La permanence de l'humidité semble de nature à accélérer l'altération, donc l'évolution, vers les différents stades de l'andosolisation. Les conditions stationnelles locales seront donc en dernière analyse déterminantes pour la répartition des divers types de sols andosoliques. C'est ainsi que l'on peut observer un sol peu évolué brun andique au sommet du Puy de Pagnat défriché puis recolonisé par un taillis de coudriers, alors qu'au bas du Puy Thiolet, sous une belle futaie de Hêtre, on a un andosol évolué, ces deux puy étant très proches du Puy Beaunit, dans la partie nord.

Dans cette même région, nous n'avons pas pu trouver de profil développé à partir de l'andésite de Volvic, la coulée ayant été entièrement bouleversée par les exploitations de carrières actuelles ou anciennes. Les sols cultivés sont brunifiés. Sur le Puy de la Nugère, les sols sont en général peu évolués et bruns andiques.



## N° 869 : Puy Beaunit (versant sec) : Andosol

Hor.	Prof.	M.O.	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-20	20,0	4,8	6,90	2,40	0,20	9,50	45	21	46,4	45,6	17,6
B <sub>1</sub>	20-40	6,6	5,3	5,30	1,96	0,09	7,35	30,8	24	51,2	49,6	27,2
B <sub>2</sub>	40-60	4,0	5,3	4,95	1,75	0,08	6,68	27,3	24	49,6	44,8	27,2
BC	60-80	0,3	6,2	7,35	2,50	0,64	10,49	11,8	89	25,6	16,0	16,0

## N° 870 : Puy Beaunit (versant humide) : Andosol

Hor.	Prof.	M.O.	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-20	31,2	4,2	2,85	0,70	0,17	3,72	58,9	6,3	28,8	48,0	15,2
A <sub>1</sub>	20-40	10,8	4,2	1,15	0,28	0,07	1,50	41,7	3,6	33,6	60,8	25,6
B <sub>1</sub>	40-60	8,0	4,7	1,55	0,48	0,05	2,08	27,3	7,6	36,0	55,2	24,8
B <sub>2</sub>	60-80	6,8	4,7	1,70	0,75	0,06	2,51	27,9	9,0	37,6	55,2	26,4
BC	> 80	0,6	5,2	0,85	0,30	0,05	1,20	3,3	36	15,2	12,8	8,8

## N° 732 : Forêt de Souis

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST PT%	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0- 20					60	14,2	0,949	15,0	5,2	4,50	2,21	0,24	6,95	32,6	21,3	34	40	18
A <sub>1</sub>	20- 50					65	8,4	0,635	13,2	5,3	3,80	2,06	0,13	5,99	27,0	22,2	38	44	21
A <sub>1</sub> B	50- 70	34,3	25,6	29,6	4,5	65	4,5	0,308	14,6	5,8	3,00	1,67	0,03	4,70	18,0	26,1	42	48	29
(B)	70- 90	38,7	21,1	29,5	3,0	60	2,8	0,198	14,4	5,9	2,50	1,36	0,04	3,90	12,8	30,5	42	46	29
BC	90-120	56,1	13,8	21,0	2,5	50	1,8	0,098	18,4	6,2	2,00	1,11	0,03	3,14	8,8	35,7	41	41	33
C <sub>1</sub>	120-160	83,3	5,5	5,7	1,9	53,3	0,6	0,030	20,0	6,4	2,90	1,59	0,11	1,60	6,6	24,2	27	22	28
C <sub>2</sub>	160-200	91,5	4,3	2,0	1,0		0,15	0,008	18,8	6,6	2,50	1,30	0,19	3,99	4,8	83,1	17	13	20

\* L+A = Somme Limons + argile de la dispersion Méthode internationale hexametaphosphate  
 \*\* ST = sol tamisé ; PT = Poids total



β) *Partie médiane* (n° 732)

Forêt de Souis - N 50<sup>G</sup>88' - E 0<sup>G</sup>66' - Altitude : 920 m.

Sur les couvertures scoriacées de la cheire du Puy de Côme, on trouve des sols dont la morphologie rappelle celle d'un sol ocre podzolique. C'est d'ailleurs ainsi que les ont décrit DUPUIS et HOREMANS en 1966. En fait, malgré l'horizon A<sub>1</sub> noir rappelant beaucoup la superposition d'un A<sub>0</sub>A<sub>1</sub> et d'un B<sub>h</sub> et l'horizon (B) ocreux rappelant un horizon spodique, l'analogie ne va pas au-delà d'une convergence morphologique. En effet, si l'altération est bien le fait de solutions organiques, celles-ci ne provoquent pas l'entraînement en profondeur des sesquioxides libérés, puisqu'ils sont immobilisés sur place à cause de leur grande abondance.

D'autre part, l'évolution de la matière organique (minéralisation et humification actives) est tout à fait différente de celle des sols podzolisés. Dans ces conditions, il semble, en dernière analyse, qu'il vaudrait mieux réserver l'appellation "andopodzolique" (HETIER, 1971) à des sols qui présentent des signes encore plus évidents de dégradation podzolique en fin d'évolution.

γ) *Partie Sud* (n° 730 - 493 - 731)

N° 730 : Mercoeur - N 50<sup>G</sup>80' - E 0<sup>G</sup>64'80" - Altitude : 1 150 m.  
Versant Sud.

Ce profil constitue un double de l'andosol type sur scorie basaltique. Cependant, sur le versant sud, l'effet des coupes récentes se traduit par une diminution des taux de carbone ainsi que de la capacité d'échange cationique à pH 7. Les teneurs en éléments amorphes restent très comparables à celles du sol type.

N° 493 : Puy de la Toupe - N 50<sup>G</sup>75'80" - E 0<sup>G</sup>67' - Altitude : 1 000 m.

Le profil complexe du Puy de la Toupe qui a fait également l'objet de la datation de la scorie récente par BROUSSE et al. (1969) dont le résultat (6 000 ans BP) est discuté par ailleurs. Le sol superficiel est très peu épais mais son caractère andique est bien exprimé. Il s'agit sans doute d'un profil tronqué à la suite du défrichement de l'ancienne couverture forestière.

IV

N° 730 : Mercoeur

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sub>PT</sub> <sup>ex</sup> %	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sub>T</sub> <sup>S</sup>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0- 5	30,9	11,9	40,8	8,7	46,7	5,75	0,464	12,4	5,9	5,90	1,73	0,15	7,78	21,4	36,4	48	47	28
A <sub>11</sub>	5-20	32,0	19,1	34,7	4,8	53,3	4,80	0,305	15,7	6,0	6,50	1,86	0,04	8,40	21,4	39,3	55	53	33
A <sub>12</sub>	20-35	33,1	18,3	35,4	4,6	53,3	3,55	0,316	11,2	6,1	5,9	1,60	0,03	7,53	20,6	36,6	49	48	33
BC	35-45	46,2	14,5	27,5	3,6	53,3	2,5	0,120	21,0	6,2	4,90	1,32	0,02	6,24	13,6	45,9	50	45	36
C <sub>1</sub>	45-70	76,6	7,1	9,7	3,2	45	0,52	0,039	13,3	6,6	7,50	2,10	0,15	9,75	12,8	76,2	36	23	29
C <sub>2</sub>	> 70	80,9	5,7	7,3	2,7	38	0,65	0,025	26,0	6,6	5,30	1,56	0,16	7,02	10,8	65,0	33	21	26

N° 493 : Puy de la Toupe

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sub>PT</sub> %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sub>T</sub> <sup>S</sup>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0- 20	22,1	22,1	38,5	4,0	81,2	5,5	0,41	13	6,5	4,00	0,70	0,12	4,8	38,5	13	51	54	17
C <sub>1</sub>	20- 30					46,7	0,3	0,02	17	7,5	8,75	3,16	0,55	12,4	19,6	64	35	27	17
IIB <sub>1</sub>	30- 60	53,2	9,9	27,7	2,7	72,8	0,7	0,04	19	7,6	7,30	2,79	0,76	10,8	20,2	54	35	25	15
IIB <sub>2</sub>	60- 90	52,4	14,0	25,1	2,2	56,1	0,6	0,05	12	7,5	5,11	1,76	0,47	7,3	16,8	44	31	42	18
IIBC	90-110	36,0	18,8	35,7	2,6	47,6	0,2	0,02	10	7,5	5,77	2,19	0,77	8,7	15,2	57	26	25	12

N° 731 : Puy Mey

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sub>PT</sub> <sup>ex</sup> %	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sub>T</sub> <sup>S</sup>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
O (+)						26,7	0,80	0,019	42	6,4	3,40	1,16	0,50	5,06	4,6	Sat.	13	7	11
IA <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0- 15					53,3	10,8	0,932	11,5	6,1	19,60	6,52	0,46	26,58	31,8	83,6	25	17	15
IA <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	15- 40					46,7	3,8	0,338	11,2	6,5	12,1	4,19	0,33	16,62	21,2	78,4	23	16	19
IA <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	40- 80	62,7	11,6	16,3	3,7	53,3	3,8	0,204	18,6	6,8	13,6	5,18	0,53	19,31	22,6	85,4	32	25	27
IC	80-170	63,0	12,3	17,9	3,4	45	1,75	0,098	18,1	6,9	7,3	3,03	0,48	10,81	14,2	76,1	29	24	25
IIBC <sub>1</sub>	170-200	47,2	11,9	30,1	4,2	45	2,95	0,218	13,5	6,9	15,9	6,20	0,76	22,86	27,2	84,0	31	44	38
IIBC <sub>2</sub>	200-230	39,2	10,7	35,5	4,2	53,3	3,90	0,324	12,0	7,1	15,9	6,06	0,67	22,63	27,2	83,2	57	51	41
IIC <sub>2</sub>	230-240	26,2	22,3	37,7	4,2	90	2,40	0,257	9,3	7,1	9,3	3,59	0,72	13,61	16,6	82,0	67	60	40
IIIA <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	240-245	14,4	16,7	54,9	6,9	80	6,00	0,683	8,7	7,0	15,5	8,86	0,61	24,97	29,6	84,4	59	51	30
IIIA <sub>1</sub>	245-260	15,3	16,4	43,3	5,7	70	7,80	0,624	12,5	6,9	18,4	13,16	0,47	32,03	32,6	98,3	55	52	30
IIIA <sub>1</sub> B	260-280	10,8	17,2	41	5,1	80	6,60	0,453	14,6	7,0	15,0	11,36	0,39	26,75	29,4	91,0	44	48	27
IIIBC	280-300	30,4	14,6	38,4	4,6	53,3	5,10	0,324	15,7	7,0	13,2	8,92	0,53	22,65	28,8	78,6	51	50	35
IIIC	> 300	84,7	4,0	5,8	1,8	37,5	0,52	0,019	27,4	7,2	7,4	3,54	1,25	12,19	13,2	92,3	31	25	26

(+) 731<sub>0</sub> : Analyse de la scorie affleurant sur la surface dénudée.

b) Sols dômitiques

α) *Profils simples (à dômite seule - n° 734)*

Puy de Dôme (Bas de pente près du Col de Ceyssat) - Végétation :  
Sapinière-Hêtraie - N 50<sup>G</sup>84' - E 0<sup>G</sup>70' - Altitude : 1 000 m.

Profil redoublé par colluvionnement mais cependant très acide et très désaturé sur toute la profondeur. Les teneurs en éléments amorphes et en carbone humifié sont environ deux fois plus faibles qu'au sommet du Puy de Dôme. Cette observation a été confirmée sur le dôme voisin du Grand Sarcoui où la teneur en amorphes n'atteint même pas 3 % de la terre fine.

β) *Profils complexes (dômite et scories basaltiques - N° 729 - 738 - 739 - 494 - 867 - 719 - 717)*

N° 729 : Mercoeur - N 50<sup>G</sup>80' - E 0<sup>G</sup>64'80" - Altitude 1 240 m. Sommet  
Versant Ouest.

Le versant Nord et le Cratère du Puy de Mercoeur sont tapissés de dômite reposant sur la scorie rouge violacée autochtone du Mercoeur. A partir de cette couche dômitique, se développe un profil d'andosol qu'il est intéressant de comparer au profil type situé sur scorie basaltique plus récente, qui est moins riche en fer et en alumine amorphe, et surtout beaucoup plus désilicifié que l'andosol type. La capacité d'échange étant également plus faible à pH 7, ce sol apparaît moins désaturé que l'andosol pourtout plus jeune.

N° 738-739 : Puy des Goules - N 50<sup>G</sup>89'70" - E 0<sup>G</sup>71'60" - Altitude : 1 150 m.

Le Puy des Goules a été recouvert de produits dômitiques provenant, soit du Puy de Dôme, soit du Sarcoui, ou des deux successivement. Cette couche dômitique est en grande partie érodée sur les bords et les flancs de l'appareil, où l'on observe des profils d'andosols assez jeunes, comportant quelques débris dômitiques épars. Dans le cratère, les sols sont plus argileux, moins riches en amorphes. Les débris de dômite y sont abondants à partir de 30 cm, et le profil pédologique repose sur des couches dômitiques et micacées (socle ?) bien stratifiées, correspondant sans doute au fond d'un ancien petit lac de cratère (Analyse n° 738 analogue à celle du n° 867).

De telles observations illustrent bien le fait que l'état actuel des sols correspond à une reprise de l'évolution pédogénétique au cours d'une histoire complexe, comportant des apports volcaniques et des cycles d'érosion, eux-mêmes fonction des changements de la couverture végétale. Le cas du Puy des Goules n'est pas isolé ; des observations très semblables pourraient être faites à propos de la plupart des appareils de la partie centrale (Pariou, Jumes, Louchadière, Montchier, par exemple).



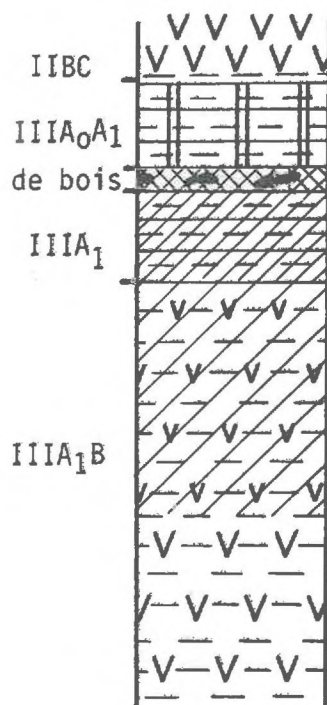
N° 731 : Puy Mey - N 50<sup>G</sup> 78'80" - E 0<sup>G</sup>69'90" - Altitude : 1 090 m.

Le Puy Mey est un site très particulier à plusieurs égards. Tout d'abord, cet appareil plus petit que ses voisins, est visiblement ennoyé sous des scories albchtones. Le flanc Ouest et près de la moitié du sommet sont totalement dépourvus de végétation, et la scorie non altérée affleure sans qu'il soit possible de dire si à cet endroit, le sol a été décapé (même en position horizontale) et n'a pas pu se reconstituer, ou s'il n'a jamais existé.

Enfin, dans les parties recouvertes de végétation, on trouve, à des profondeurs diverses (3 à 0,5 m) une couche à charbon de bois datée à deux reprises, sur deux échantillons différents, à 1 500 ans B.P. Sous cette couche, on trouve un andosol évolué resaturé en bases entraînées en solution à partir des horizons sus-jacents. Ces derniers sont en nombre variable selon les endroits.

Ici, nous avons deux sols très peu évolués au dessus de la couche à charbon de bois. La faible évolution intervenue en 1 500 ans se traduit par la richesse en bases échangeables, la faible quantité d'éléments fins (environ 20 % de terre fine, dont plus de 60 % de sables) parmi lesquels les éléments amorphes sont relativement peu abondants et très siliceux.

On ignore tout des causes de l'enfouissement récent du sol fossile. Il pourrait s'agir soit d'un évènement volcanique qui serait alors le plus récent de la Chaîne des Puys, soit d'incendies et de bouleversements d'origine anthropique(\*).



La présence d'une couche limono-argileuse de couleur rose de 4 ou 5 cm au-dessus de la couche à charbon de bois est un fait qui ferait plutôt penser à un incendie ayant précédé l'enfouissement.

Une telle couche correspondrait alors à la partie supérieure de l'horizon A<sub>1</sub> du sol fossile, dont la matière organique aurait complètement brûlé. Une telle couche rose brique est observable dans certains sols des Canaries ayant subi des incendies récents.

Cette hypothèse est beaucoup plus vraisemblable que celle du lessivage des horizons sus-jacents où le milieu est floculant et les rares argiles immobilisées au sein d'agrégats stables.

Quelles que soient ces causes, ces profils présentent de toute façon l'intérêt de nous donner un témoin de l'état de l'altération au bout de 1 500 ans.

(\*) Rappelons à ce propos que des écrits anciens, datant précisément de 1 500 ans (450 A.D.) font allusion à des incendies et des ensevelissements de cendres. In BROUSSE et al. (1969).

Hor.	Prof.	Granulométrie %				C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+AM	A.					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
IA <sub>1</sub>	10- 30					5,25	0,445	14,0	3,5	0,31	0,14	0,10	0,55	21,3	2,6	10,4	8,6	2,0
IBC	30- 70	37,5	11,3	42,0	2,8	1,75	0,454	11,4	4,1	0,27	0,06	0,03	0,36	8,0	4,5	8,8	9,4	4,0
IIA <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	70- 80	22,3	8,1	57,1	5,9	5,80	0,411	14,1	4,3	1,10	0,32	0,05	1,45	22,5	6,4	20,0	21,2	8,0
IIA <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	80-100	30,0	8,4	49,7	5,4	5,20	0,358	14,5	4,5	1,20	0,34	0,03	1,57	24,2	6,5	22,0	25,8	10,0
IIA <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	100-120	35	11,7	42,3	3,8	3,85	0,240	16,2	4,5	1,25	0,36	0,05	1,65	21,5	7,7	20,8	23,6	14,0
IIA <sub>1</sub> BC	120-130	44,6	11,0	33,2	2,2	2,90	0,193	15,0	4,5	1,05	0,33	0,05	1,43	16,2	8,8	22,0	26,0	13,2
IIIC	> 130	69,6	6,3	19,7	2,0	1,00	0,061	18,4	4,7	0,34	0,34	0,07	1,25	9,3	13,4	14,4	15,6	9,6

## N° 729 : Mercoeur

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sup>SR</sup> PT	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+AM	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0- 20					70	13,0	1,010	12,8	4,8	6,30	1,70	0,25	8,26	45,1	18,3	37	37	15
A <sub>11</sub>	20- 35					80	7,7	0,532	14,4	5,5	7,50	1,55	0,18	9,23	29,4	31,4	37	39	16
A <sub>12</sub>	35- 45					80	6,6	0,512	12,9	5,8	7,50	1,75	0,20	9,45	29,5	32,0	37	42	19
A <sub>1</sub> B	45- 65	29,6	21,8	31,4	4,0	75	4,4	0,316	14,0	5,9	5,0	1,15	0,17	6,32	25,4	24,9	40	48	24
(B)	65- 80	36,4	18,8	33,1	3,7	75	3,4	0,226	15,0	5,9	4,80	0,72	0,20	5,72	23,3	24,5	42	51	24
BC	80- 90	59,2	21,2	20,3	2,6	60	0,6	0,081	7,7	6,0	2,00	0,82	0,30	3,12	7,2	43,3	19	14	9
IIIC	90-110	55,9	22,5	16,1	2,6	50	0,5	0,042	11,9	5,9	1,80	1,07	0,18	3,05	6,7	45,5	17	12	10
IIC <sub>1</sub>	110-150	86,9	7,7	2,8	2,0	20	0,2	0,005	10,0	5,9	0,70	1,14	0,09	1,93	3,1	62,3	11,5	12	10
IIC <sub>2</sub>	> 150	94,3	2,8	2,2	1,6	62,5	0,15	0,002	8,0	6,0	0,57	0,24	0,02	0,83	1,7	48,8	8,5	6	8

## N° 739 : Puy des Goules

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+AM	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-15					22,2	11,1	0,946	11,7	4,9	12,2	2,90	0,35	15,45	39,8	38,8	33,2	34,8	15,6
A <sub>1</sub>	15-30					16,2	8,1	0,764	10,6	5,0	10,7	1,97	0,19	12,86	24,1	37,7	36,8	36,8	15,6
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	30-50	43,7	11,9	34,3	3,7	5,7	2,25	0,260	11,0	5,3	6,6	1,60	0,92	9,02	18,6	48,4	38,8	38,0	20,0
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	50-70	36,9	14,2	39,3	4,4	4,5	2,25	0,182	12,3	5,4	5,8	1,50	0,10	7,40	17,9	41,3	43,2	38,4	23,6
BC	> 80	58,6	9,6	20,1	2,6	2,2	1,1	0,070	15,4	5,4	5,0	1,40	0,24	5,64	18,5	35,9	48,0	36,8	26,4



N° 494 : Puy Tenusset - N 50°55' - E 0°69'60" - Altitude : 900 m.

Les trois horizons prélevés dans ce profil sont situés dans la couche dômique qui recouvre le matériau autochtone du Puy Tenusset activement exploité comme carrière de pouzzolane. Les résultats analytiques semblent indiquer une migration de l'aluminium, bien qu'un tel phénomène ne semble pas très compatible avec les valeurs du pH et du C/N que l'on observe par ailleurs. Quoi qu'il en soit, la désaturation du profil et la faible teneur en silice des éléments amorphes indiquent que ce sol est arrivé au terme de l'évolution andosolique.

N° 867 : Gouttes - N 50°50'50" - E 0°68'50" - Altitude : 950 m.

Sol de bas fond légèrement andique en surface et pseudogleyifié en profondeur dans la zone d'oscillation du toit de la nappe temporaire. Ce sol s'est développé à partir de matériaux fins en partie basaltiques ou trachybasaltiques, qui reposent sur un paléosol dômique fossile à charbons de bois. Il semble vraisemblable que cette zone ait pu constituer un étang ou un bas fond marécageux analogue à celui qui existe encore au Nord du Puy de Côme.

Les argiles, abondantes, donnent de bons diagrammes de RX. On distingue, à côté de la métahalloysite abondante, des édifices 2/1 gonflants en profondeur, accompagnés d'illite, et en surface davantage d'argile de type Vermiculite.

N° 719 : Puy de Laschamp - N 50°81'30" - E 0°69' - Altitude : 1 060 m.

Sur le versant est de ce puy, le sol de dômite est faiblement andosolique et fossilisé sur andosol basaltique qui a gardé ses propriétés d'andosol depuis 8 000 ans avec peut-être un léger enrichissement en silice de la part des horizons supérieurs.

## N° 494 : Puy Tenusset

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sub>PT</sub> **	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> / <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	L.G.	L+A <sup>2</sup>	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-40					74,4	7,6	0,64	12	5,1	1,08	0,26	0,18	1,52	40,0	3,8	18	38	6
(B)	40-90	45,9	19,7	22,3	2,5	65,3	1,9	0,20	9	5,9	1,02	0,22	0,06	1,30	18,5	7,0	22	52	12
BC	> 90	81,7	4,9	8,4	1,5	38,5	0,4	0,04	9	6,3	1,47	0,33	0,06	1,86	9,7	19	19	24	7

## N° 867 : Gouttes

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sub>PT</sub> **	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> / <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A <sup>2</sup>	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0- 20					98,3	7,6	0,558	14	4,6	1,18	0,33	0,17	1,68	27,0	6,2	30,4	28,8	9,6
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	20- 35	9,5	6,6	69,3	22,8	90,3	5,7	0,441	13	4,6	1,09	0,26	0,09	1,44	25,9	5,6	32,0	31,2	10,4
B <sub>1</sub>	35- 50	7,6	5,2	74	25,5	96,5	4,7	0,418	11	4,6	1,98	0,45	0,15	2,58	28,0	9,2	34,4	31,2	8,8
B <sub>2</sub>	50- 70	3,7	2,7	84,2	24,9	98,5	3,7	0,373	10	4,9	2,06	0,48	0,14	2,68	24,9	10,8	36,0	31,2	10,4
BG <sub>1</sub>	70-100	6,3	4,3	80,9	26,7	98,2	3,1	0,324	10	5,0	3,27	0,86	0,14	4,27	24,6	17,4	30,4	21,6	8,0
BG <sub>2</sub>	100-140	2,6	1,9	90,9	29,1	96,9	0,6	0,060	10	4,8	7,34	3,07	0,24	10,65	21,9	48,6	28,0	9,6	5,6
IIC	140-145	0,1	0,3	96	27,6	98,5	0,3	0,028	11	5,2	10,63	4,75	0,27	15,65	21,6	72,5	36,0	9,6	6,4
IIA <sub>1</sub>	145-147	1,4	1,3	91,6	30,3	98,0	0,6	0,032	19	5,3	8,14	3,28	0,88	12,3	24,6	50	40,0	8,8	8,8

## N° 719 : Puy de Laschamp

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sub>PT</sub> **	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> / <sub>T</sub>	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A <sup>2</sup>	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
IA <sub>1</sub>	0- 30	50,9	20,6	18,7	1,2	66,7	0,90	0,068	13,2	6,0	1,65	0,70	0,12	2,47	8,4	29,4	23	17	10
IA <sub>1</sub> B	30- 80	48,2	24,3	20,7	1,4	53,3	0,60	0,050	12,0	6,0	2,10	0,90	0,12	3,12	7,6	41,1	19	12	10
IIA <sub>1</sub>	80-100	39,6	12,3	34,7	2,5	53,3	1,5	0,116	12,9	5,9	2,60	0,82	0,07	3,49	16,5	21,2	41	40	30
IIA <sub>1</sub> B	100-120	45,0	14,0	29,3	2,7	50,0	1,2	0,074	16,2	5,8	2,25	0,75	0,06	3,06	16,8	18,2	48	42	37
IIBC	120-140	76,9	7,0	9,8	1,5	40	0,55	0,030	18,3	5,9	2,45	0,92	0,10	3,47	18,8	18,5	52	42	44
IIC <sub>1</sub>	140-170	72,9	11,8	10,2	0,4	24	0,05	0,006	8,3	6,6	10,5	0,71	1,90	13,11	17,3	75,8	60	22	25
IIC <sub>2</sub>	> 170	82,9	12,0	3,1	0,1	32	0,05	0,002		6,7	2,4	0,75	0,30	3,45	6,1	56,6	17	6	8

N° 717 : Bruyère des Moines - N 50<sup>G</sup>88' - E 0<sup>G</sup>73' - Altitude : 900 m.

Autre exemple de sol à caractère mixte. Morphologiquement, le profil rappelle beaucoup celui d'un sol ocre podzolique à cause de la superposition d'une couche de cendres d'imitiques sur les graviers et les blocs d'andésite de la coulée du Pariou. Chimiquement, l'évolution s'apparente plus à l'andosolisation qu'à la podzolisation, à cause de la richesse en silice des éléments amorphes et du pH peu acide. La valeur relativement élevée du C/N est liée à la présence de Callune qui coexiste d'ailleurs dans cette lande, avec des Genêts et une association de graminées riche en Brômes.

## 2.- Sols bruns

N° 866 : Saint-Amand Tallende - N 50<sup>G</sup>73' - E 0<sup>G</sup>85' - Altitude : 470 m.  
Végétation jardins.

Sol brun à structure grumeleuse sur scorie basaltique au bas de la coulée récente dont le front est à Tallende. Il est assez difficile de trouver des profils témoignant d'une évolution climacique directe des scories vers la brunification. Ici, où la partie basse de la coulée n'est pas polluée de matériaux allochtones, toute la surface est occupée par les cultures et les habitations. La brunification, en outre, est ici plus difficile à percevoir sur le terrain dans la mesure où l'altération est très faible, contrairement à ce qui s'observe sur la coulée de Louchadière, plus ancienne, où a été prélevé le sol brun type.

Lorsque l'on remonte la coulée vers l'Ouest, les sols apparaissent nettement plus andiques dans la forêt, à partir de 600 m d'altitude. L'abondance du complexe d'altération organo-minéral augmente avec l'altitude et les précipitations.

N° 946 : Olby - N 50<sup>G</sup>81' - E 0<sup>G</sup>62' - Altitude : 820 m.

Sol brun lessivé sans croûte calcaire, situé au front de la coulée de trachybasalte issue du Puy de Barne (Carrière les 4 routes) vieille de 20 000 ans environ (BONHOMMET et ZÄHRINGER, 1969), mais encore pourvue de sa couverture scoriacée. Les argiles sont abondantes et bien cristallisées. Les horizons superficiels sont riches en quartz sans doute éolien.

## N° 717 : Bruyère des Moines

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST PT %	C% org.	N% total	C/N	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %			pH
		S.G.	S.F.	L+A*	A.					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si	
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-10					40,0	11,0	0,708	15,5	2,70	0,8	0,19	4,09	53,6	7,6	31	36	15	5,1
A <sub>1</sub>	10-30	21,6	9,3	37,5	1,7	60	5,8	0,376	15,4	1,20	0,31	0,08	1,59	34,2	3,4	33	47	24	5,2
A <sub>1</sub> B	30-40	30,4	15,0	29,7	1,4	46,7	2,1	0,151	13,9	1,05	0,40	0,06	1,51	17,2	8,8	27	36	24	5,7
B <sub>1</sub>	40-60	26,9	19,0	37	1,5	53,3	1,0	0,112	9,0	1,0	0,40	0,05	1,45	9,6	15,1	22	24	13	5,9
B <sub>2</sub>	60-80	13,3	27,6	51,7	1,1	63,3	0,7	0,109	7,0	0,8	0,31	0,06	1,17	4,4	26,6	15	14	8	5,9

## N° 866 : Saint-Amand Tallende

Hor.	Prof.	pH	C% org.	N% total	C/N	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>p</sub>	0-20	7,3	1,8	0,106	17	23,0	1,55	1,65	26,2	11,6	Sat.	20,8	8,8	7,2
BC <sub>1</sub>	20-40	7,4	0,83	0,051	16,3	17,5	1,20	1,35	20,1	9,1	Sat.	22,4	9,6	8,0
BC <sub>2</sub>	40-60	7,4	0,65	0,043	15,1	16,5	1,10	1,50	19,1	10,8	Sat.	24,8	12,0	10,4
BC <sub>3</sub>	60-80	7,4	0,63	0,055	11,5	16,0	1,05	0,15	17,2	12,7	Sat.	30,8	15,2	10,4

## N° 946 : Olby

Hor.	Prof.	pH	C% org.	N% total	C/N	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>p</sub>	0-20	5,2	2,6	0,232	11	6,20	1,60	0,30	8,10	12,5	64,8	24,0	5,3	3,0
B <sub>1</sub>	20-40	5,3	1,0	0,120	8	5,20	1,52	0,22	6,94	14,6	47,5	24	5,1	3,5
B <sub>2</sub>	40-60	5,6	0,65	0,077	8	7,20	2,75	0,32	10,27	13,1	78,4	25	4,9	3,5
BC	60-90	6,1	0,30	0,031	10	6,80	3,30	0,72	10,82	12,9	83,9	31	4,3	6,0
C	90-120	6,3	0,26	0,030	9	7,20	3,30	0,88	11,38	13,0	87,5	34	4,1	6,5

N° 735 : Chadrat -N 50<sup>G</sup>74'50" - E 0<sup>G</sup>80'50" - Altitude 680 m (mi-pente).

Végétation : prairie à espèces xérophiles et calcicoles. Sol brun argileux à structure polyédrique subanguleuse en A<sub>1</sub>, franchement polyédrique en B. Aucun caractère andique. Ce sol représente bien la plus grande partie de la Montagne de Serre dans les parties basses et moyennes. A l'ouest de la route de Nadailat, à partir de 1 000 m, apparaissent les caractères andiques de structure, de texture, de toucher et de cohésion, ainsi qu'une réponse positive au test FN.

N° 737 : La Jonchère - N 50<sup>G</sup>75' - E 90<sup>G</sup>90'50" - Altitude : 430 m.

Sol brun calcaire sur peperite (brèche volcano-sédimentaire à éléments volcaniques vitreux) sans aucun caractère andique. Les éléments vitreux très peu altérés contribuent cependant à expliquer la présence d'alumine et surtout de silice amorphe en quantité non négligeable.

## II.- MONTS DORES

### 1.- Sol brun andique (n° 587)

N° 586 et 587 : La Queue - N 50<sup>G</sup>67' - E 0<sup>G</sup>47' - Altitude : 1 100 m.

Ces deux andosols sont très semblables, assez riches en argile et plus ou moins brunifiés. Ils se distinguent toutefois assez bien au niveau de la famille, l'un étant développé à partir de basalte demi-deuil (587) est un peu plus rouge et un peu moins sableux que celui qui s'est formé à partir d'ordonchie (N°586 : analyse identique).

### 2.- Sol ocre podzolique (n° 492)

La Croix Saint-Robert - N 50<sup>G</sup>62' - E 0<sup>G</sup>56' - Altitude : 1 470 m.

Sol ocre podzolique humifère sur sancyite sans caractère andique appréciable sur le terrain. Les complexes organo-alumineux peu abondants peuvent migrer assez librement en profondeur.



N° 735 : Chadrat

XIII

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sup>**</sup> PT%	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. ‰		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-15	20,6	10,1	69,1	27,0	37,5	3,20	0,238	13,4	6,4	12,9	7,44	0,22	20,56	18,6	Sat.	34	6	15
A <sub>1</sub> B	15-25	27,9	13,2	61,7	35,3	40,0	1,30	0,092	14,1	6,8	10,9	6,94	0,10	17,94	18,8	95,4	37	6	16
BC	25-40	27,1	11,1	65,2	26,6	21,7	0,70	0,072	9,7	6,8	12,9	8,08	0,12	21,10	21,0	Sat.	39	7	17

N° 737 : La Jonchère

Hor.	Prof.	pH	C% org.	N% total	C/N	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. ‰		
						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>11</sub>	0-20	7,6	3,1	0,285	10,9	53,0	2,85	0,31	56,16	47,6	Sat.	23	15	22
A <sub>12</sub>	20-40	7,9	2,7	0,159	16,9	54,5	2,58	0,22	57,30	43,6	Sat.	25	16	22
A <sub>1</sub> B	40-60	8,0	2,7	0,159	16,9	53,5	2,51	0,21	56,22	44,2	Sat.	24	16	22
	> 60	7,9		0,075		55,0	1,27	0,32	56,59	32,8	Sat.	15	8	16

N° 587 : La Queuille

Hor.	Prof.	Granulométrie %				C% org.	N% tot.	C/N	Ph	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. ‰		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-30					11,8	1,03	11,5	4,6	2,05	0,51	0,26	2,82	41,0	6,9	42,8	30,0	9,6
B <sub>1</sub>	30-50	25,4	11,5	50,4	7,1	6,3	0,61	10,3	5,1	1,19	0,34	0,11	1,64	34,2	4,8	49,2	32,4	10,0
B <sub>2</sub>	50-70	24,9	19,9	48,8	4,3	4,8	0,38	12,5	5,3	1,45	0,37	0,16	1,98	37,6	5,3	50,0	40,8	16,4
B <sub>3</sub>	> 70	30,1	25,8	39,2	3,6	3,9	0,32	12,3	5,6	1,40	0,36	0,15	1,91	32,3	5,9	52,0	40,4	18,4

N° 492 : La Croix Saint-Robert

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	ST <sup>**</sup> PT%	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. ‰		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.							Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-10					19,6	80,2	9,8	0,79	12	4,7	1,28	0,34	0,50	2,12	36,1	5,9	9	9	1
A <sub>1</sub> 2	10-25	20,2	10,7	30,5	7,8	14,8	80,6	7,4	0,48	15	5,0	0,83	0,21	0,13	1,17	30,5	3,8	11	13	0
A <sub>2</sub> B	25-60	29,6	17,5	39,5	4,6	6,6	82,6	3,3	0,24	14	5,2	1,21	0,29	0,05	1,55	20,0	7,8	13	22	4
(B)	60-80	41,4	19,4	30,9	2,7	4,0	82,6	2,0	0,12	17	5,2	1,02	0,26	0,05	1,33	15,9	8,4	12	21	3
(B)C	> 80	48,4	17,5	28,8	2,5	1,6	48,9	0,8	0,05	16	5,4	1,02	0,26	0,06	1,34	8,6	16,0	8	15	3

III.- CANTAL1.- Andosols et sols bruns andiques

N° 489-490 : Col de Néronne : E 0<sup>G</sup>24' - N 50<sup>G</sup>18' - Altitude :  
1 200 et 1 150 m.

De part et d'autre du Col, nous avons prélevé un sol (490) exposé au Nord, colluvial, très humide mais bien structuré et aéré, sous une Sapinière-Hêtraie à hautes herbes. La roche-mère est une brèche volcanique sans doute andésitique à éléments scoriacés.

A l'Ouest, nous avons prélevé, en exposition Sud, un sol de la plaine de Salers, dérivé d'un basalte à éléments scoriacés. Le deuxième sol est plus évolué car il n'est pas constamment rajeuni par le colluvionnement. Il est plus argileux (argiles incluses dans les pseudo-limons), moins désaturé, les bases et la silice étant moins lessivées. Les quantités d'alumine et de fer, par contre, sont du même ordre de grandeur (analyse non reportée).

N° 579 : Font du Marilhou - E 0<sup>G</sup>30'12" - N 50<sup>G</sup>20'12" - Altitude :  
1 400 m.

Profil atypique sur matériel très altéré, rouge et riche en argile provenant sans doute d'altération fumerollienne sans rapport avec la pédogenèse. En raison des grandes quantités d'amorphes et de matière organique, cette argile n'est dispersable qu'après prétraitement énergétique (HClONa et réactif O.D.) et atteint alors 20 % (surtout halloysite).

N° 868 : Chatonnière - E 0<sup>G</sup>30'08" - N 50<sup>G</sup>20'58" - Altitude : 1 130m.

Sol brun andique sous litière de Hêtre peu biodégradable. C/N élevé et pH bas malgré l'abondance relative de bases échangeables dans la litière (horizon O).

Ce sol est formé sur une moraine dont les éléments sont, en majeure partie, de nature basaltique. Le rapport silice/alumine augmente en profondeur (0,3 à 0,8).

N° 489 : Col de Néronne

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sup>exp</sup> PT <sup>exp</sup>	C% exp.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub> (1)	0- 15					66,4	8,1	0,67	12	5,2	1,97	1,39	0,29	3,65	41,5	8,8	46	27	10
A <sub>1</sub> (2)	15- 35					49,2	8,1	0,68	12	5,4	0,90	0,40	0,10	1,40	42,5	3,3	48	31	10
(B <sub>1</sub> )	35- 60	15,6	7,9	52,8	8,1	60,9	4,6	0,41	11	5,6	0,93	0,45	0,05	1,43	40,0	3,3	58	37	5
(B <sub>2</sub> )	60- 90	19,3	14,1	47,9	5,8	62,1	3,9	0,32	12	5,6	0,90	0,36	0,07	1,33	38,7	3,4	55	39	6
B <sub>3</sub>	90-105	23,6	15,7	45,8	5,2	65,8	3,6	0,29	12	5,7	1,20	0,49	0,08	1,77	43,3	4,1	57	40	3
B-C	> 105	21,5	14,6	48,9	5,0	57,3	2,1	0,19	11	5,7	1,07	0,57	0,07	1,71	37,6	4,5	50	37	10

N° 579 : Font du Marilhou

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-20					46,6	23,3	1,76	13,2	4,4	3,25	1,47	0,84	5,56	70,5	7,9	44,0	27,6	6,4
A <sub>1</sub> 2	20-30					33,4	16,7	1,02	16,3	4,8	1,72	0,77	0,24	2,73	69,3	3,9	68,0	30,8	8,8
A <sub>1</sub> B	30-45					23,0	11,5	0,74	15,5	4,8	1,10	0,50	0,13	1,73	59,8	2,9	66,0	40,8	9,6
B <sub>1</sub>	45-70	37,9	26,1	33,7	4,7	5,6	2,8	0,20	13,8	5,1	1,00	0,29	0,07	1,36	36,0	3,8	70,0	40,4	13,6
B <sub>2</sub>	70-90	31,7	20,5	43,9	3,8	2,4	1,2	0,10	11,8	5,2	1,20	0,34	0,14	1,68	29,4	5,7	62,0	32,4	16,0

N° 868 : Chatonnière

Hor.	Prof.	Granulométrie %				ST <sup>exp</sup> PT <sup>exp</sup>	C% org.	N% total	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 <sup>S</sup> T	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub>	0- 5					85,7	23,0	1,344	17	4,1	9,58	3,03	0,93	13,54	19,9	6,8	47,2	17,6	6,4
A <sub>1</sub>	5-20					65,8	12,4	0,697	18	4,0	1,25	0,58	0,34	2,17	45,7	4,7	60,8	31,2	10,4
B	20-35	15,8	4,7	52,9	8,5	63,4	6,5	0,219	30	4,4	0,76	0,26	0,11	1,13	35,9	3,1	60,8	37,6	14,7
BC	35-50	17,8	5,8	57,5	6,3	62,2	5,6	0,294	19	4,8	1,17	0,42	0,19	1,78	31,9	5,6	59,2	39,2	18,4
C	>	43,1	16,6	25,5	3,3	35,5	1,2	0,035	34	4,9	1,18	0,31	0,11	1,60	18,6	8,6	45,6	29,6	21,6

N° 725 : La Beyssere - E 0<sup>G</sup>25' - N 50<sup>G</sup>29' - Altitude : 1 050 m.

Sur moraine, le caractère andique est un peu plus marqué peut-être à cause de la texture plus sableuse et moins argileuse. Les amorphes assez riches en silice sont aussi un indice d'altération active.

N° 722 : Espinasse - E 0<sup>G</sup>33' - N 50<sup>G</sup>26' - Altitude : 1 135 m.

Exemple de sol brun andique soumis à dessiccation sur la planèze de Riom. Par rapport aux sols istués à la même altitude sur la planèze de Trizac beaucoup plus arrosée, ce sol est beaucoup plus argileux (halloysite), moins désaturé, relativement pauvre en alumine et silice amorphes, ce dernier élément étant plus soluble dans la soude que dans le réactif O.D.

N° 582 : Giou - E 0<sup>G</sup>35' - N 50<sup>G</sup>31' - Altitude : 1 031 m.

La planèze de Riom se termine au-dessus de la ville et le front d'une coulée basaltique affleure bien au-dessus du petit hameau de Giou. L'intérêt de ce profil vient du fait qu'il se développe à partir d'une altération argileuse de la partie scoriacée de la coulée ; cette altération, vraisemblablement fumerollienne est presque contemporaine de la mise en place de la coulée, et en tout cas, bien antérieure à la pédogénèse.

Bien que très argileux, ce sol a néanmoins un certain caractère andique, peut-être à cause d'un complexe organo-minéral très riche en fer amorphe. On peut remarquer aussi à cette occasion comme le rapport Si O.D./Si soude donne une bonne indication du rapport amorphe/argile. Nous avons vu par ailleurs que cette phase argileuse était pour l'essentiel composée de smectite héritée de cette altération ancienne.

## 2.- Sol brun ocreux

N° 573 : Puy de Lioucou - E 0<sup>G</sup>20'10" - N 50<sup>G</sup>30'10" - Altitude : 920 m.

Sol ocre andique sur moraine. Sur ce matériel volcanique hétérogène mais très poreux, se développe, sous une lande à Genêt, un sol rappelant tout à fait les sols bruns ocreux que l'on trouve sur roche acide aux mêmes altitudes.

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>11</sub>	5-30	9,1	7,9	46,6	9,4	16,4	8,2	0,61	13,4	4,7	0,46	0,28	0,06	0,80	17,8	4,4	60	30	17
A <sub>12</sub>	30-50	10,0	13,0	37,0	3,8	8,4	4,2	0,31	13,5	5,1	0,69	0,22	0,02	0,93	13,8	6,7	65	32	20
A <sub>1B</sub>	50-65	23,0	14,5	36,0	3,5	6,4	3,2	0,25	13	5,4	0,75	0,25	0,02	1,02	13,8	7,4	60	32	21
BC	65-75	23,5	15,7	34,5	3,2	5,4	2,7	0,22	12,3	5,5	0,78	0,27	0,01	1,06	13,8	7,7	68	31	23
C <sub>1</sub>	75-95	50,1	18,8	18,6	2,3	1,4	0,7	0,04	17,5	5,6	0,76	0,17	0,04	0,97	9,4	10,3	80	21	27
C <sub>2</sub>	> 95	56,7	18,0	14,1	1,8	0,8	0,4	0,02	20	5,7	0,84	0,23	0,11	1,18	9,2	12,8	75	19	27

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>p</sub>	0- 30	9,1	10,2	55,3	17,2	15,2	7,6	0,71	10,7	5,0	3,61	3,28	0,21	7,10	29,8	23,8	50,8	26,4	9,2
A <sub>1B1</sub>	30- 80	11,9	12,2	55,1	9,5	8,0	4,0	0,39	10,2	5,5	4,59	3,69	0,05	8,33	24,8	33,6	56	29,2	11,2
A <sub>1B2</sub>	80- 90	15,6	13	54,0	9,1	5,6	2,8	0,32	8,7	5,8	5,85	4,68	0,04	10,57	24,4	43,3	56,6	28	10,8
BC <sub>1</sub>	90-110	12,0	16,2	46,3	6,9	3,8	1,92	0,20	9,6	6,0	7,64	5,96	0,03	13,63	24,2	56,3	52,4	25,2	10,4
BC <sub>2</sub>	> 110	20,7	18,9	43,9	4,1	4,6	2,27	0,11	20	6,0	7,08	5,06	0,03	12,17	23,6	51,6	53,4	26,4	12,8

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100 g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-15	15,0	13,3	61,9	8,0	9,0	4,5	0,36	12,5	5,9	17,0	4,6	0,25	21,85	39,2	55,7	68,0	15,6	8,0
(B)	15-35	21,7	14,9	57,0	16,4	3,4	1,7	0,15	11,0	6,2	24,0	6,6	0,14	30,74	45,0	68,3	80,0	13,6	9,2
C	> 40	40,4	13,0	43,9	17,2	1,2	0,6	0,06	10,0	6,8	25,5	6,4	0,10	32,0	45,5	71,1	80,0	12,4	10,8

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-30					23,0	11,5	0,68	16,8	5,3	1,04	0,70	0,15	1,89	31,7	6,0	36,0	22,8	10,0
BC <sub>1</sub>	30-50	33,0	17,1	34,0	3,5	5,4	2,7	0,17	15,6	5,6	0,89	0,36	0,05	1,30	20,5	6,3	30,0	29,6	17,6
BC <sub>2</sub>	> 50	46,7	17,3	22,3	2,6	12,6	6,3	0,31	20,2	5,8	0,85	0,53	0,08	1,46	25,0	5,8	37,2	30,8	16,8



### 3.- Sols Bruns

N° 581 : Le Cheix - E 2°31' - N 45°16' - Altitude : 950 m.

La station du Cheix forme également un ensemble écologiquement intéressant qui, bien que d'origine morphologiquement glaciaire, se présente à peu près comme un cratère avec une dépression sommitale occupée par une petite mare plus ou moins temporaire. Tous les sols sont très désaturés et pauvres en silice soluble dans O.D. (N° 574 : fiche de sol type). Mais le caractère andique ne diminue pas en bas de pente (Al extractible augmente même) dans le sol hydromorphe de la dépression interne (n° 498), alors que la brunification des sols des versants externes est bien nette (N° 581). L'explication de ce fait contradictoire avec les observations faites dans les cratères et dépressions de la Chaîne des Puys n'est pas évidente. Elle est peut-être à rechercher dans le fait que ce sol hydromorphe très particulier où les traces d'oxydo-réduction sont bien nettes, est anormalement riche en matière organique.

N° 496 : La Roche - N 50°33' - E 0°21' - Altitude : 850 m.

N° 495 : Brocq - N 50°33' - E 0°22'50" - Altitude : 700 m.

N° 724 : Agut - N 50°55' - E 0°14' - Altitude : 650 m.

Trois exemples de sol brun. Le premier est un sol de pâture profond et argileux. Malgré une bonne structure grumeleuse, il garde cependant un faible caractère andique et n'est qu'à demi saturé, même à proximité du basalte ( $Al_2O_3 + SiO_2$  : 4 %).

Le second est un sol brun un peu plus acide, assez sableux, qui se développe à partir d'une formation d'ignimbrites (verre rhyolitique resoudé) riche à la fois en verre et en inclusions de socle ( $Al_2O_3 + SiO_2$  : 4 %).

Le dernier est un sol de station sèche peu profond et presque saturé en calcium au contact de la roche-mère. C'est le sol brun calcique qui représente, en basse altitude, le dernier terme de la séquence altitudinale des sols basaltiques.

N° 721 : Exabaux - E 2°34'30" - N 45°17'30" - Altitude : 790 m.

Profil complexe composé d'un sol brun faiblement andique reposant sur un ancien sol tronqué correspondant à une altération d'un ancien niveau de terrasse. Très grosses concrétions de fer à dispositions concentriques remarquables dans les niveaux antérieurement hydromorphes. Ce profil est signalé pour son intérêt dans le cadre d'éventuelles études géomorphologiques dans cette région.

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>p</sub>	0-20	33,8	15,8	42,3	10,6	8,8	4,4	0,41	10,7	5,2	1,5	0,67	0,25	2,27	20,0	11,4	30,0	15,2	4,8
A <sub>1</sub> B	20-40	37,0	17,6	41,1	8,9	5,2	2,6	0,24	10,9	5,3	1,75	0,80	0,22	2,77	18,7	14,8	31,2	14,4	5,6
BC	> 60	37,3	21,0	39,8	4,6	3,6	1,8	0,08	22	6,0	1,75	1,01	0,43	3,19	15,0	21,3	24,0	10,8	4,8

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100 g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-15	27,7	12,7	46,5	18,6	8,4	4,2	0,24	16	5,0	3,23	5,12	0,53	8,88	21,6	41	36	9,5	4,4
BC	15-30	41,0	17,3	30,8	11,0	1,6	0,82	0,06	13,5	5,7	7,99	6,62	0,16	14,77	19,0	78	39,4	8,4	5,2
C <sub>1</sub>	30-50	28,7	18,5	42,1	12,7	1,2	0,60	0,04	15	5,8	13,28	9,32	0,19	12,79	24,4	90	38	8,8	5,6
C <sub>2</sub>	> 50	37,6	22,6	30,2	7,1	0,6	0,27	0,02	13,5	6,0	7,97	6,56	0,09	14,62	20,4	72	40	7	8

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-20	42,3	16,0	39,6	12,7	5,6	2,8	0,21	13,3	4,9	0,83	0,24	0,25	1,32	17,5	7,5	24,0	12,4	10,0
A <sub>2</sub> B	20-50	32,1	19,4	45,9	11,5	6,6	3,3	0,25	13	4,7	0,80	0,22	0,30	1,32	19,6	6,7	24,0	13,5	4,8
(B)	50-80	30,5	20,6	50,2	12,6	3,68	1,84	0,15	12	4,9	0,82	0,23	0,36	1,41	20,8	7	24,8	14,4	5,2
BC <sub>1</sub>	80-100	30,7	27,2	47,0	11,4	1,0	0,50	0,06	8	5,2	0,90	0,55	0,25	1,70	14,0	12,1	19,2	9,6	6,4
BC <sub>2</sub>	> 100	44,7	29,8	32,3	2,8	0,6	0,30	0,02	15	5,0	0,81	0,29	0,30	1,40	10,5	13,4	10,0	6,0	4,8

### 3.- Sol sur gneiss (n° 583)

Sol brun ocreux sur gneiss : Les Riageais - E 0°20'20" - N 50°30'25"  
Altitude : 770 m.

Sol brun légèrement podzolisé sous l'influence de la végétation acidiphile : Chênaie dégradée à Fougère aigle, Canche flexueuse et mousses acidiphiles. Terme de comparaison représentatif de la plupart des sols de lande et de forêt sur le socle métamorphique.

---

## IV.- DIVERS

### 1.- Sols des Vosges (N° 77 - 90 - 95 - 212)

#### N° 77 : Basalte permien

Le seul affleurement de basalte permien qui ne soit pas en bas de pente sous les grès comporte, en haut de pente, une station peu humide où les sols présentent un caractère andique assez net malgré la teneur élevée en argile héritée pour une bonne part de l'altération des faciès les plus scoriacés de la roche-mère. La silice et l'alumine amorphes représentent 7 % de la terre fine dans l'horizon BC et seulement 3 % en A<sub>1</sub> qui est un mull très actif.

En dehors de cette station très particulière, les autres affleurements de basalte permien des Vosges portent des sols bruns mésotrophes (n° 90).

#### N° 95 et 212 : Formations volcaniques dévoniennes (volcanique sous marin géosynclinal).

Sur ces formations volcaniques très anciennes et très silicifiées, on a des sols plus ou moins podzolisés en fonction de la teneur en bases des roches-mères. La finesse de la texture les apparente quelque peu aux sols andiques.

#### Profil n° 95 : Sol brun acide (andique)

#### Profil n° 212 : Sol brun ocreux (andique)

### 2.- Monts du Forez (N° 726 et 727)

N 50°75' - E 1°62' - Altitude : 1 540 m.

Sur la route de crête des Monts du Forez, entre le Col du Beal et le sommet de Pierre sur Haute, deux profils de sols pseudoalpins sur roche éruptive ont été prélevés en vue de fournir des termes de comparaison avec les sols pseudoalpins sur roche basaltique. L'un est formé sur une diorite riche en amphibole et l'autre sur un granite prophyroïde leucocrate riche en quartz. Tous les deux sont formés sous la même végétation de lande pseudoalpine à Nard et Gentianes bleues très riche en Ericacées.

N° 726 : La Grange Jassière - Sol brun humifère sur diorite. Sol dont l'horizon A<sub>1</sub> épais et assez uniforme est caractérisé par une structure presque grumeleuse dont l'aération, la richesse en argile et la couleur brun rougeâtre témoignent de la formation active d'un complexe argilo-humique abondant. Les valeurs du C/N et la répartition du carbone dans le profil montrent que ce complexe est sans doute un substrat facilement minéralisé. L'abondance du fer, de l'alumine et de la silice extraits par le réactif O.D. est liée à celle du complexe d'altération (extraction à la soude après O.D.).

## N° 77 : Le Servaumont (Vosges)

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	0-10					24,7	12,36	0,76	16	4,5	4,75	0,99	0,51	6,26	44,50	14	31	13	2,5
A <sub>1</sub> B	10-15	20,6	14,7	66,0	20,3	7,3	3,64	0,32	11	4,7	0,75	tr.	0,96	1,71	25,25	7	34	15	2,5
(B <sub>1</sub> )	15-55	19,3	20,6	62,0		7,1	3,57	0,32	11	4,8	1,00	0,33	0,08	1,41	25,50	6	39	19	4,2
(B <sub>2</sub> )	55-80	20,6	25,3	56,0		5,9	2,97	0,32	9	5,3	1,75	0,62	0,06	2,43	27,25	9	40	22	5
BC	> 80	29	27,0	41,5		5,8	2,92	0,32	9	5,5	2,13	1,23	0,06	3,40	26,00	13	41	29	7

## N° 95 : Le Sapinot, près Saulxures.

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-5					17,9	8,95	0,58	15,4	4,0	1,05	0,44	5,76	7,54	36,0	21	19	8,5	2,5
A <sub>1</sub>	5-30	28,0	18,2	29,8	18,3	10,1	5,05	0,39	13,0	4,3	0,50	0,15	2,82	3,60	28,1	13	20	10	2,5
(B <sub>1</sub> )	30-45	39,4	7,4	53,9		3,6	1,75	0,13	13,5	4,4	0,45	0,06	1,41	2,03	17,9	11,3	22	9,7	2,5
(B <sub>2</sub> )	45-70	31,0	9,9	57,9		2,1	1,06	0,06	17,5	4,4	0,38	0,04	0,64	1,06	15,9	6,6	21	9,7	2
BC	> 70	29,8	12,8	58,2		0,6	0,30	0,03	10,0	4,6	0,45	0,08	1,02	1,60	14,8	10,7	20	5,6	1,8

## N° 212 : Sapinot de Colroy (Vosges)

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>0</sub>	0-10					54,8	27,40	0,780	35	4,1	1,50	0,62	1,28	3,40	40,00	8,5	9,2	2,8	0,6
A <sub>1</sub>	10-35	28,0	18,2	29,8	18,3	6,0	3,01	0,090	33	4,8	0	0	0,05	0,05	12,30	0,4	20	10	2,5
B <sub>5</sub>	35-60	39,4	7,4	53,9		1,8	0,92	0,050	18	5,0	0	0	0,08	0,08	9,00	0,9	18	9,2	2,8
BC	60-80	31,0	9,9	57,9		0,8	0,41	0,041	10	5,4	0	0,04	0,05	0,09	6,40	1,4	18	8,1	2,7
C	> 80	29,8	12,9	58,2		0,9	0,46	0,025	15	5,5	1,12	0,95	0,10	2,17	9,00	24,1	22	5	1,8

## N° 726 : La Grange Jassière

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		S.G.	S.F.	L+A*	A.						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>1</sub>	10-30					24,0	12,0	0,84	14,2	4,2	0,13	0,36	0,22	0,71	41,6	1,7	22	19	8
A <sub>1</sub> B <sub>h</sub>	30-45	22,1	14,1	38,7	16,4	19,6	9,8	0,50	13,6	4,2	0,14	0,24	0,11	0,49	31,0	1,6	22	21	7
A <sub>1</sub> B	45-65	18,9	13,0	33,8	9,0	6,7	3,3	0,23	14,6	4,3	0	0,04	0,03	0,07	15,0	0,5	12	15	8
BC <sub>1</sub>	65-105	28,9	15,5	33,2	8,4	3,0	1,5	0,10	15	4,2	0	0,11	0,02	0,13	9,2	1,4	12	14	9
BC <sub>2</sub>	105-125	38,3	14,9	33,6	8,0	1,9	0,9	0,08	12,3	4,1	0,17	0,08	0,06	0,31	8,2	3,8	12	13	13
C <sub>1</sub>	125-150	54,8	21,4	15,8	5,1	0,3	0,15	0,05	3,4	4,9	0,20	0,03	0,04	0,27	4,2	6,4	4,5	6	8
C <sub>2</sub>	150-180	57,0	19,9	16,5	5,8	0,4	0,2	0,02	11	4,7	0,05	0,05	0,01	0,11	2,6	4,2	4,5	9	12

N° 727 : Pierre sur Haute - Ranker cryptopodzolique - Profil A-BC typique de ranker cryptopodzolique dont l'horizon A<sub>0</sub>A<sub>1</sub> très épais, très noir, assez massif et peu aéré, est essentiellement constitué de matière organique peu décomposable (C/N supérieur ou égal à 20) à laquelle n'est incorporée qu'une quantité de matière minérale relativement faible et surtout constituée de grains de quartz. L'alumine extractible est essentiellement amorphe et migre dans le profil.

Hor.	Prof.	Granulométrie %				M.O. %	C% org.	N% tot.	C/N	pH
		S.G.	S.F.	L+A*	A.					
A <sub>11</sub>	15- 45					27,2	13,6	0,61	22,3	4,3
A <sub>12</sub>	45- 65					13,6	6,8	0,34	19,7	4,6
A <sub>13</sub>	65- 80					12,8	6,4	0,33	19,4	4,7
A <sub>1</sub> B	80- 95	45,6	14	26,3	6,8	7,0	3,5	0,22	16,2	4,7
BC <sub>n</sub>	95-120	50,1	18,6	26,9	3,6	1,8	0,9	0,04	22,5	4,6
BC <sub>o</sub>	95-120	45,5	18,3	27,4	5,9	4,8	2,4	0,12	20,2	4,7
C	120-140	57,0	15,8	23,6	3,4	1,3	0,6	0,03	22,3	4,6

Hor.	Prof.	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Amorphes O.D. %		
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	S	T		Fe	Al	Si
A <sub>11</sub>	15- 45	0,57	0,24	0,10	0,91	45,8	2,0	8	8	9
A <sub>12</sub>	45- 65	0,07	0,08	0,03	0,18	23,2	0,8	17	11	4
A <sub>13</sub>	65- 80	0,06	0,07	0,03	0,16	19,6	0,8	13	12	7
A <sub>1</sub> B	80- 95	0	0,06	0,01	0,07	15,2	0,5	9,5	11	9
BC <sub>n</sub>	95-120	0,01	0,11	0,01	0,13	5,8	2,2	7,5	7	7
BC <sub>o</sub>	95-120	0,01	0,07	0,01	0,09	9,0	1,0	9,5	10	9
C	120-140	0	0,14	0,01	0,15	3,2	4,7	7	6	9



CODE DES ECHANTILLONS  
utilisés dans l'analyse factorielle

<u>CHAINE DES PUYs</u>			<u>CANTAL</u>				
Andopodzol.	P <sub>1</sub>	Puy de Dôme	716 <sub>2</sub>	Andosols	C <sub>1</sub>	Suc du Rond	723 <sub>3</sub>
	P <sub>2</sub>	"	716 <sub>4</sub>		C <sub>2</sub>	"	723 <sub>5</sub>
	P <sub>3</sub>	"	716 <sub>6</sub>		C <sub>3</sub>	Marilhou	579 <sub>3</sub>
Andosols	P <sub>4</sub>	Mercoeur	865 <sub>1</sub>		C <sub>4</sub>	Marlieux	1236 <sub>2</sub>
	P <sub>5</sub>	"	865 <sub>3</sub>		C <sub>5</sub>	"	1236 <sub>4</sub>
	P <sub>6</sub>	Mey	731 <sub>2</sub>	Sols andiques	C <sub>6</sub>	Chatonnière (F)	868 <sub>2</sub>
	P <sub>7</sub>	"	731 <sub>9</sub>		C <sub>7</sub>	Beyssière	725 <sub>3</sub>
	P <sub>8</sub>	Goules	739 <sub>2</sub>		C <sub>8</sub>	Mouguenandes	572 <sub>2</sub>
	P <sub>9</sub>	Beaunit (sec)	869 <sub>2</sub>		C <sub>9</sub>	"	572 <sub>4</sub>
	P <sub>10</sub>	Beaunit (humide)	870 <sub>2</sub>		Sols bruns	C <sub>10</sub>	Giou
	P <sub>11</sub>	Bouchet	733 <sub>2</sub>	C <sub>11</sub>		Cheix	871 <sub>11</sub>
	P <sub>12</sub>	"	733 <sub>5</sub>	C <sub>12</sub>		"	871 <sub>12</sub>
	P <sub>13</sub>	Souis	732 <sub>3</sub>	Sols bruns		C <sub>13</sub>	Exabaux
P <sub>14</sub>	Gouttes	867 <sub>2</sub>	C <sub>14</sub>		"	721 <sub>7</sub>	
P <sub>15</sub>	"	867 <sub>6</sub>	C <sub>15</sub>		Augoules	588 <sub>3</sub>	
P <sub>16</sub>	Pontgibaud	1235 <sub>1</sub>	C <sub>16</sub>		Agut	724 <sub>2</sub>	
P <sub>17</sub>	"	1235 <sub>4</sub>	C <sub>17</sub>		Riageais	583 <sub>2</sub>	
P <sub>18</sub>	Olby	946 <sub>1</sub>					
P <sub>19</sub>	"	946 <sub>5</sub>					
<u>MONTs DOREs</u>			<u>VOSGES</u>				
Sol podzologique	D <sub>1</sub>	Lusclade	1234 <sub>1</sub>	Sols bruns	V <sub>1</sub>	Revenchet	77 <sub>2</sub>
	D <sub>2</sub>	"	1234 <sub>3</sub>		V <sub>2</sub>	Nayemont	90 <sub>1</sub>
Sol andique	D <sub>3</sub>	La Queuille	587 <sub>2</sub>		V <sub>3</sub>	Sapinot	95 <sub>2</sub>
	D <sub>4</sub>	"	587 <sub>4</sub>		V <sub>4</sub>	Colroy (podzolisé)	212 <sub>2</sub>
					V <sub>5</sub>	Hohwald (sol brun)	1095 <sub>4</sub>

## BIBLIOGRAPHIE

- ACQUAYE (D.K.), TINSLEY (J.), 1965 - Soluble silica in soils. *Experimental Pedology*. Hallsworth Crawford, London Butterworth, 126-148.
- AHMAD (N.), PRASHAD (S.), 1970- Dispersion, mechanical composition and fractionation of West Indian yellow Earth soils (Andepts). *J. Soil Sci.*, 21 (1), 63-71.
- ANDRE (J.P.), 1970 - Isothermes d'échange ionique sur les sols et réseaux de concentration. *Ann. Agron.*, 21 (6), 703-724.
- ANDRE (M.), NERVI (J.C.), LESPINAT (P.A.) et MASSIMINO (D.), 1974 - Units for automatic culture in artificial atmosphere. "C2 3A" project. *Acta Horticulturae*, 39, 59-68.
- ANDREUX (F.), METCHE (M.), 1974 - Formation d'allomélanines préhumiques au cours de l'autolyse des feuilles de *Juglans regia*. Variation des propriétés fonctionnelles avec l'encombrement moléculaire. C.R. Coll. Intern. "Biodégradation - Humification" Nancy, Sept. 1974.
- AOMINE (S.), JACKSON (M.L.), 1959 - Allophane determination in andosols by cation exchange capacity Delta value. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 210-214.
- AOMINE (S.), WADA (R.), 1962 - Differential weathering of volcanic ash and pumice resulting in formation of hydrated halloysite. *Amer. Min.* 47, 9-10, 1024-1048.
- ASKENASY (P.E.), DIXON (J.B.), MCKEE (T.R.), 1973 - Spheroidal halloysite in a Guatemalan soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37 (5), 799-803.
- BALLMANN (P.), 1972 - Vermitterung und Mineralnenbildung in tertiären Trachyffuffen des Siebengebirges unter Berücksichtigung der Ablagerungsverhältnisse. *Pedologie*, Gand, XXII (3), 328-355.
- BALSEINTE (R.), 1966 - Climats montagnards et stations climatiques d'altitude en France. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Grenoble, 523 p.
- BAUZON (D.), PONGE (J.F.), DOMMERGUES (Y.), 1974 - Variations saisonnières des caractéristiques chimiques et biologiques des sols forestiers interprétées par l'analyse factorielle des correspondances. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 11 (3), 283-301.
- BECH-BORRAS (J.), SEGALÉN (P.), QUANTIN (P.), 1974 - Sur la présence d'andosols à Olot (Gerona, Espagne). *C.R. Acad. Sci. Paris*, sous presse.
- BELOUSOVA (N.I.), TONKONOGOV (V.D.), 1968 - Weathering of Kamchatka volcanic ash. *Pochvovedeniye*, 5, 43-55.
- BENTOR (Y.), 1954 - La Chaîne des Puys (Massif Central français). Recherches géologiques et pétrographiques. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, 52, 242, 373-806.
- BESOAIN (M.E.), 1969 - Clay mineralogy of volcanic ash soils. *In* : Panel on volcanic ash soils in Latin America. Congrès de Turrialba (Costa Rica), B1.1-B.1.16.
- BIRREL (K.S.), 1961 - The absorption of cations from solution by allophane in relation to their effective size. *J. Soil Sc.*, 12, 307-316.
- BIRREL (K.S.), 1962 - Surface acidity of subsoils derived from volcanic ash deposits. *N.Z. J. Sci.*, 5, 453-462.
- BIRREL (K.S.), 1964 - Some properties of volcanic ash soils. *In* : Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash. Congrès de Tokyo, 74-81.
- BIRREL (K.S.), 1966 - Determination of clays content in soils containing allophane. *N.Z. J. Agric. Res.*, 9 (3), 554-564.

- BONFILS (P.), 1972 - Caractérisation des andosols de l'Escandorgue et des sols bruns andiques du Lovedois. Bull. A.F.E.S., 3, 113-127.
- BONFILS (P.), MOINEREAU (J.), 1971 - Propriétés physiques des andosols et des sols bruns andiques au Sud du Massif Central. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédologie, IX (3), 346-363.
- BONHOMMET (N.), ZÄHRINGER (J.), 1969 - Paleomagnetism and potassium argon age determinations of the Laschamp geomagnetic polarity event. Earth a. Planet. Sc. Let., 6, 43-46.
- BORNAND (M.), CALLOT (G.), FAVROT (J.C.), SERVAT (E.), 1968 - Les sols de la plaine d'Allier. C.R.A.M., S.E.S. Montpellier, 100, 199 p., 1 carte.
- BOUT (P.), FRECHEN (J.), LIPPOLT (H.J.), 1966 - Datations stratigraphiques et radiochronologiques de quelques coulées basaltiques de Limagne. Revue d'Auvergne, 80 (4), 207-231.
- BOWER (C.A.), HATCHER (J.T.), 1967 - Adsorption of fluoride by soils and minerals. Soil Science, 103, 151-154.
- BRACEWELL (J.M.), CAMPBELL (A.S.), MITCHELL (B.D.), 1970 - An assessment of some thermal and chemical techniques used in the study of the poorly ordered aluminosilicates in soil clays. Clay miner., 8, 325-335.
- BRETHES (A.), 1973 - Mode d'altération et différenciation pédogénétique sur leucogranite du Massif du Morvan. Comparaison avec le Massif Vosgien. Thèse. Doc. Spéc. Université Nancy I.
- BROADBENT (F.E.), JACKMAN (R.H.), McNICOLL (J.), 1964 - Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil Science, 98, 118-128.
- BROUSSE (R.), 1960 - Minéralogie et pétrographie des roches volcaniques du Massif du Mont-Dore (Auvergne). Thèse Doctorat d'Etat, Université de Paris.
- BROUSSE (R.), DELIBRIAS (G.), LABEYRIE (J.), RUDEL (A.), 1969 - Eléments de chronologie des éruptions de la Chaîne des Puys. Bull. Soc. Géol. France, 7ème série, XI, 770-793.
- BRUCKERT (S.), HETIER (J.M.), GUTIERREZ JEREZ (F.), 1974 - Dynamique de l'humification des andosols du Massif Central français et des Iles Canaries : Caractérisation physico-chimique des complexes organo-minéraux. Sci. du sol; sous presse.
- BRUCKERT (S.), METCHE (M.), 1972 - Dynamique du fer et de l'aluminium en milieu podzolique. Caractérisation des complexes organo-métalliques des horizons spodiques. Bull. E.N.S.A.I.A., XIV (2), 263-275.
- BRYDON (J.E.), DAY (J.H.), 1969 - Use of the FIELDER and PERROT Sodium fluoride test to distinguish the B horizons of podzols in the field. Can. J. Soil Sci., 50, 35-41.
- CAMPBELL (C.A.), PAUL (G.A.), RENNIE (D.A.), McCALLUM (K.J.), 1967 - Factors affecting the accuracy of the carbon dating method in soil humus studies. Soil Science, 104, 81-85
- CARBIENER (R.), 1963 - Remarques sur un type de sol peu étudié : le ranker cryptopodzolique de l'étage subalpin. C.R. Acad. Sci. Paris, 256, 4977-4979.
- CASES (J.), 1968 - Les phénomènes physico-chimiques à l'interface. Application au procédé de la flottation. Thèse Doctorat d'Etat, Université NANCY, 117 p.
- CHICHESTER (F.W.), YOUNGBERG (C.T.), HARWARD (M.E.), 1969 - Clay mineralogy of soils formed on Mazama Pumice. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33 (1), 115-120.
- CHONE (Thérèse), JACQUIN (F.), YAGHI (M.), 1974 - Emploi de  $^{14}\text{C}$  et  $^{45}\text{Ca}$  comme éléments traceurs de l'humification. Bull. E.N.S.A.I.A., XV (1-2), 69-85.



- COLMET-DAAGE (F.), 1974 - Caractéristiques et propriétés hydriques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques du Chili Central. Publ. O.R.S.T.O.M. Antilles, n° 84, éd. provisoire, 2ème version de mai 1974, 115 p.
- COLMET-DAAGE (F.), CUCALON (F.), DELAUNE (M.), GAUTHEYROU (J. et M.), MOREAU (B.), 1967 - Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. 1ère partie : Essai de caractérisation des sols. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., IV (1), 1-38. 2ème partie : Conditions de formation et d'évolution. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol., V (4), 353-392, 1968.
- COLMET-DAAGE (F.), de KIMPE (C.), DELAUNE (M.), SIEFFERMANN (G.), GAUTHEYROU (J. et M.), FUSIL (G.), KOKOUI (M.), 1969 - Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. 3ème Partie : Comparaison de l'évolution des sols des régions chaudes, tropicales et tempérées froides d'altitude. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., VII (4), 495-559.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (M.), de KIMPE (C.), FUSIL (G.), 1972a - Dispersion et étude des fractions fines de sols à allophane des Antilles et d'Amérique latine. 1ère Partie : Dispersion. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., X (3), 169-191.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (J. et M.), de KIMPE (C.), FUSIL (G.), SIEFFERMANN (G.), 1972b - Dispersion et étude des fractions fines de sols à allophane des Antilles et d'Amérique latine. 2ème Partie : Modifications de la nature et de la composition de la fraction inférieure à 2 microns selon la taille des particules. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., X (3), 219-241.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (J. et M.), de KIMPE (C.), 1973 - Etude des sols à allophane dérivés de matériaux volcaniques des Antilles et d'Amérique latine, à l'aide d'une technique de dissolution différentielle. 1ère Partie : Etude des produits solubilisés. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., XI (2), 97-120.
- CORRENS (C.W.), 1961 - Beobachtungen über die Bildung und Umbildung von Tonmineralen bei der Zersetzung von Basalten. In : Genèse et synthèse des argiles. Colloque de Paris. Ed. du C.N.R.S., 109-121.
- CORTES (A.), FRANZMEIER (D.P.), 1972 - Climosequence of ash-derived soils in the Central Cordillera of Columbia. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 4, 653-659.
- COUTINET (S.), 1967 - Contribution à l'étude des sols à allophane. Agron. Trop., 22, 1157-1175.
- DABIN (B.), 1967 - La matière organique des sols ferrugineux tropicaux. Réunion Pédol. O.R.S.T.O.M., 13 p. ronéo, 7 figures.
- DAGET (Ph.), 1967 - Etude phytoclimatique d'une région de moyenne montagne : La Margeride. Doc. n° 36, C.E.P.E. Montpellier, 186 p.
- DEJOU (J.), GUYOT (J.), CHAUMONT (C.), 1972 - La gibbsite, minéral banal d'altération des formations superficielles et des sols développés sur socles cristallins et cristalloyphyllics dans les zones tempérées humides. 24th I.G.C., section 10, 417-425.
- DEJOU (J.), GUYOT (J.), CHAUMONT (C.), 1973 - Examen de la répartition et de l'évolution de la métahalloysite dans les zones d'altération et les sols développés sur diorites dans les régions tempérées humides. Ce minéral peut-il être élaboré en partie au cours de la phase de pédogénèse ? C.R. Acad. Sc. Paris, 276 D, 1273-1276.
- DEJOU (J.), GUYOT (J.), PEDRO (G.), CHAUMONT (C.), ANTOINE (H.), 1968 - Nouvelles données concernant la présence de gibbsite dans les formations d'altération superficielle des massifs granitiques (cas du Cantal et du Limousin). C.R. Acad. Sc. Paris, 266, 1825-1827.

- DEJOU (J.), GUYOT (J.), ROBERT (M.), 1974 - Différenciations observées au cours de l'évolution géochimique superficielle entre les roches acides (granites, micaschistes) et les roches basiques (diorites) dans les régions tempérées humides. C.R.Acad. Sc. Paris, 279 D, 223-226.
- DIATTA (M.), 1970 - Utilisation des ultrasons et des prétraitements chimiques pour l'extraction et la préparation des argiles des sols. Mém. D.E.A. Nancy, 60 p.
- DIXON (J.B.), McKEE (T.R.), 1974 - Spherical halloysite formation in a volcanic soil of Mexico. Trans. Xth. Cong. of Soil Sci., Moscou, VII, 115-124.
- DOMMERMUES (Y.), 1962 - Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. Thèse Doctorat Etat, Univ. Paris, 157 p.
- DORMAAR (J.F.), 1974 - Scanning electron microscopy as applied to organo-mineral complexes in alkaline extracts of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38 (4), 685-686.
- DUBOIS (G.), DUBOIS (C.), FIRTION (F.), 1944 - Composition, genèse et âge des sols montagnards tourbeux du Cantal. C.R. Acad. Sci., 219, p. 465.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1970 - Précis de Pédologie. 3ème édition, Masson & Cie éd. Paris.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1973 - Action des cations sur les processus d'humification. Sci. du sol, 3, 151-161.
- DUCHAUFOR (Ph.), JACQUIN (F.), 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. Bull. E.N.S.A.N., VIII (1), 3-24.
- DUCHAUFOR (Ph.), SOUCHIER (B.), 1966a - Note sur une méthode d'extraction combinée de l'aluminium et du fer libres dans les sols. Sci. du sol, 1, 17-31.
- DUCHAUFOR (Ph.), SOUCHIER (B.), 1966b - Sols andosoliques et roches volcaniques des Vosges. Sci. de la Terre, XI (3), 345-365.
- DUDAL (R.), SOEPRAPTOHARDJO (M.), 1960 - Some considerations on the genetic relationship between latosols and andosols in Java (Indonesia). Trans. VIIth inter. Congress of Soil Sci., Madison (USA), IV, V32, 229-237.
- DUPIAS (G.), LAVERGNE (D.), 1966 - Carte de la végétation de la France. Feuille 58 Aurillac. Publ. C.N.R.S.
- DUPUIS (J.), HOREMANS (P.), 1966 - Observations sur quelques sols du Massif Central. Ann. Inst. Nat. Agron. Paris, IV, 317-375.
- ELGAWHARY (S.M.), LINDSAY (W.L.), 1972 - Solubility of silica in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 3, 439-442.
- ESCHENA (T.), GESSA (C.), 1967 - Gli andosuoli della Sardegna. Studi. Univ. Sassari, 15 (2), 363-386.
- ESTIENNE (P.), 1956 - Recherches sur le climat du Massif Central. Mémorial de la Météorologie Nationale, Paris, 52, 242 p.
- FARES (F.), 1974 - Contribution à l'étude du phosphore organique dans les sols. Thèse Doct. Ing. Univ. Nancy I.
- FIELDES (M.), 1962 - The nature of the active fraction of soils. Int. Soc. Soil Sc. Conf. N.Z., 62-78.
- FIELDES (M.), 1966 - Significance of structural randomness in pedogenesis. N.Z. J. Sci. Techn., 9, 599-607.



- FIELDER (M.), PERROTT (K.W.), 1966 - The nature of allophane in soils. 3. Rapid field and laboratory test for allophane. N. Zeal. J. Sci., 9, 629-632.
- FIELDER (M.), SCHOFIELD (R.K.), 1960 - Mechanism of ion adsorption by inorganic soil colloids. N.Z. J. Soil Sci., 3, 563-579.
- FRANCIS (C.W.), BONNER (W.P.), TSUNEO TAMURA, 1972 - An evaluation of zonal centrifugation as a research tool in soil science. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 (2), 366-372.
- FRANCIS (C.W.), TSUNEO TAMURA, BONNER (W.P.), AMBURGEY (J.W., Jr.), 1970 - Separation of clay minerals and soil clays using isopycnic zonal centrifugation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34 (2), 351-353.
- FRIPIAT (J.J.), 1964 - Surface properties of aluminosilicates. Clays and Clay minerals. Proc. 12th Nat. Conf. Atlanta (Georgia), oct. 1963.
- FURKERT (R.J.), FIELDER (M.), 1968 - Allophane in New Zealand Soil. 9th Int. Soil Sci. Cong., III, 133-141.
- GAC (J.Y.), 1967 - Les altérations de quelques roches cristallines des Vosges. Etude minéralogique et géochimique. Thèse 3ème cycle Univ. Strasbourg, 77 p.
- GASTUCHE (M.C.), FRIPIAT (J.J.), KIMPE (C. de), 1961 - La genèse des minéraux argileux de la famille du kaolin. In : Genèse et Synthèse des argiles. Colloque de Paris, éd. C.N.R.S., 57-81.
- GEBHARDT (H.), COLEMAN (N.T.), 1974 - Anion adsorption by allophanic tropical soils. III. Phosphate adsorption. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38 (2), 263-265.
- GEBHARDT (H.), HUGENROTH (P.), MEYER (P.), 1969 - Pedochemische Verwitterung und Mineralumwandlung im Trachyt Bims, Trachyttuff und in dem Tuffmischsedimenten des Laacher Eruption Phase. Götting. Bodenkdl. Berichte, 11, 1-83.
- GLANGEAUD (Ph.), 1913 - La Chaîne des Puys et la Petite Chaîne des Puys. Bull. Serv. Carte Géol. France, 22 (135), 241-496.
- GRIM (R.E.), 1953 - Clay mineralogy. McGraw Hill Book Co, London.
- 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.
- GUCKERT (A.), ROGER (P.), JACQUIN (F.), 1968 - Contribution à l'utilisation de techniques radioisotopiques pour l'étude de la matière organique du sol. Bull. E.N.S.A.N., 10, 69-100.
- GUILLET (B.), 1972 - Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 112 p.
- HASHIMOTO (I.), JACKSON (M.L.), 1960 - Rapid dissolution of allophane and kaolinite halloysite after dehydration. Nat. Conf. Clays Clay Miner., 7, 1958. Washington, 102-113.
- HEILMANN (P.E.), GASS (L.), 1974 - Parent materials and chemical properties of mineral soils in South-East Alaska. Soil Sci., 117 (1), 21-27.
- HETIER (J.M.), 1968 - Etude de quelques sols andosoliques sur roches volcaniques primaires des Vosges. Thèse 3ème cycle, Univ. Nancy I, 54 p.
- HETIER (J.M.), 1969 - Etude de l'application du test FNa à l'estimation des constituants amorphes dans les sols tempérés. Sci. du sol, 2, 91-97.

- HETIER (J.M.), 1971 - Caractérisation et répartition de quelques sols sur roches volcaniques du Massif Central. I. Région de Menet, Cantal. Sci. du sol, 2, 51-82.
- HETIER (J.M.), 1973 - Caractérisation et répartition de quelques sols sur roches volcaniques du Massif Central. II. Comparaison Cantal-Chaîne des Puys. Sci. du sol, 2, 97-114.
- HETIER (J.M.), GUTIERREZ JEREZ (F.), BRUCKERT (S.), 1974 - Morphoscopie et composition des complexes organo-minéraux des andosols. C.R. Acad. Sci., 278, 2735-2737.
- HETIER (J.M.), JEANROY (E.), 1973 - Solubilisation différentielle du fer, de la silice et de l'alumine par le réactif oxalate-dithionite. Pédologie, Gand, XXIII (2), 85-99.
- HETIER (J.M.), TARDY (Y.), 1969 - Présence de vermiculite-Al, montmorillonite-Al et chlorite-Al dans quelques sols des Vosges. C.R. Acad. Sci. Paris, 268 D, 259-261.
- HIGASHI (T.), IKEDA (H.), 1974 - Dissolution of allophane by acid oxalate solution. Clay Science, 4, 205-211.
- HOUNG (K.H.), UEHARA (G.), SHERMAN (G.D.), 1966 - On the exchange properties of allophanic clays. Pacific Sci., 20 (4), 507-514.
- HUANG (P.M.) et JACKSON (M.L.), 1965 - Mechanism of reaction of neutral fluoride solution with layer silicates and oxides of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29, 661-665.
- ICOLE (M.), 1971 - Accumulation d'hallowysite des paléosols des terrasses minéziennes et du quaternaire ancien des Pyrénées Nord-occidentales. C.R. Acad. Sci., 272 D, 1216-1218.
- IIMURA (K.), 1960 - Ion adsorption curves in allophane. Clay Sci. Jap., 1, (3-4), 40-44.
- IIMURA (K.), 1969 - The chemical bonding of atoms in allophane. The "Structural formula" of allophane. C.R. Intern. clay conf. Tokyo, 161-172.
- INO (Y.), MONSI (M.), 1965 - On the decomposition rate of soil organic matter in humic allophane soils of Mt Kirigamine. Bot. Mag. Tokyo, 911, 168-175.
- INOUE (T.), WADA (K.), 1968 - Adsorption of humified clover extracts by various clays. 9th Congr. Soil Sci., III, 289-298.
- ISHIZAWA (S.), TOYODA (H.), 1964 - Microflora of Japanese soils. Part. 3. Soil Sci. Pl. Nutr., 10 (4), 3-8.
- ISNARD (P.), MALLET (J.L.), CAZE (P.), SATTRAN (V.), 1972 - Corrélation géologique. Méthode statistique de traitement des données. In : Traité d'Informatique Géologique (Chap. 9), Masson Paris éd., 624 p.
- JACKSON (M.L.), 1968 - Weathering of primary and secondary minerals in soils. 9th Int. Soil Sci. Congr., IV, 281-292.
- JAMBU (P.), 1971 - Contribution à l'étude de l'humification dans les sols hydromorphes calciques. Thèse Doct. Etat, Univers. Poitiers, 192 p.
- JEANROY (E.), 1967 - Note technique sur la spectrophotométrie par absorption atomique. Note Technique n° 1, C.P.B., C.N.R.S. Nancy.
- JEANROY (E.), 1974 - Analyse totale par spectrométrie d'absorption atomique des roches, sols, minerais, ciments, après fusion au métaborate de strontium. Analisis, 2 (10-11), 703-712.
- JONES (R.C.), UEHARA (G.), 1973 - Amorphous coatings on mineral surfaces. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38, 792-798.



- JUNG (J.), 1946 - Géologie de l'Auvergne et de ses confins bourbonnais et limousins. Mém. pour servir à l'explication de la carte géologique de France.
- KANNO (I.), ONIKURA (Y.), HIGASHI (T.), 1968 - Weathering and clay mineralogical characteristics of volcanic ashes and pumices in Japan. C.R. 9ème Congr. Intern. Sci. Sol (Adélaïde), III, 111-122.
- KATO (Y.), 1972 - A model for amorphous materials of upland humic soils in Japan. Pedologist, 16 (2), 92-106.
- KAWAI (K.), 1969 - Changes in cation exchange capacity of some andosols with dithionite citrate treatment. Soil Sci. Pl. Nutr., 15 (3), 97-103.
- KIEFFER (G.), 1968 - Contribution à l'étude de l'altération des laves à caractère basaltique. Revue d'Auvergne, 82 (1), 27-49.
- KITAGAWA (Y.), 1971 - The "Unit particle" of allophane. Amer. Miner., 56, (3-4), 465-475.
- KOBO (K.), 1964 - Properties of volcanic ash soils. In : Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash. Congrès de Tokyo, 71-73.
- KOBO (K.), FUJISAWA (T.), 1964 - Studies on the clay-humus complex. 4. Preferential adsorption of humic acid by clay. J. Sci. Soil Tokyo, 35, 40-46.
- KONONOVA (M.M.), BEL'CHIKOVA (N.P.), 1970 - Use of sodium pyrophosphate to separate and characterize organo-iron and organo-aluminium compounds in soil. Pochvovedeniye, 6, 61-74.
- KOSAKA (J.), 1963 - Division of the process of humification in uplands soils and its application to soil classification. Soil Sci. Pl. Nutr., 9 (3), 14-18.
- KOSAKA (J.), HONDA (L.), ISEKI (A.), 1962 - Transformation of humus in upland soils of Japan. Soil Sci. Pl. Nutr., 8 (5), 23-28.
- KRUYT (H.R.), 1952 - Colloid Science. Elsevier Publishing Co. Amsterdam, 398 p.
- KUMADA (K.), KATO (H.), 1970 - Browning of pyrogallol as affected by clay minerals. Soil Sci. Pl. Nutr., 16 (5), 195-201.
- KYUMA (K.), KAWAGUCHI (K.), 1964 - Oxidative changes of polyphenols as influenced by allophane. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28, 371-374.
- KYUMA (K.), HUSSAIN (A.), KAWAGUCHI (K.), 1969 - The nature of organic matter in soil organo-mineral complexes. Soil Sci. Pl. Nutr. 15 (4), 149-155.
- LAI (S.H.), SWINDALE (L.D.), 1969 - Chemical properties of allophane from Hawaiian and Japanese soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 804-808.
- LALANDE (P.), 1960 - Etude phytogéographique et pédologique du versant sud du Plomb du Cantal. D.E.S. Fac. Sci., Toulouse.
- LAMBERT (A.), 1969 - Géologie de la moyenne vallée du Mars et des plateaux adjacents (Massif du Cantal). Thèse de 3ème cycle, Orsay, 247 p.
- LAMOUREUX (M.), QUANTIN (P.), 1973 - Utilisation de courbes de vitesse de dissolution dans la méthode cinétique de SEGALIN. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XI (1), 3-14.
- LEBART (P.), FENELON (J.P.), 1971 - Statistique et informatique appliquée. Dunod éd., 426 p.
- LEGROS (J.P.), 1974 - Séquence altitudinale des sols dans la partie orientale du Massif Central, en relation avec la végétation. Sci. du sol, sous presse.

- LELONG (F.), 1967 - Nature et genèse des produits d'altération des roches cristallines sous climat tropical humide (Guyane française). Thèse Doct. Univ. Nancy, 182 p.
- LELONG (F.), SOUCHIER (B.), 1970 - Bilans d'altération dans la séquence des sols vosgiens. Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lor., 23 (3-4), 113-143.
- LEMEE (G.), 1942 - Recherches sur l'histoire forestière post-glaciaire en Auvergne. III. Modifications forestières et climatiques dans les Monts Dore d'après l'analyse pollinique. Rev. Bot. Bot. Auvergne, 3, 84-125.
- LEMEE (G.), 1946 - Genèse des sols alpins du Mont Dore. Bull. Soc. Bot. Fr. XVIII, 402-407.
- LEMEE (G.), 1951 - Carte des groupements végétaux de la France. Feuille 1/20 000 Clermont-Ferrand.
- LEMEE (G.), 1955 - L'évolution de la forêt française au cours du Quaternaire d'après les analyses polliniques. Rev. Forest. Fr., 6, 442-460.
- LEMEE (G.), 1956 - Sur l'évolution de la végétation dans le Massif du Cantal au tardi-glaciaire et au post-glaciaire. Bull. Soc. Bot. Fr., 103, 83-94.
- LEMEE (G.), CARBIENER (R.), 1956 - La végétation et les sols des volcans de la Chaîne des Puys. Bull. Soc. Bot. fr., 103, 7-29.
- LEONARD (A.), SUZUKI (S.), FRITZTAT (J.J.), 1964 - Structure and properties of amorphous silico-aluminas : 1. J. Phys. Chem., 68, 2608-2617.
- LESPINAT (P.), HETIER (J.M.), THOMANN (Christianne), CHONE (Thérèse), 1971 - Utilisation des parties aériennes d'un maïs uniformément marqué par des états des d'humification. Sci. du sol (sous presse).
- LE TACON (F.), OSWALD (H.), 1969 - Les sols de Haute-Ardèche : caractérisation et production forestière. Bull. A.F.E.S., 2, 7-19.
- LILY HU, YOUNGBERG (C.T.), GILMOUR (C.M.), 1972 - Readily oxidizable carbon. An index of decomposition and humification of forest litter. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36, 959-961.
- LUCAS (J.), 1962 - La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du Trias. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lor., 23, 201 p.
- LUNA (C.), 1969 - Genetic aspects of Columbian andosol. In : Panel on volcanic ash soils in Latin America. Congrès Turrialba, Costa Rica, A.3.1.-A.3.12.
- McKEAGUE (J.A.), ST. ARNAUD (R.J.), 1969 - Pedotranslocations : eluviation and illuviation in soils during the Quaternary. Soil Sci., 107 (5), 428-435.
- MARTELL (Y.A.), PAUL (E.A.), 1974 - The use of radiocarbon dating of organic matter in the study of soil genesis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38, 501-508.
- MARTINI (J.A.), 1969 - Geographic distribution and properties of ash-derived soils in Central America. Congrès Turrialba. Costa Rica, A.5.1.-A.5.17.
- MASUI (J.I.), SHOJI (S.), 1969 - Crystalline clay minerals in volcanic ash soils in Japan. Proc. 3rd Intern. Clay Conf., 1, 383-392.
- MEHRA (O.P.), JACKSON (M.I.), 1960 - Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay minerals, 7, 317-327.
- MEILHAC (A.), 1970 - Origine et évolution des minéraux phylliteux dans les altérations des granites en pays tempéré. Bilans minéralogique et géochimique sur deux massifs des Vosges. Thèse 3ème cycle, Fac. Sci., Strasbourg, 71 p.
- MERLET (D.), 1971 - Mise au point technique concernant l'extraction et la caractérisation des composés organiques présents dans les sols. N.T. n° 15, C.P.R. et C.N.R.S. Nancy.



- MERLET (D.), 1975 - Variations saisonnières de l'activité biologique dans les horizons humifères. D.E.S. Fac. Sci. Nancy I.
- MEYER (B.), SARK (R.), 1970 - Aggregate, Dispersierungs-Resistenz und Vorbehandlungsmethoden zur Korngrößen-Analyse saurer allophan haltiger Lockerbraunerden. Götting. Bodenkdl. Berichte, 14, 85-105.
- MICHEL (R.), 1953 - Contribution à l'étude des pépérites et du volcanisme tertiaire de la Grande Limagne. Mém. Soc. Hist. Nat. d'Auvergne, 5.
- MILLOT (G.), 1964 - Géologie des argiles. Masson Paris, éd. 494 p.
- MITCHELL (B.D.), FARMER (V.C.), MAC HARRY (W.J.), 1964 - Amorphous inorganic material in soils. Adv. in Agronomy, 16, 327-383.
- MOINEREAU (J.), 1965 - Observations pédologiques sur les sols du massif volcanique des Coirons. Bull. A.F.F.S., 6-7, 188-223.
- MOINEREAU (J.), 1968 - Les sols et les paléosols du Bas Vivarais (Ardèche). Ann. Inst. Nat. Agron. V, 169-251.
- MOINEREAU (J.), 1974 - Andosols, sols podzoliques, sols andiques, et sols bruns : séquence sur matériaux basaltiques dans le Velay oriental et le Vivarais (Massif Central français). 1ère partie : Evolution et différenciation des profils. Sci. du sol, 3, 173-193.
- MOINEREAU (J.), BIBENT (B.), TRICHET (J.), 1974 - Présence de produits amorphes et de minéraux argileux de la famille de l'halloysite en suspension dans les eaux de drainage d'un tuf basaltique. C.R. Acad. Sci., Paris, 278 D, 2392-2392.
- MONNIER (G.), TURC (L.), JEANSON-LUUSINANG (L.), 1962 - Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. Ann. Agron. 13 (1), 55-63.
- MOURIER-TCHERNIA (F.), 1968 - Evolution pédologique des produits des volcans vulsiniens. Thèse 3ème cycle, Fac. Sci. Paris.
- NALOVIC (L.J.), QUANTIN (P.), 1972 - Evolution géochimique de quelques éléments majeurs et traces dans un sol ferrallitique ferritique de Nouvelle Calédonie issu de péridotite. Interprétation d'observations à l'aide de la microsonde de Castaing. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 10 (4), 389-410.
- NGUYEN KHA, 1973 - Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 157 p.
- NGUYEN KHA, BRUCKERT (S.), 1972 - Rôle du pH dans l'extraction des complexes organo-ferriques par l'hydroxyde ou le pyrophosphate de sodium. C.R. Acad. Sci. Paris, 274, 667-670.
- NYS (C.), 1973 - Les sols du Plateau de Millevaches. Sci. du sol, 4, 241-254.
- OHMASA (M.), 1964 - Scope of volcanic ash soils. Their extent and distribution. In : Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash. Congr. Tokyo, 7-8.
- OSWALD (H.), 1969 - Condition forestière et potentialité de l'Epicéa en Haute-Ardèche. Ann. Sci. Forest., 26 (2), 183-224.
- PEDRO (G.), 1964 - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique de roches cristallines. Thèse Doct. Etat, Fac. Sci. Paris, 344 p.
- PEDRO (G.), ROBERT (M.), 1968 - Etude géochimique d'un sol andique développé sur lapillis près du Puy de la Vache (Massif Central). 53ème Congr. Nat. Soc. Savantes Tours. I, 245-259.
- PERRAUD (A.), NGUYEN KHA, JACQUIN (F.), 1971 - Essai de caractérisation des formes de l'humine dans plusieurs types de sols. C.R. Acad. Sci. Paris, 271, 1594-1597.



- QUANTIN (P.), 1972 - Les andosols. Revue bibliographique des connaissances actuelles. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., X (3), 273-301.
- QUANTIN (P.), 1974 - Hypothèses sur la genèse des andosols en climat tropical. Evolution de la pédogénèse initiale en milieu bien drainé sur roche volcanique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XII (1), 1-12.
- RIQUIER (J.), 1960 - Les phytolites de certains sols tropicaux et des podzols. 7th. Intern. Congr. of soil sci. Madison, Wisconsin (USA). IV, V60, 425-431.
- ROBERT (M.), 1970 - Etude expérimentale de la désagrégation du granite et de l'évolution des micas. Thèse Doct. Etat, Paris, 194 p.
- ROCHE (H. de la), LETERRIER (J.), 1973 - Transposition du tétraèdre minéralogique de Yoder et Tilley dans un diagramme chimique de classification des roches basaltiques. C.R. Acad. Sci., 276 D, 3115-3118.
- ROMO (L.A.), ROY (R.), 1957 - Studies of the substitution of  $\text{OH}^-$  by  $\text{F}^-$  in various hydroxylic minerals. Amer. Min. 42, 165-177.
- ROUILLER (J.), BURTIN (G.), SOUCHIER (B.), 1972 - La dispersion des sols dans l'analyse granulométrique. Méthode utilisant les résines échangeuses d'ions. Bull. E.N.S.A.I.A., XIV (2), 193-205.
- ROUILLER (J.), BURTIN (G.), SOUCHIER (B.), 1974 - Note sur l'utilisation de l'hypochlorite de sodium dans l'analyse granulométrique des sols. Bull. E.N.S.A.I.A., XVI (1-2), 89-98.
- RUSSEL (J.D.), McHARDY (W.J.), FRASER (A.R.), 1969 - Imogolite, a unique aluminosilicate. Clays minerals, 8, 87-99.
- SALANON (R.), 1970 - Bibliographie botanique et paléobotanique de l'Auvergne et des contrées limitrophes. Arvernia biologica, série 2, fasc. 10, 143 p.
- SAMSON (H.R.), 1952 - Fluoride adsorption by clay minerals and hydrated aluminum. Clay min. Bull. 1, 266-271.
- SAPEK (A.), 1971 - The role of humus substances in podzol soil development. Studia Soc. Sci. Torun, Polonia, 7 (5), 93 p.
- SCHAEFFER (R.), URBINA de ALCAYAGA (A.), SAN MARTIN (E.), 1969 - Microbial activities as a mechanism of ecosystem regulation in the hydromorphic volcanic ash soils of Southern Chile. In : Congr. Turrialba, Costa Rica, B.6.1.-B.6.15.
- SCHWERTMANN (U.), FISCHER (W.R.), PAPENDORF (H.), 1968 - The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. 9th Intern. Congr. of Soil Sci., Trans. 1, 645-655, Adélaïde.
- SCHWERTMANN (U.), TAYLOR (R.M.), 1972 - The in vitro transformation of soil lepidocrocite to goethite. Trans. Intern. Soc. Soil Sci., Comm. V & VI, Stuttgart-Hohenheim.
- SEGALEN (P.), 1957 - Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar. Thèse Mém. Int. Sci. Madagascar, doc. VIII, 1-181.
- SEGALEN (P.), 1968 - Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. VI (1), 105-126.
- SEGALEN (P.), 1973 - Quelques progrès récents dans la connaissance des produits amorphes des sols. Bull. de liaison du thème D "andosols". Comité technique de Pédologie ORSTOM, 2, 4-27.
- SEQUI (P.), GUIDI (G.), PETRUZZELLI (G.), 1972 - Frazionamento e caratteristiche di solubilità degli acidi fulvici. Agrochimica, XVI (3).

- SHERMAN (D.), SWINDALE (L.D.), 1964 - Hawaiian soils from volcanic ash. C.R. Intern. meet. on Classification and correlation of soils developed on volcanic ash, Tokyo, Japan.
- SHOJI (S.), MASUI (J.), 1969 - Amorphous clay minerals of recent volcanic ash soils in Hokkaido. Soil Sci. Pl. Nutr., 15 (4) 161-168 et (5), 191-201.
- SIEFFERMANN (G.), 1969 - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Thèse Sci. Nat. Univ. Strasbourg, 285 p.
- SIMOES-LOBO (P.F.), 1972 - Utilisation du <sup>14</sup>C atmosphérique comme traceur de la matière organique des sols. Thèse de maîtrise Univ. Bahia, 52 p.
- SINGH (B.R.), KANEHIRO (Y.), 1969 - Adsorption of nitrate in amorphous and kaolinitic Hawaiian soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 631-683.
- SOKOLOV (I.A.), 1969 - Weathering of volcano-clastic deposits in conditions of cold humid climate. 3rd Int. Working-meeting on soil micromorphology. Wroclaw, 513-518.
- SOKOLOV (I.A.), BELOUSOVA (N.I.), 1964 - Organic matter in Kamchatka soils and some aspects of illuvial humus soil formation. Pochvovedeniye, 10.
- SOKOLOV (I.A.), BELOUSOVA (N.I.), 1966 - Water physical properties and water thermal regime of ochrous volcanic forest soil of Kamchatka. Pochvovedeniye, 5, 533-543.
- SOUCHIER (B.), 1971 - Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges). Thèse Doc. Etat, Univ. Nancy I.
- SWINDALE (L.D.), 1964 - The properties of soils derived from volcanic ash. In : Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash. Congr. Tokyo, 82-86.
- TAMM (O.), 1922 - Eine methode zur Bestimmung der anorganischen Komponenten der gelkomplexes in Boden. Mefd. Stat. Skogsforsokan. Falt. 19, 385-404.
- TAN (K.H.), 1965 - The andosols in Indonesia. Soil Sci., 99 (6), 375-378.
- TAN (K.H.), 1966 - On the pedogenetic role of organic matter in volcanic ash soils under tropical conditions. Soil Sci. Pl. Nutr. 12 (2), 80-84.
- TARDY (Y.), 1969 - Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Thèse Fac. Sci. Strasbourg, 270 p.
- THOMANN (Christianne), 1963 - Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols : méthode au pyrophosphate de sodium. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 3, 43-71.
- TOKUDOME (S.), KANNO (I.), 1965a - Nature of the humus of humic allophane soils in Japan. I. Humic acids (GH)/Fulvic acids (Cf) ratios. Soil Sci. Pl. Nutr., 11, (5), 185-192.
- TOKUDOME (S.), KANNO (I.), 1965b - Nature of the humus of humic allophane soils in Japan. II. Some physico-chemical properties of humic and fulvic acids. Soil Sci. Pl. Nutr., 11 (5), 193-199.
- TOKUDOME (S.), KANNO (I.), 1968 - Nature of the humus of some Japanese soils. 9th Intern. Congr. of soil sci., III, 163-173.
- TOUTAIN (F.), 1974 - Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles. Thèse Doc. Etat, Univ. Nancy I, 114 p.
- TRICHET (J.), 1969 - Contribution à l'étude de l'altération expérimentale des verres volcaniques. Thèse Sci. Paris, trav. Cah. Géol. ENS Paris, 152 p.

- TRICHET (J.), SELLA (C.), 1968 - Etude de la structure des verres volcaniques. Relation avec leur mode de formation et d'altération. C.R. Acad. Sci. Paris, 267 D, 1084-1086.
- TURC (L.), GOBILLOT (T.), HLAWEK (R.), LECARPENTIER (C.), 1963 - Cartes d'évapotranspiration potentielle. Utilisation et interprétation. B.T.G.R., n° 60.
- TWISS (P.C.), SUESS (E.), SMITH (R.M.), 1969 - Morphological classification of grass phytoliths. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33 (1), 109-114.
- UDAGAWA (S.), NAKADA (T.), NAKAHIIRA (M.), 1969 - Molecular structure of allophane as revealed by its thermal transformation. C.R. Intern. Clay Conf. Tokyo, 151-159.
- VARET (J.), 1967 - Les trachytes et les phonolites du Cantal septentrional. Thèse 3ème cycle, Orsay, 354 p.
- VATIN-PERRIGNON (N.), 1966 - Petrographie et minéralogie des roches volcaniques et description géologique de la partie centrale du Massif du Cantal. Thèse Doc. Etat, Univ. Grenoble.
- VEDY (J.C.), 1973 - Relations entre le cycle biogéochimique des cations et l'humification en milieu acide. Thèse Doc. Etat, Univ. Nancy, 116 p.
- VILLIERS (J.M. de), 1969 - Pedo-sesquioxides composition and colloidal interactions in soil genesis during the quaternary. Soil Sci., 107 (6), 454-462.
- VILLIERS (J.M. de), 1971 - The problem of quantitative determination of allophane in soil. Soil Sci., 112 (1), 2-7.
- VUITTENEZ (H.), 1964 - Géologie cantalienne. Imprimerie moderne, Aurillac, 195 p.
- WACQUANT (J.P.), 1968 - L'analyse au laboratoire de la densité apparente des terres en vue de l'interprétation volumique des résultats d'analyses édaphiques. Sci. du sol, 2, 119-135.
- WADA (K.), 1967 - A structural scheme of soil allophane. Amer. Miner., 52, 5-6, 690-708.
- WADA (K.), AOMINE (S.), 1973 - Soil development on volcanic materials during the Quaternary. Soil Sci., 116 (3), 170-177.
- WADA (K.), INOUE (A.), 1967 - Retention of humic substances derived from rotted clover leaves in soils containing montmorillonite and allophane. Soil Sci. Pl. Nutr., 13 (1), 9-16.
- WADA (K.), INOUE (A.), 1974 - Adsorption of monomeric silica by volcanic ash soils. Soil Sci. Pl. Nutr., 20 (1), 5-15.
- WADA (K.), MATSUBARA (I.), 1968 - Differential formation of allophane, "Imogolite" and gibbsite in the Kitakami pumice bed. C.R. 9th Int. Congr. of Soil Sci., Adélaïde, III, 123-131.
- WADA (K.), TOKASHIKI (Y.), 1972 - Selective dissolution and difference infrared spectroscopy in quantitative mineralogical analysis of volcanic ash soil clays. Geoderma, 7, 199-213.
- WADA (K.), YAMADA (H.), 1968 - Amer. Miner., 53, 334-339.
- WAREMBOURG (F.R.), LOSSAINT (P.), BOTTNER (P.), 1973 - L'évolution des sols dans une séquence méditerranéo-montagnarde sur roche-mère siliceuse : Massif du Mont-Aigoual. Sci. du sol, 1, 49-62.



- WARKENTIN (B.P.), MAEDA (T.), 1974 - Physical properties of allophane soils from the West Indies and Japan. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38 (2), 372-376.
- WEY (R.), SIFFERT (B.), 1961 - Reaction de la silice mono-moléculaire en solution avec les ions  $Al^{3+}$  et  $Mg^{2+}$ . In : Genèse et Synthèse des argiles. Coll. Paris, éd. C.N.R.S., 11-23.
- YOSHINAGA (N.), 1966 - Chemical composition and some thermal data of eighteen allophanes from andosols and weathered pumices. Soil Sci. Pl. Nutr., 12 (2), 1-8.
- YOSHINAGA (N.), AOMINE (S.), 1962a - Allophane in some andosols. Soil Sci. Pl. Nutr., 8 (2), 6-13.
- YOSHINAGA (N.), AOMINE (S.), 1962b - Imogolite in some andosols. Soil Sci., 8 (3), 22-29.
- YOSHINAGA (N.), YAMAGUCHI (M.), 1970a- Adsorption of polyphosphate by allophane. Soil Sci. Pl. Nutr., 16 (3), 121-127.
- YOSHINAGA (N.), YAMAGUCHI (M.), 1970b- Occurrence of imogolite as gel film in the pumice and scoria beds of western and central Honshu and Hokkaido. Soil Sci. Pl. Nutr., 16 (5), 215-223.
- YOUNGBERG (C.T.), DYRNESS (C.T.), 1964 - Some physical and chemical properties of pumice soils in Oregon. Soil Sci., 97, 391-399.
- ZAVALETA (A.), 1969 - Geographical distribution and characteristics of soil derived from volcanic ash of Peru. In : Panel on volcanic ash soils in Latin America. Congrès de Turrialba, Costa Rica, A.2.1.-A.2.14.
- ZEBROWSKI (Cl.), 1971 - Propriétés des andosols de l'Itasy et de l'Ankaratra (Madagascar). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., IX (1), 83-108.
- ZEBROWSKI (Cl.), 1973 - Quelques andosols de Madagascar et de la Réunion. Problème de la podzolisation sur un andosol. Bull. de liaison du thème D "andosols". Comité Technique Pédologie ORSTOM, 2, 53-77.
- ZUNINO (H.), APPELT (H.), BERNARDI (C.), 1974 - Influence of extracted aluminum on organic matter fractionation in soils derived from volcanic ash. Soil Sci., 118 (1), 28-30.

Ouvrages :

- Genèse et synthèse des argiles. Colloque International du C.N.R.S. Paris, 3-6 juillet 1961. Ed. du C.N.R.S. Paris.
- Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash. Tokyo, 11-27 juin 1964. Ed. F.A.O.
- Volcanic ash soils in Japan. Juin 1964 - Minist. of Agric. and Forestry. Japanese Government. Tokyo.
- Panel on volcanic ash soils in Latin America. Turrialba, Costa Rica, 6-13 juillet 1969. Ed. F.A.O.
- Caractéristiques et propriétés hydriques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques du Chili Central. Publ. ORSTOM Antilles, 1974, n° 84.

## TABLE DES MATIERES

Pages

### INTRODUCTION GENERALE

### PREMIERE PARTIE : PROPRIETES ET ECOLOGIE DES ANDOSOLS

### CHAPITRE I : CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PROPRIETES DES ANDOSOLS

Introduction	1
I. DEFINITION	2
II. CLASSIFICATION	4
III. PROPRIETES GENERALES DES ANDOSOLS : APPLICATION AUX SOLS DU MASSIF CENTRAL	6
1. Propriétés morphologiques	6
2. Propriétés micromorphologiques	6
3. Propriétés physiques d'ensemble	7
3.1. Densité apparente	7
3.2. Rétention de l'eau	7
3.3. La porosité	8
3.4. Surface spécifique	8
3.5. Propriétés mécaniques	9
4. Granulométrie : techniques de séparation des fractions minérales	10
4.1. Dissolution des ciments	10
4.2. Dispersion	11
4.3. Séparations densimétriques	11
5. Propriétés chimiques du complexe absorbant	14
5.1. Le pH	14
5.2. La capacité d'échange cationique	14
5.3. La capacité d'échange anionique	16
6. Propriétés générales de la matière organique des andosols	16
6.1. Méthodes d'extraction des composés humifiés	16
6.2. Le carbone total	17
6.3. Le rapport C/N	17
6.4. Les taux d'extraction	18
6.5. Les rapport AF/AH	18



Conclusion	19
CHAPITRE II : ETUDE ECOLOGIQUE DE LA REPARTITION DES SOLS	23
Introduction	23
I. RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES	25
II. LES REGIONS VOLCANIQUES DU MASSIF CENTRAL FRANCAIS	29
1. La Chaîne des Puys	29
1.1. Généralités	29
1.2. Age des matériaux et âge des sols	34
1.3. Caractères et répartition des sols étudiés	37
1.4. Discussion	40
2. Les Monts Dore	42
2.1. Effet de l'érosion glaciaire	42
2.2. Séquence altitudinale sur roche acide	42
2.3. Le sol podzolique sur rhyolites de Lusclade	42
3. Le Cantal	43
3.1. Généralités	43
3.2. Répartition des différents types de sols	50
3.3. Discussion sur les facteurs de l'andosolisation dans le Cantal	50
3.4. Conclusion	52
III. DONNEES DE TERRAIN DIVERSES	53
1. Région tempérée	53
1.1. Sols non volcaniques	53
1.2. Les sols volcaniques des Vosges	53
2. Région subtropicale : Canaries	54
3. Région tropicale : Colombie	54
IV. INTERPRETATION ET DISCUSSION DES DONNEES ECOLOGIQUES	55
1. Permanence de l'humidité	55
2. Altérabilité des roches-mères	55
3. Age des matériaux	55
4. Durée de la pédogénèse	55
5. Evolution des composés organiques	56
6. Evolution des composés minéraux secondaires	56
Conclusions	56
V. RELATION ENTRE LES DONNEES DE TERRAIN ET LES ANALYSES DE CARACTERISATION	57
1. Remarques méthodologiques	57
2. Résultats	58
2.1. Facteurs obtenus	58
2.2. Corrélation des variables dans les différents plans	59

2.3. Répartition des échantillons dans les différents plans	59
3. Discussion - Conclusion	61
3.1. Regroupement des variables	61
3.2. Hiérarchie des facteurs	62
Conclusions	64

DEUXIEME PARTIE : RECHERCHES SUR LA NATURE ET LES PROPRIETES  
DE LA PHASE ORGANO-MINERALE AMORPHE DES ANDOSOLS

Introduction	67
CHAPITRE I : ETUDE DES CONSTITUANTS DU COMPLEXE D'ALTERATION	69
Introduction	69
I. LES CONSTITUANTS MINERAUX DU COMPLEXE D'ALTERATION	71
1. Minéraux primaires et verres	71
1.1. Evolution des verres au cours de l'altération	71
1.2. Cristallogénèse et état vitreux	72
1.3. Conclusion	73
2. Argiles	75
2.1. Matériel et méthodes	75
2.2. Résultats	76
2.3. Conclusion	83
3. Amorphes et allophane	85
3.1. Le test au fluorure de sodium (FNa)	87
3.2. Les dissolutions différentielles	87
3.3. Conclusions	100
II. LES CONSTITUANTS ORGANIQUES	101
1. Matériel et méthodes	102
1.1. Echantillons	102
1.2. Réactifs employés	102
1.3. Dosages et contrôles microscopiques	105
1.4. Adaptation du protocole d'extraction aux "datations" par le <sup>14</sup> C	105
2. Résultats	105
2.1. Les fractions carbonées	105
2.2. Les complexes organo-minéraux	110
2.3. Temps moyen de résidence du carbone des fractions carbonées	114
3. Conclusions d'ensemble	118
III. ETUDE MORPHOLOGIQUE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE	119
1. Matériel et méthodes	119
2. Résultats - Interprétation	119

2.1. Contrôles optiques au cours des extractions successives de la matière organique	119
2.2. Élimination des ciments organiques et minéraux	121
2.3. Détail des éléments amorphes	123
2.4. Argiles	125
3. Discussion	127
4. Conclusion	128
Conclusion à l'étude des constituants du complexe d'altération	130
CHAPITRE II : ETUDE DYNAMIQUE	131
I. FRACTION MINERALE	132
1. Evolution géochimique de la terre fine au cours de la pédogénèse	132
1.1. Matériel et méthodes	133
1.2. Résultats	134
1.3. Interprétation - Discussion	144
2. Expression minéralogique des variations de composition de la terre fine	147
2.1. Matériel et méthodes	147
2.2. Résultats	149
2.3. Résumé et conclusions	151
3. Formation et évolution des minéraux secondaires	152
4. Etude expérimentale de la désilicification différentielle	156
4.1. Matériel et méthodes	157
4.2. Résultats	159
4.3. Interprétation - Discussion	162
4.4. Conclusion	163
5. Conclusions d'ensemble	164
II. FRACTION ORGANIQUE	165
1. Matériel et méthodes	166
1.1. Le maïs	166
1.2. Les sols	166
1.3. Les gels et allophanes	167
1.4. Le dispositif d'incubation	167
1.5. Protocole expérimental	167
1.6. Extractions	168
2. Résultats	169
2.1. Minéralisation globale du carbone du sol (échantillon sans maïs)	169
2.2. Minéralisation du maïs marqué	171

2.3. Interactions entre le carbone du sol et le carbone du maïs marqué	172
2.4. Bilan de l'humification	172
2.5. Réincubation des composés humifiés	176
3. Interprétation	177
3.1. Principes d'interprétation	177
3.2. Evolution des hydrosolubles et des composés d'insolubilisation récente	178
3.3. Evolution de la litière globale	178
3.4. Evolution des composés humifiés après maturation	179
4. Discussion	180
5. Conclusion	182
CONCLUSIONS GENERALES	185
ANNEXES	
BIBLIOGRAPHIE	