

LABORATOIRE DES SCIENCES DU SOL  
INRA-ENSA MONTPELLIER

CERTIFICAT D'ETUDES SUPERIEURES D'AGRONOMIE  
SCIENCES DU SOL

*CONTRIBUTION A LA MINERALISATION DU CARBONE ET DE L'AZOTE  
DES MATIERES ORGANIQUES ASSOCIEES  
AUX FRACTIONS GRANULOMETRIQUES D'UN SOL FERRALLITIQUE  
EFFET DU MODE DE GESTION DES SOLS*

Présenté par Jean-José ROMERO  
le 23 Octobre 1995

Travail réalisé au CIRAD-CA Unité de Recherche Facteurs et Conditions du Milieu Centre de Montpellier et à l' ORSTOM Laboratoire Comportement des Sols Cultivés Centre de Montpellier.

Jury:

P. HERRMANN Professeur en Sciences du Sol ENSAM.  
C. FELLER Directeur de Recherche ORSTOM.  
G. GUIRAUD Ingénieur au CEN de Cadarache DEVM.  
R. OLIVER Chercheur CIRAD-CA UR FCM.  
J.P. PICHOT Adjoint au chargé de Mission AGER.

## TABLE DES MATIERES

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>I. CHOIX DES METHODES</b>	<b>3</b>
I.1. Le carbone	3
I.2. L'azote	3
I.3. Le fractionnement	4
<b>II. LE SOL</b>	<b>4</b>
II.1. Situation et mode de gestion	4
II.2. Caractéristiques physico-chimiques	5
<b>III. PROTOCOLE EXPERIMENTAL</b>	<b>6</b>
III.1. Les traitements	6
III.2. Les incubations	6
III.3. Expression des résultats	7
III.4. Le sol après fractionnement	8
<b>AZOTE POTENTIELLEMENT MINERALISABLE</b>	<b>10</b>
<b>I. METHODE ET MATERIEL</b>	<b>10</b>
I.1. Matériel	10
I.2. Méthode	10
I.3. Dosages	10
<b>II. ESSAI PRELIMINAIRE</b>	<b>11</b>
<b>III. RESULTATS</b>	<b>13</b>
<b>IV. DISCUSSION</b>	<b>17</b>
VI.1. Résultats en mg/kg de sol	17
IV.2. Les courbes S+L+A	19
IV.3. Résultats en % de N total de la fraction	19
IV.4. Modélisation	19
<b>CARBONE POTENTIELLEMENT MINERALISABLE</b>	<b>22</b>
<b>I. METHODE ET MATERIEL</b>	<b>22</b>
I.1. Matériel	22
I.2. Méthode	22
I.3. Dosages	22
<b>II. RESULTATS</b>	<b>23</b>
<b>III. DISCUSSION</b>	<b>27</b>
III.1. Résultats en mg/kg de sol	27
III.2. Les courbes S+L+A	29
III.3. Résultats en % de C total de la fraction	29
III.4. Modélisation	29

<b>DISCUSSION GENERALE</b>	<b>31</b>
<b>I.METHODOLOGIE</b>	<b>31</b>
I.1. Résultats	31
I.2. Protocole	32
<b>II.COMMENTAIRES</b>	<b>32</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>36</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS</b>	
<b>ANNEXES</b>	
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

## AVANT-PROPOS

Le travail présenté ici est le résultat d'une longue et parfois laborieuse évolution.

Cela a commencé au CEN de Cadarache avec Gérard GUIRAUD qui a su apprendre au jeune étudiant que j'étais l'essentiel dans le travail qui allait être le mien.

Il m'a montré, sur l'air de "La Traviata" ou de "La Digue du Cul" selon l'humeur, l'importance de la rigueur dans le travail, les protocoles et le raisonnement.

Je l'en remercie vivement.

Bien d'autres personnes ont ensuite pris le relais.

Les énumérer serait un exercice long et périlleux car les oublis plus ou moins volontaires risqueraient de me valoir certaines inimitiés.

J'ai côtoyé de très nombreux stagiaires. Ils et elles m'ont appris par leurs questions à rester toujours clair et précis dans mes explications. Ils ont également participé à mon évolution en répondant à mes questions dans un domaine peu familier pour moi. Maintenant que mon tour est venu de rédiger un mémoire et de faire une "soutenance" devant un jury je comprends beaucoup mieux leurs appréhensions. Cela sera encore un enrichissement pour la suite de mes relations avec ceux qui leur succéderont.

Je remercie messieurs FOLLIN J.C., Directeur Scientifique du CIRAD-CA, GANRY F., Responsable de l' UR FCM et OLIVER R., Responsable du LEA de m'avoir permis de faire cette formation en partie sur mon temps de travail.

Je remercie également Messieurs VIZIER J.F. Responsable du LCSC et FELLER C. Chef de l' UR Bases de la Gestion Durable des Agrosystèmes Tropicaux de m'avoir accueilli dans le laboratoire LCSC de l' ORSTOM Montpellier.

J'adresse une reconnaissance particulière à monsieur HERRMANN P. qui, sans rien connaître de moi ( hormis un CV et une recherche bibliographique) a accepté de me faire confiance.

Tous ceux et celles qui m'ont aidé dans mon travail, de manière aussi efficace que sympathique, ont droit à ma sincère reconnaissance.

Je vais terminer en remerciant tout particulièrement ceux qui m'ont apporté une aide humaine. Il s'agit de ma famille bien sûr mais aussi de la famille BONI et de Claire, une formidable collègue de travail.

## INTRODUCTION.

Nicolas FLAMEL (XIV<sup>ème</sup> siècle) et d'autres alchimistes ont longtemps cherché la pierre philosophale qui devait transformer le plomb en or.

Les agronomes ont aussi leur quête du Graal: comment produire davantage pour se nourrir ?

Comme les Chevaliers de la Table Ronde, chacun a cherché dans des voies différentes: amélioration variétale, emploi d'engrais et de pesticides, travail du sol, mécanisation etc...

Depuis quelques décennies la vision du Graal a évolué: il faut toujours plus produire mais mieux. Cela signifie qu'il faut prendre en considération le milieu naturel (l'eau, l'air et la terre) que l'on a longtemps cru inépuisable et inaltérable.

Ainsi donc "l'inaccessible étoile" du Don Quichotte de Jacques Brel que l'on croyait proche vient de s'éloigner un peu plus!

Les hasards de la vie ont fait que, chimiste de formation, ma carrière s'est déroulée pratiquement en totalité dans le milieu des Sciences du Sol. Pour être plus précis c'est l'étude de l'azote et de la matière organique des sols tropicaux qui a occupé les trois-quarts de mon activité professionnelle.

C'est donc tout naturellement la voie terrestre que je vais emprunter, de préférence à la voie aérienne ou aquatique, pour partir à la quête du Graal des agronomes.

Pour pouvoir éventuellement modifier tel ou tel processus, il faut d'abord comprendre son fonctionnement et les divers facteurs qui le régissent.

La première question est: quel processus étudier et pourquoi?

L'importance de la matière organique dans les sols n'est plus à démontrer. De nombreux chercheurs se sont intéressés à son rôle aussi bien du point de vue physique que chimique, pédologique, biologique, hydrique, nutritionnel etc...

D'un point de vue agronomique la majorité des chercheurs ont adopté une démarche faisant appel à l'analyse chimique.

C'est dans cette perspective que de multiples modes de fractionnement ont été proposés, faisant, pour la majorité d'entre eux, appel à des extractions par des réactifs chimiques.

Ces réactifs peuvent être basiques (DUCHAUFOR et JACQUIN, 1963) ou acides (STEWART, PORTER et JOHNSON, 1963).

L'approche par le fractionnement physique, moins "populaire", est la seule permettant d'isoler des formes de matière organique avec un minimum de modifications et donc de suivre l'évolution de chacune de ces fractions séparément.

Quelques chercheurs ont déjà abordé cet aspect : CHICHESTER (1969;1970), CAMERON et POSNER (1979), CHRISTENSEN (1985;1987), LOWE et HINDS (1983), CATROUX et SCHNITZER (1987), GREGORICH (1989), etc...Cependant peu ont réalisé leurs travaux sur des sols tropicaux. Nous avons donc choisi ce type de sol pour notre étude.

Le sujet sera: quelles sont les formes des matières organiques d'un sol ferrallitique susceptibles de se minéraliser, quelle est leur importance relative dans le processus de minéralisation globale et quelle influence ont les modes de gestion du sol sur leur évolution.

L'objectif étant fixé il reste encore à trouver la démarche et les "outils" appropriés pour l'atteindre.

Les diverses approches, les différents travaux de nombreux prédécesseurs dans ce domaine (en un mot la si précieuse bibliographie) vont, en phase préliminaire et indispensable, nous permettre de choisir les méthodes les mieux adaptées à notre problématique.

## I. CHOIX DES METHODES:

### I.1. Le carbone:

Le problème est relativement simple. En effet les méthodes de dosage du carbone total avant et après incubation ne sont pas suffisamment précises pour appréhender les faibles variations. Il ne reste donc que le dosage du carbone minéralisé, c'est-à-dire une respirométrie des sols et des fractions (CHAUSSOD et NICOLARDOT 1982).

### I.2. L'azote:

Il existe de nombreuses méthodes. On peut cependant les classer en deux catégories, chacune étant elle même divisée en deux "sous-catégories":

#### **-Incubations de courte durée (2 semaines):**

-Incubation aérobie suivie d'une extraction au KCl pour dosage de N minéral (BREMNER, 1965).

-Incubation anaérobie dans de l'eau suivie d'une extraction au KCl (WARING et BREMNER, 1964) ou directement dans KCl (OLSEN et al, 1974) puis dosage de l'azote minéral formé.

#### **-Incubations de longue durée (20 semaines ou plus):**

-Incubation aérobie avec extrait au KCl à différents temps.

-Incubation aérobie avec percolations périodiques au  $\text{CaCl}_2$  0.01M (STANFORD et SMITH, 1972) permettant le dosage de N minéral formé entre deux percolations.

Ces quatre grands types de mesure présentent de nombreuses variantes (durée, température, humidité etc.) qui ne seront pas abordées ici.

Pour ce qui concerne les incubations de courte durée, la critique majeure est de ne traduire que la minéralisation de compartiments à turn-over rapide.

Le choix se portera donc sur une incubation de longue durée qui devrait mieux refléter l'aptitude à la minéralisation de l'ensemble du sol.

La première méthode (extrait KCl à 1, 2, 4,.... semaines ou un seul extrait final) n'a pas été retenue pour deux raisons:

- des séries d'extractions demandent de grandes quantités de sol car l'extraction est destructrice?

- que ce soit pour des séries d'extractions ou pour une seule extraction finale il y a accumulation et/ou réorganisation de N minéral d'où risque de sous-estimation.

C'est donc la méthode proposée par STANFORD et SMITH qui sera retenue pour cet essai.

### I.3. Le fractionnement:

La technique retenue est très largement inspirée par les divers travaux de FELLER (1979), FELLER et al. (1991a;1991b) et de DJEGUI (1992). Le nombre de fractions a été limité à trois pour cause d'un trop grand nombre d'échantillons à traiter.

Après le fractionnement (Annexe 1), on regroupe chacune des fractions avant séchage. Chaque fraction est pesée et homogénéisée par broyage manuel grossier (mortier et pilon).

## II. LE SOL:

### II.1. Situation géographique:

Le sol utilisé dans cet essai provient du Sud-Bénin, plus précisément de la Station de Recherches sur le Palmier à Huile de POBE. Ce sol appartient au groupe des sols ferrallitiques faiblement désaturés appauvris en argile.

Dans cette région le climat est de type "Soudano-Guinéen", caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La grande saison des pluies s'étend de mi-mars à mi-juillet. Elle est suivie par une petite saison sèche jusqu'à mi-septembre puis s'installe la petite saison des pluies qui va durer jusqu'à mi-novembre.

Ce choix a été fait à partir des résultats obtenus par DJEGUI (1992) mettant en évidence l'influence des pratiques culturales sur le statut organique de ce sol.

On pourra trouver dans sa thèse (pages 16 à 45) une description très complète du sol ainsi que des pratiques culturales.

3 situations ont été retenues:

- Sol nu sous palmeraie (PSN).
- Sol couvert sous palmeraie (PSC). La couverture est un mélange de légumineuses rampantes (*Pueraria javanica* et *Centrosema pubescens*).
- Sol sous forêt (F).

Les prélèvements ont été faits début septembre 1994 dans l'horizon 0-10 cm.

Cette période se situe juste avant la petite saison de pluie.

### II.1. Caractéristiques physico-chimiques:

Tableau 1 : *Granulométrie*

	PSN	PSC	F
Argiles %	10.89	16.50	15.59
Limons fins %	2.58	3.45	3.14
Limons grossiers %	1.85	2.02	1.98
Sables fins %	56.54	53.08	52.00
Sables grossiers %	26.26	23.63	24.24
Total des fractions %	98.12	98.68	96.95

La différence de teneur en argiles des deux sols cultivés met en évidence le rôle protecteur de la couverture.

En diminuant sensiblement la lixiviation elle empêche les fractions fines d' être entraînées vers les horizons plus profonds ou exportées en surface par érosion en nappe.

Tableau 2 : *Caractéristiques chimiques*

SOL	PSN	PSC	F
C (mg/g de sol)	6.7	10.0	15.1
N (mg/g de sol)	0.50	0.66	1.38
Ca (cmole/100g de sol)	1.02	2.16	5.19
Mg (cmole/100g de sol)	0.26	0.50	2.33
K (cmole/100g de sol)	0.04	0.05	0.10
P assimilable (mg/kg de sol)	5.3	5.4	9.0
Somme des bases échangeables (cmole/100g de sol)	1.57	2.84	7.66



### III. PROTOCOLE EXPERIMENTAL.

Pour quantifier le rôle d'un élément dans un ensemble on peut:

- isoler cet élément pour observer son comportement: c'est une approche séparative.
- isoler cet élément et observer le comportement de l'ensemble en son absence: c'est une approche soustractive.
- enrichir l'ensemble en cet élément et faire les observations sur le tout: c'est une approche additive.

Par crainte d'un "bruit de fond" important nous avons écarté les approches soustractives et additives.

Nous allons donc étudier les diverses fractions isolément.

#### III.1. Les traitements:

Six traitements ont été retenus:

- Le sol témoin (T)
- Le sol après agitation dans l'eau avec les billes, centrifugation et séchage (TE). Ce traitement sert à prendre en compte l'effet de dispersion et la disparition des éléments hydrosolubles lors du fractionnement.
- La fraction  $> 50\mu\text{m}$  (S)
- La fraction comprise entre 2 et  $50\mu\text{m}$  (L)
- La fraction  $< 2\mu\text{m}$  (A)
- Le blanc (B) fait avec du sable calciné.

Ce dernier traitement ne figurera plus dans la suite de ce rapport. En effet ce blanc protocolaire s'est révélé égal au blanc analytique lors des dosages qui ont suivi.

Par exemple, lors des mesures de respirométrie, le traitement B avait la même valeur que le blanc analytique qui représentait la carbonatation initiale de la soude.

#### III.2. Les incubations:

Pour les traitements TE, S, L et A, les diverses manipulations préparatoires et en particulier le séchage ont détruit plus ou moins les microorganismes du sol.

Par précaution nous avons réalisé un réensemencement de ces traitements, ainsi que du traitement B.

100 g de sol ont été mis en suspension avec 1 l d'eau dans une allonge. Après deux heures de décantation pour éliminer la fraction sableuse on procède à un siphonnage jusqu'à 20 cm. Chaque pot a reçu 10 ml de la suspension de sol ainsi obtenue.

Les fractions fines (L et A) ont été mélangées à du sable calciné (le même que pour B) afin d'éviter une probable compaction et de faciliter l'aération et le drainage.

La température est de 28°C.

Pendant la durée de l'incubation l'humidité est maintenue constante par réajustement 3 fois par semaine.

Les prises d'essai des différentes fractions sont équivalentes au pourcentage pondéral qu'elles représentent dans le sol. Les poids en grammes de fraction, de sable et d'eau pour l'azote potentiellement minéralisable sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tableau 3 : Composition des traitements

SOL	TRAITEMENT	Fraction (g)	Sable (g)	Eau (g)
PSN	T	50	0	14.7
	TE	49.8	0	14.7
	S	43.7	0	14
	L	2.95	30	6
	A	2.91	30	6
PSC	T	50	0	15.3
	TE	48.8	0	15.3
	S	43	0	15
	L	3.87	30	6
	A	2.88	30	6
F	T	50	0	16.7
	TE	49.6	0	16.7
	S	41.3	0	16
	L	3.71	30	6
	A	4.41	30	6
Blanc	B		50	10

Les quantités pour le carbone potentiellement minéralisable sont le double des valeurs ci-dessus.

### III.3. Expression des résultats:

Nous avons le choix entre quatre unités pour présenter les résultats obtenus:

- En mg/kg de fraction: cette unité rendra bien compte du potentiel à minéraliser de chaque fraction sans représenter ni sa teneur initiale en élément étudié ni l'importance de la fraction dans le sol.

- En mg/kg de sol: à l'inverse cette unité représentera bien la contribution absolue de chaque fraction dans chaque sol.

- En mg/g de N (ou C) total de la fraction: cette unité ne rend pas compte de la "richesse" de la fraction, tant en teneur en N ou C qu'en pourcentage pondéral dans le sol. Par contre elle apporte une notion qualitative sur la matière organique: elle sera facilement ou difficilement minéralisable selon que cette valeur sera forte ou faible.

- En mg/g de N (ou C) total du sol: en "effaçant" les écarts de teneur initiale des sols en N et C, cette unité relative permet une comparaison directe et qualitative de la matière organique d'une même fraction des différents sols.

Compte tenu des objectifs de nos travaux et des remarques précédentes, nous avons choisi d'exprimer les résultats en mg/kg de sol et en mg/g de l'élément total dans la fraction. Pour éviter une trop grande profusion de tableaux ne figureront dans ce rapport que les valeurs en mg/kg de sol.

La seconde unité ne sera utilisée que pour des représentations graphiques lorsque cela sera utile.

Les graphiques d'une même variable auront la même échelle pour les trois sols. Si cela écrase quelque peu les faibles valeurs, ce choix rend plus aisée une comparaison visuelle que des échelles différentes pour chaque sol.

#### III.4. LE SOL APRES FRACTIONNEMENT:

Les tableaux suivants résument les divers dosages représentant l'état initial de chaque traitement.

Tableau 4 : Poids des fractions en % du sol

SOL	TE	S	L	A	S+L+A
PSN	99.6	87.4	5.82	5.89	99.11
PSC	97.7	86	5.75	7.73	99.48
F	99.2	82.7	8.82	7.54	99.06

Tableau 5 : C et N des traitements

SOL	TRAIT.	C/N	En mg/g de fraction		En mg/g de sol	
			C	N	C	N
PSN	T	13.4	6.7	0.50	6.7	0.50
	TE	12.4	5.2	0.42	5.2	0.42
	S	13.9	2.5	0.18	2.2	0.16
	L	11.3	31.5	2.78	1.8	0.16
	A	8.8	23.4	2.65	1.4	0.16
	S+L+A	11.3			5.4	0.48
PSC	T	15.2	10.0	0.66	10.0	0.66
	TE	12.9	7.5	0.58	7.3	0.57
	S	15.5	6.9	0.38	5.1	0.33
	L	11.2	33.0	2.94	1.9	0.17
	A	9.2	19.8	2.15	1.5	0.17
	S+L+A	12.7			8.5	0.67
F	T	10.9	15.1	1.38	15.1	1.38
	TE	12	14.3	1.19	14.2	1.18
	S	11.4	8.0	0.70	6.6	0.58
	L	9.7	58.9	6.10	5.2	0.54
	A	8.9	31.7	3.58	2.4	0.27
	S+L+A	10.2			14.2	1.39

Ces résultats sont repris dans les histogrammes cumulés de l'annexe 12.

Lors de la préparation du traitement TE nous avons analysé la fraction hydrosoluble.  
Les résultats obtenus figurent, en mg/kg de sol, dans le tableau suivant:

Tableau 6 : C et N de la fraction hydrosoluble.

SOL	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N Organique	C Minéral	C Organique
PSN	1.98	7.57	0	0.12	868
PSC	3.05	7.08	4.27	0.46	892
F	10.90	10.50	6.8	2.94	1528

## AZOTE POTENTIELLEMENT MINERALISABLE

### I. METHODE ET MATERIEL:

#### I.1. Matériel:

Il s'agit de la méthode proposée par STANFORD et SMITH déjà citée. Le dispositif utilisé est le suivant:

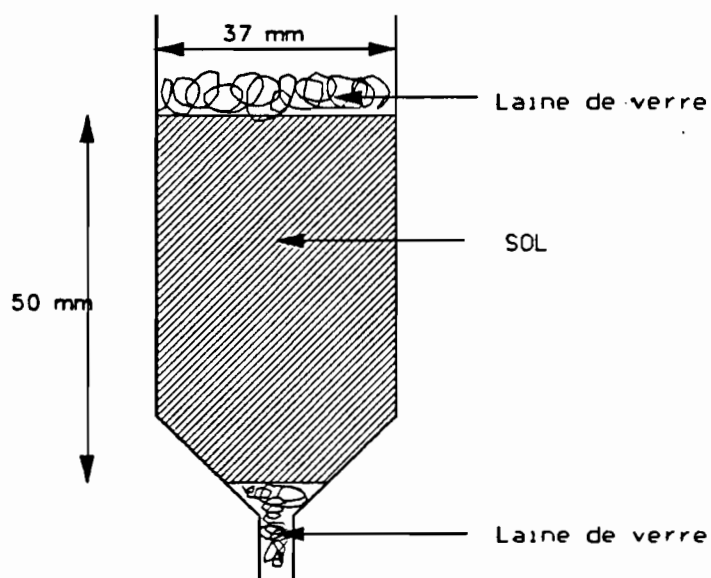


Figure 1.

#### I.2. Méthode:

Aux temps 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16 et 20 semaines, on effectue une percolation avec 100 ml de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M suivie d'une "recharge ionique" par 25 ml d'une solution 0,002 M  $\text{CaSO}_4$ , 0,002 M  $\text{MgSO}_4$ , 0,005 M  $\text{Ca}(\text{PO}_4\text{H}_2)_2$ , et 0,0025 M  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .

#### I.3. Dosages:

I.3.1.  $N\text{-NH}_4$ : Le dosage est fait par colorimétrie à flux continu (méthode BERTHELOT modifiée FALLAVIER) après adaptation à l'ALLIANCE EVOLUTION II. (Annexe 2).

I.3.2.  $N\text{-NO}_3$ : Le dosage est également fait sur le même appareil selon la méthode de GRIESS. (Annexe 3).

## II ESSAI PRELIMINAIRE:

Le but de cet essai est de s'assurer, pour l'azote potentiellement minéralisable, que 100 ml de  $\text{CaCl}_2$  sont suffisants pour extraire l'azote minéral.

Pour cela le percolat a été recueilli, à l'aide d'un collecteur de fractions, dans 20 tubes par fractions d'environ 7.5 ml chacune. Les 3 sols étudiés ont été percolés dans ces conditions aux temps J0 et J7 (une semaine). Sur chaque tube ont été dosés  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$ . L'ensemble des résultats est représenté par les figures suivantes.

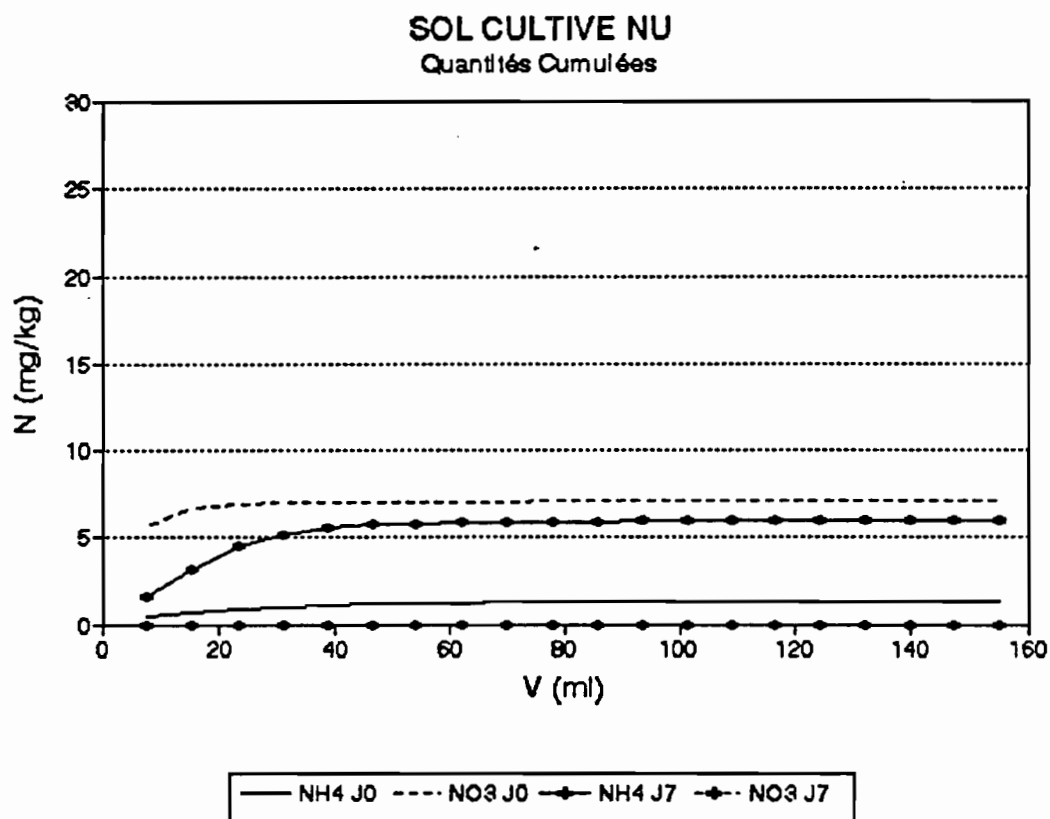


Figure 2.

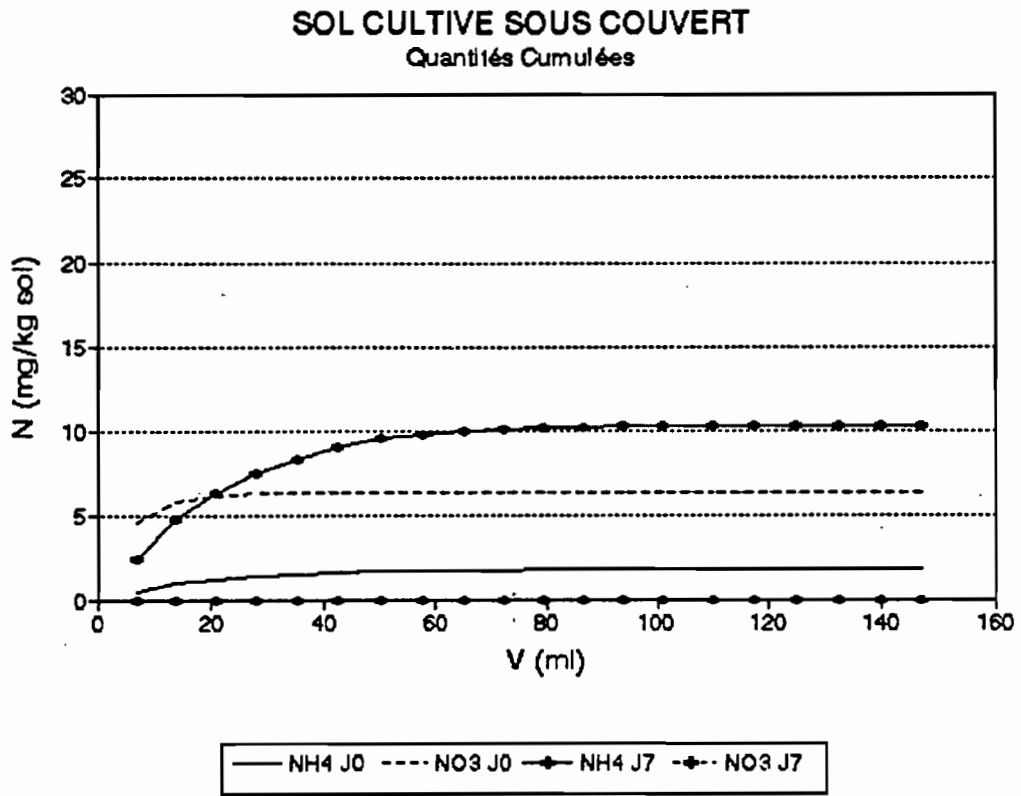


Figure 3.

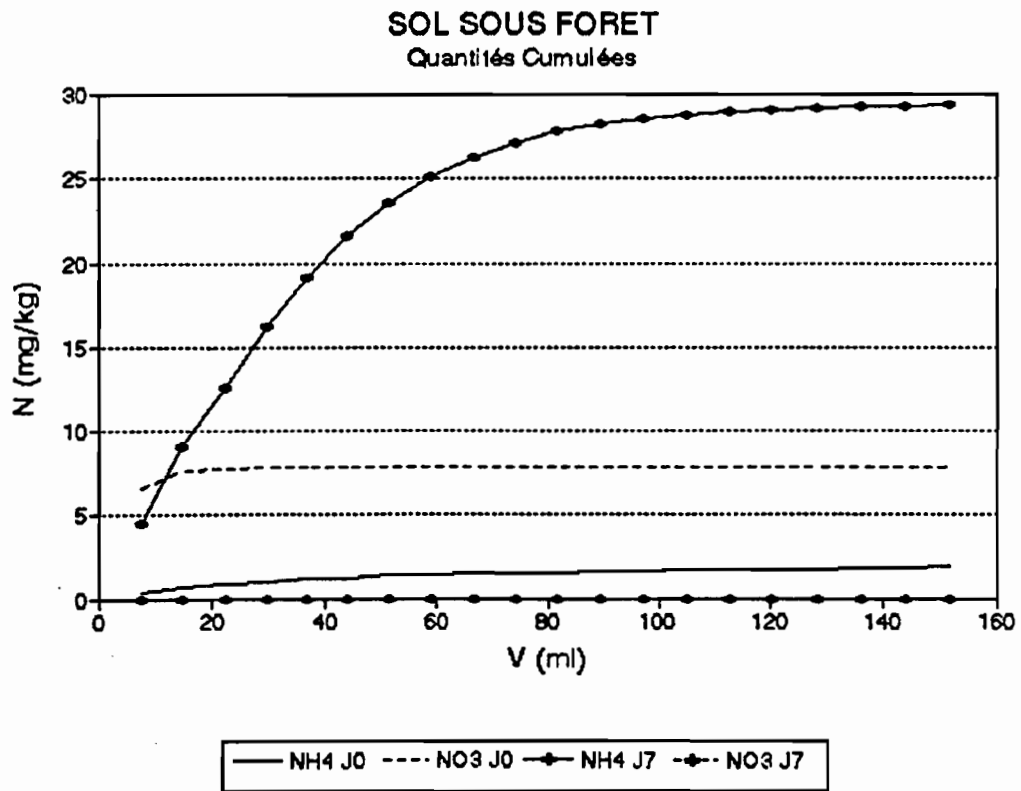


Figure 4.

Il ressort de cet essai que, pour chaque élément étudié, on récupère avec 100 ml des quantités comprises généralement entre 97 et 100% du total obtenu avec 150 ml.

Le tableau suivant donne ces pourcentages et également les concentrations calculées pour 100 ml, concentrations qui seront celles que l'on devra doser par la suite.

Tableau 7: *Bilan des percolats.*

SOL	TEMPS	NH <sub>4</sub>		NO <sub>3</sub>		C ORGA		C MIN		
		semaine	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l
PSN	0		98	0.08	100	0.46	95	2.17	85	0.06
	1		99.9	0.39		0	96	1.91	100	0.5
PSC	0		99	0.13	100	0.47	93	2.23	100	0.23
	1		99	0.66		0	93	0.23	100	0.03
F	0		98	0.11	99.7	0.54	92	3.82	91	1.47
	1		97	1.81		0	90	2.65	90	1.20

### III. RESULTATS:

Les tableaux figurant en annexes 6 à 8 résument l'ensemble des dosages réalisés (moyenne et écart type cumulés des 3 répétitions).

Les graphiques ci-après illustrent ces résultats.



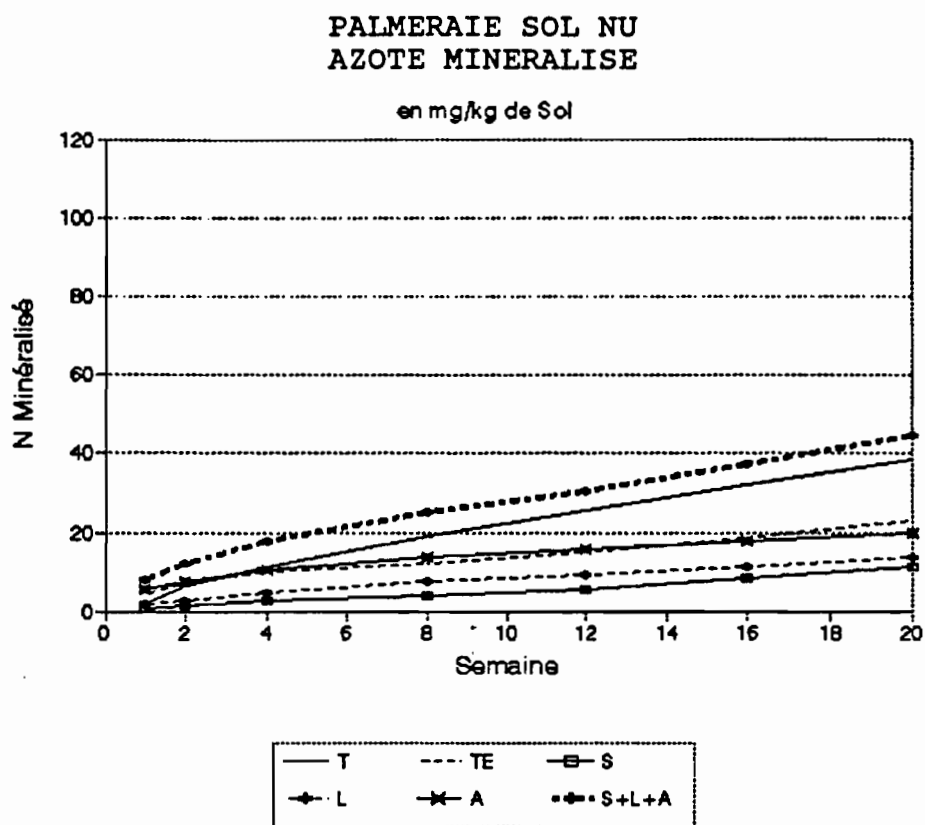


Figure 5.

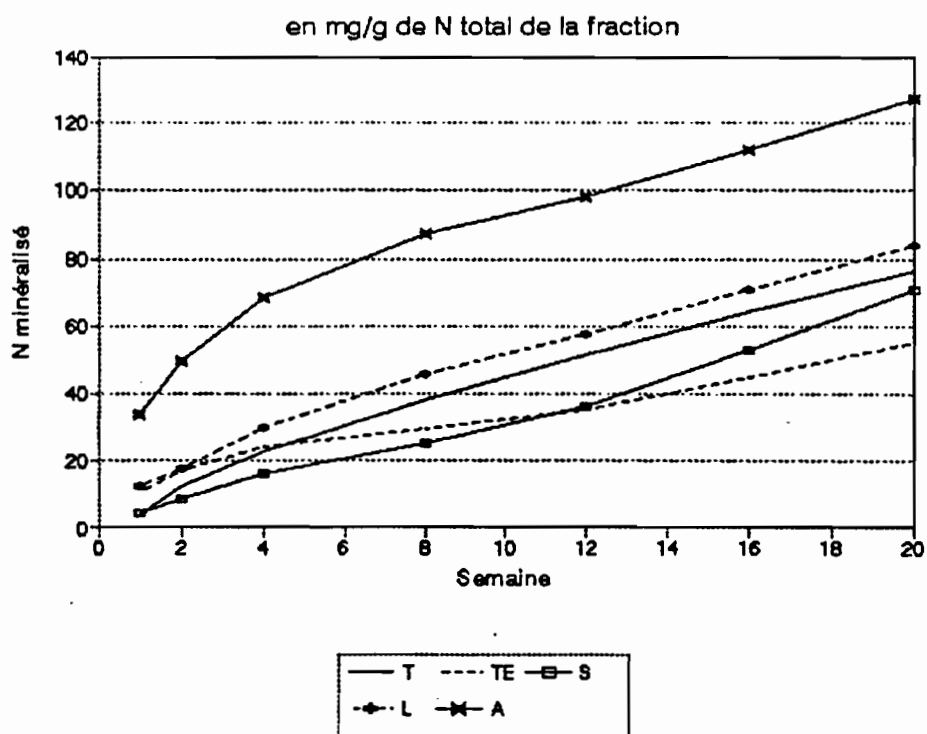


Figure 6.

PALMERAIE SOL COUVERT  
AZOTE MINERALISE

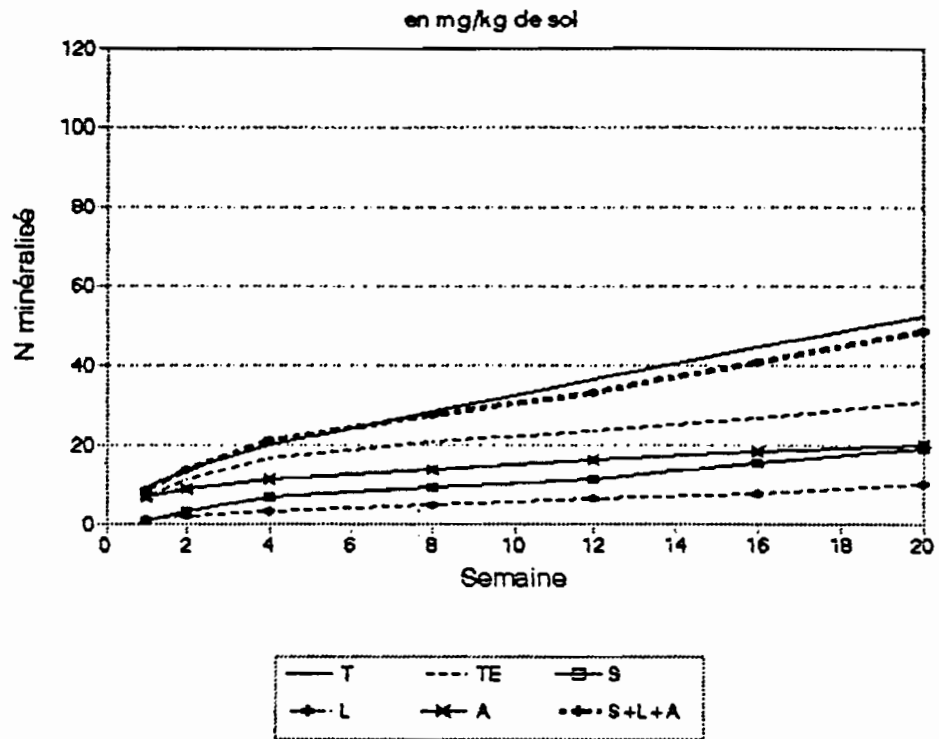


Figure 7.

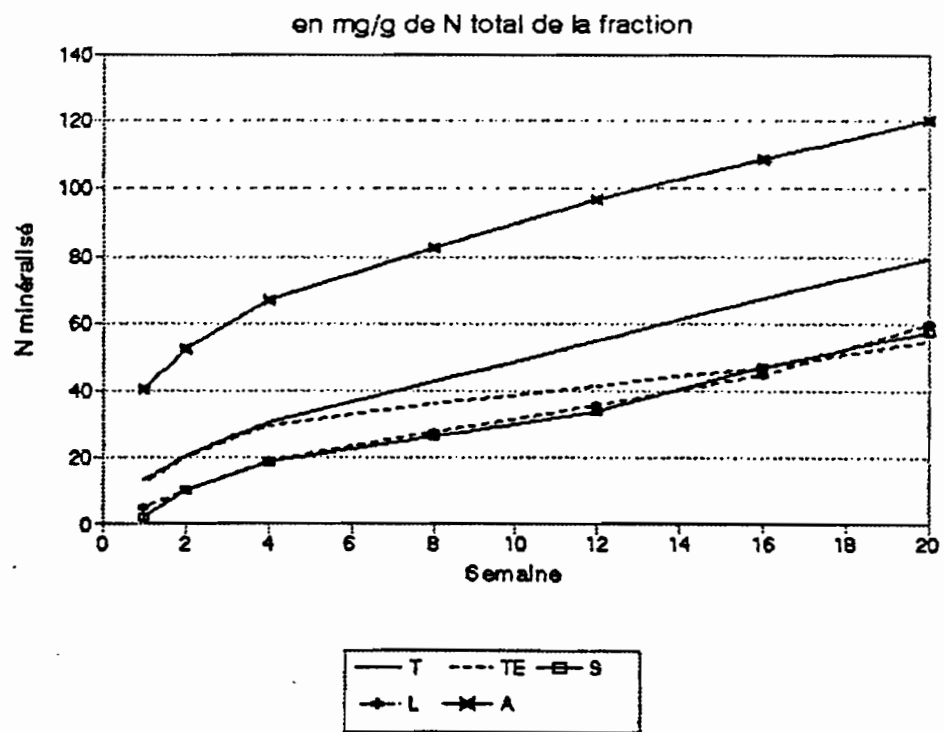


Figure 8.

SOL SOUS FORET  
AZOTE MINERALISE

en mg/kg de sol

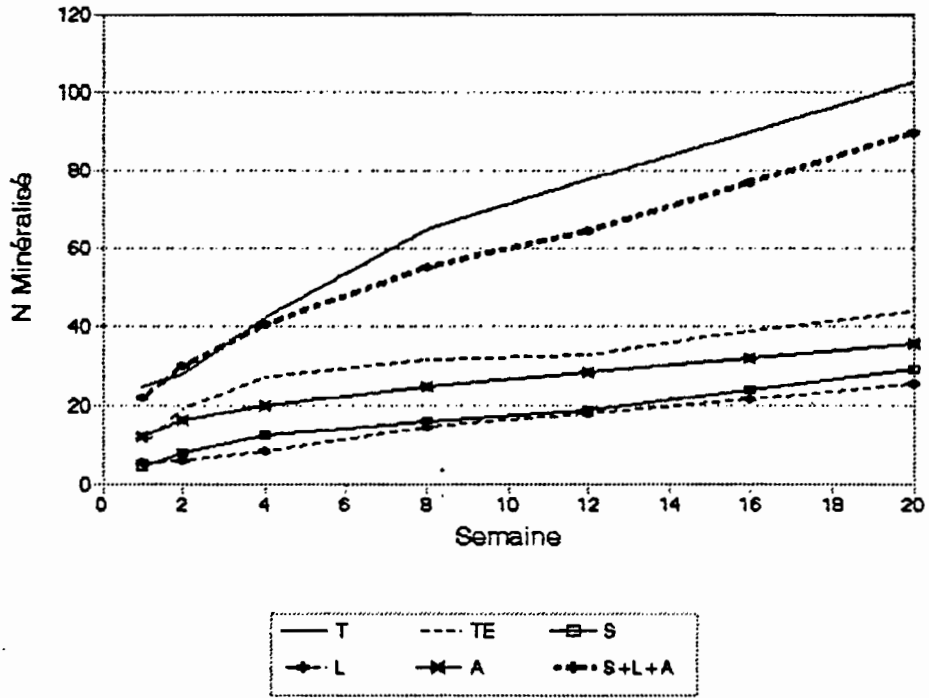


Figure 9.

en mg/g de N total de la fraction

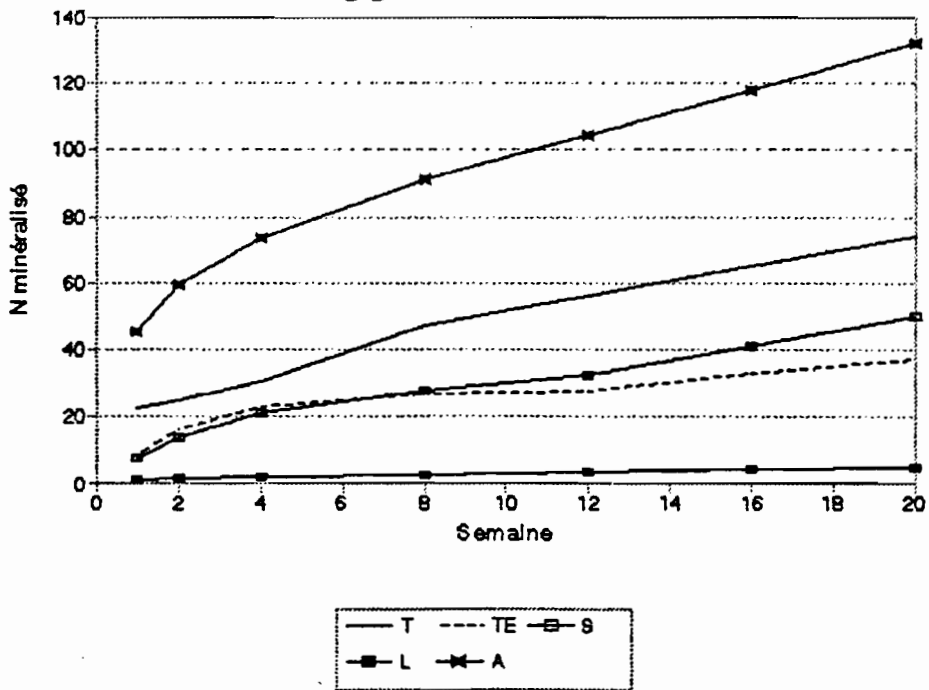


Figure 10.

#### IV. DISCUSSION:

Dans les trois figures où les résultats sont exprimés en mg/kg de sol, une courbe supplémentaire appelée S+L+A a été ajoutée. Il ne s'agit pas d'un nouveau traitement mais bien de la somme des traitements S, L et A.

Nous verrons plus loin l'utilité de ce nouveau paramètre.

##### IV.1. Résultats en mg N/kg de sol: (fig. 5, 7 et 9)

On peut immédiatement noter que F est, pour tous les traitements, le sol qui fournit le plus d'azote minéral.

Si les valeurs pour les sols cultivés sont voisines, on peut noter que T et S sont supérieurs pour le sol couvert. La matière organique liée à la fraction grossière pourrait être la seule à différencier les deux pratiques culturales. En effet les fractions fines fournissent pratiquement la même quantité d'azote minéral alors que l'écart entre les fractions sableuses (environ 10 mg N/kg de sol) est le même pour le traitement témoin T.

Les figures suivantes sont des histogrammes cumulées. Elles permettent de mieux visualiser les contributions relatives de chaque traitement à la minéralisation de l'azote.

La figure 11 représente cette évolution à 12 semaines et la figure 12 l'état final à 20 semaines.

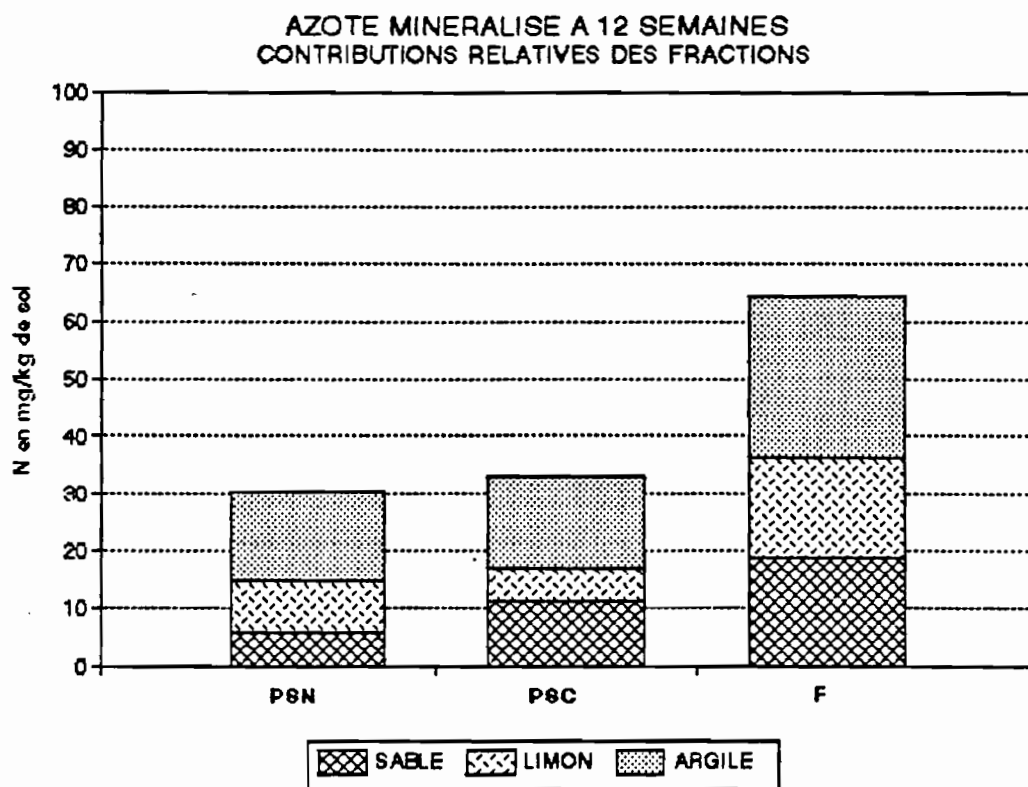


Figure 11

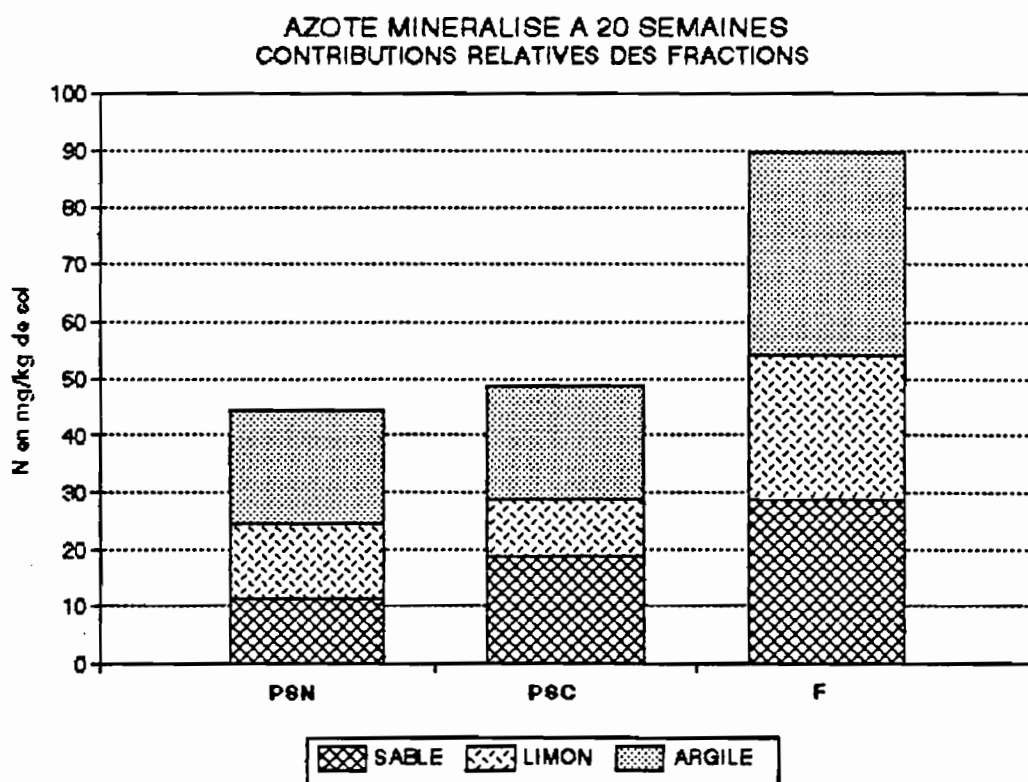


Figure 12.

Pour les sols cultivés on peut noter que le traitement A a minéralisé la même quantité d'azote. Par contre la fraction grossière du sol couvert représente près du double de la même fraction du sol nu. Ce dernier compense partiellement ce "déficit" en "puisant" un peu plus dans la fraction L.

Cela met en évidence les différences de pratique culturale et les conséquences prévisibles : le sol couvert puise essentiellement dans la fraction grossière, c'est à dire dans une matière organique assez facilement renouvelable à court terme alors que la culture sol nu va trouver dans la matière organique liée à la fraction limoneuse une partie de l'azote.

Le sol sous forêt libère plus d'azote que le sol couvert dans l'ensemble de ses fractions de manière relativement équilibrée.

#### IV.2. Les courbes S+L+A:

Dans tous les cas de figure on peut remarquer que la somme S+L+A est supérieure au traitement TE.

Une explication possible est que le traitement TE n'a pas subi l'effet des ultrasons contrairement à A et L.

On aurait donc une dispersion supérieure pour ces deux traitements qui pourrait favoriser la minéralisation de l'azote.

#### IV.3. Résultats en % de N total de la fraction:

Il est très intéressant de noter que pour le traitement T les trois sols ont minéralisé pratiquement la même proportion de leur azote total soit environ 8%.

Il en est de même pour la fraction A qui a minéralisé 13% de son azote pour les trois sols.

Pour les trois modes de gestion du sol la fraction L, bien que plus riche en azote que la fraction A, n'a minéralisé que 8.5% de son azote pour le sol nu, 6% pour le sol couvert et seulement 0.5% pour le sol sous forêt.

Ceci ne peut s'expliquer par une protection physique de la matière organique car la sonification assure une dispersion suffisante. Il ne peut donc s'agir que d'une protection chimique.

CATROUX (1988) a déjà noté cette différence et l'attribue à la présence de composés plus aromatiques dans la fraction limon que dans la fraction argile.

La mise en culture a fragilisé cette protection chimique d'autant plus que le sol est nu.

#### IV.4. Modélisation:

Le traitement statistique des résultats cumulés de la 20<sup>ème</sup> semaine (Annexe 14) ainsi que la modélisation ont été réalisés à l'aide du logiciel STAT-ITCF.

Le modèle mathématique le plus souvent utilisé est:

$$N = N_0 * (1 - e^{-K_n t})$$

avec:

N = azote minéralisé au temps t (mg/kg de sol)  
 N<sub>0</sub> = azote potentiellement minéralisable (mg/kg de sol)  
 K<sub>n</sub> = Coefficient de minéralisation de l'azote  
 t = temps (semaine)

Les résultats obtenus avec ce type d'ajustement sont dans l'ensemble satisfaisants. Les coefficients de détermination (r<sup>2</sup>), bien que supérieurs à 0.8, sont les plus faibles pour le sol sous forêt.

De plus on peut voir sur les figures 9 et 10 que les courbes présentent des variations que l'on pourrait appeler des "regains de minéralisation" (entre 8 et 12 semaines pour T, entre 12 et 20 semaines pour TE par exemple).

Ces deux remarques nous ont conduit à rechercher un autre modèle. Nous avons essayé, entre autres, l'équation suivante:

$$N = N_0 * (1 - e^{-K_n t}) + \alpha_n * t$$

Il s'agit d'un modèle à deux compartiments:

- Le premier a une cinétique de minéralisation d'ordre 1.
- Le second a une cinétique de minéralisation d'ordre 0 à l'échelle de temps de notre essai.

avec N = azote minéralisé au temps t (mg/kg de sol)  
 N<sub>0</sub> = azote potentiellement minéralisable (mg/kg de sol)  
 K<sub>n</sub> = Coefficient de minéralisation de l'azote du premier compartiment  
 t = temps (semaines)  
 α<sub>n</sub> = Coefficient de minéralisation de l'azote du second compartiment (mg/kg de sol/semaine)

Le tableau suivant récapitule les valeurs obtenues avec ce modèle.

Tableau 8 : Paramètres de la modélisation.

SOL	TRAIT	$N_0$	$K_n$	$\alpha_n$	$r^2$
PSN	T	8.77	0.209	1.48	0.998
	TE	6.16	1.005	0.80	0.990
	S	2.81	0.0002	0.529	0.992
	L	3.07	0.538	0.525	0.995
	A	9.18	0.668	0.530	0.999
PSC	T	12.1	0.817	2.02	0.999
	TE	14.0	0.597	0.82	0.990
	S	2.15	0.521	0.82	0.979
	L	1.27	0.620	0.42	0.988
	A	9.17	1.02	0.55	0.998
F	T	29.9	2.20	3.75	0.996
	TE	23.9	0.597	0.95	0.996
	S	7.71	0.695	1.02	0.989
	L	7.74	0.975	0.865	0.994
	A	16.4	1.08	0.97	0.999

Les valeurs calculées des trois paramètres du modèle confirment la "hiérarchie" globalement présentée par les résultats analytiques et déjà mise en évidence par DJEGUI (1992).

$$F > PSC \geq PSN.$$

Cependant les valeurs calculées de DJEGUI ne concernaient que le sol et non les fractions. Ces valeurs de  $N_0$  sont plus élevées que celles de cet essai. Deux explications sont envisageables pour ces différences:

- DJEGUI a utilisé un modèle monocompartmental à cinétique d'ordre 1, et l'azote du second compartiment est ajouté à ce compartiment ce qui augmente l'azote potentiellement minéralisable.

- les prélèvements de sol se situent à des périodes différentes: ceux réalisés par DJEGUI ont été faits avant la grande saison des pluies, alors que ceux réalisés pour cet essai ont eu lieu à la fin de la petite saison sèche, après une période de fort prélèvement d'azote par les végétaux.



## CARBONE POTENTIELLEMENT MINERALISABLE

### I. METHODE ET MATERIEL:

#### I.1. Matériel:

Le dispositif utilisé est le suivant:

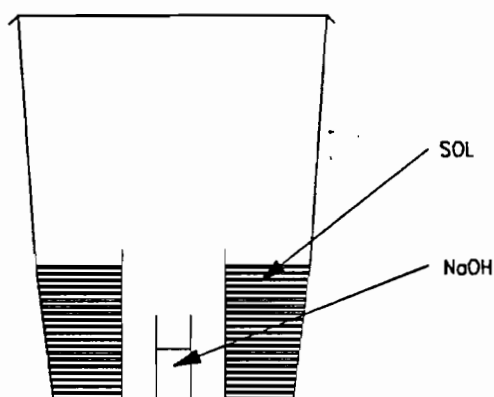


Figure 13.

#### I.2. Méthode:

Le  $\text{CO}_2$  dégagé par le sol est quantitativement piégé dans une solution de soude sous forme de  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  pendant 24 h.

Le piégeage est quotidien pendant la durée du flush (5 jours environ), puis bihebdomadaire pendant 15 jours, puis la fréquence est adaptée selon l'évolution jusqu'à la fin de l'incubation.

#### II.3. Dosages:

Le dosage du  $\text{CO}_2$  est fait avec l'analyseur de carbone en phase liquide SHIMADZU TOC 5000 (Annexe 4) pour les premières mesures, puis par colorimétrie (Annexe 5) à partir du 17<sup>ème</sup> jour.

## II. RESULTATS:

Les quantités cumulées de CO<sub>2</sub> dégagé sont obtenues par interpolation linéaire entre deux mesures lorsque celles-ci sont réalisées en discontinu:

$$\Sigma_{t+n} = (n-1)! * ((V_t - V_{t+n}) / n) + n * V_{t+n} + \Sigma_t$$

avec:

- V<sub>t</sub> = vitesse au temps t (mg C/kg sol/j)
- V<sub>t+n</sub> = vitesse au temps t+n (mg C/kg sol/j)
- Σ<sub>t</sub> = cumul au temps t (mg C/kg sol)
- Σ<sub>t+n</sub> = cumul au temps t+n (mg C/kg sol)

Les résultats cumulés (moyenne et écart type) figurent dans les annexes 9 à 11.

Les graphiques suivants illustrent les évolutions observées.

PALMERAIE SOL NU  
CARBONE MINERALISE

en mg/kg de sol

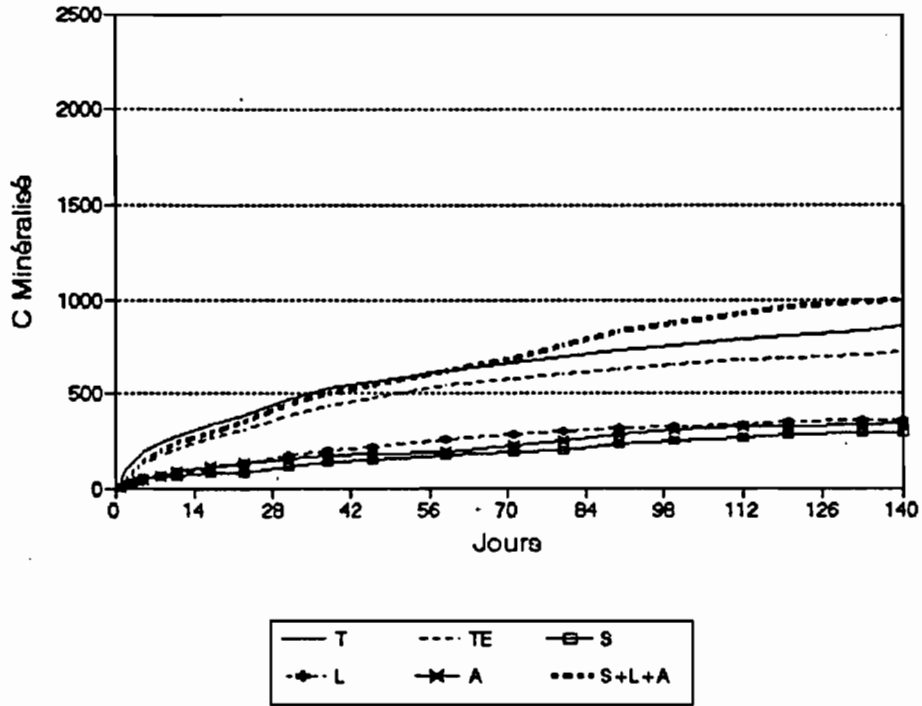


Figure 14.

en mg/g de C total de la fraction

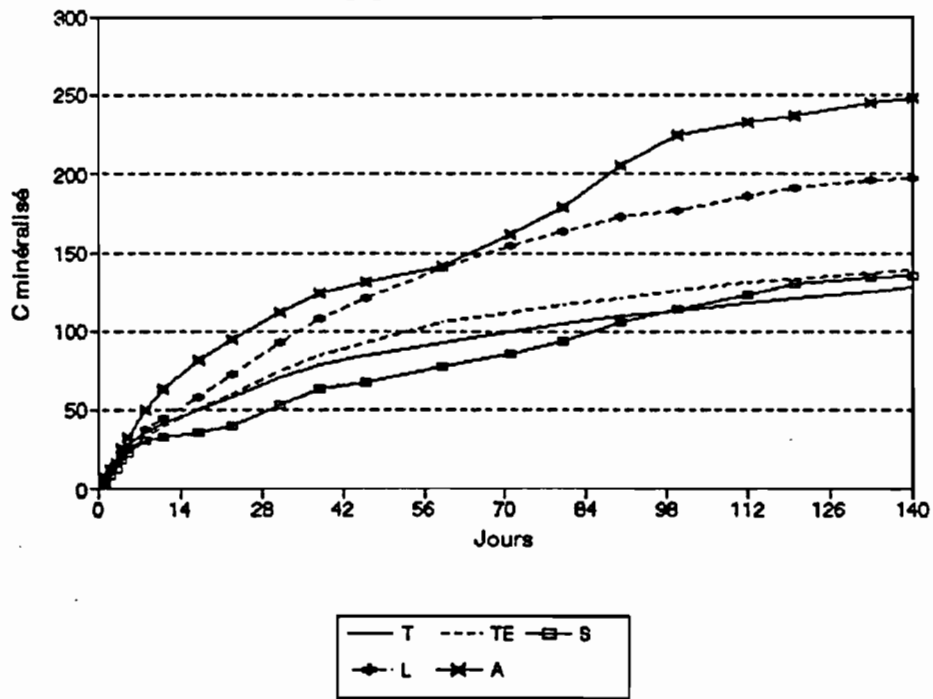


Figure 15.

PALMERAIE SOL COUVERT  
CARBONE MINERALISE

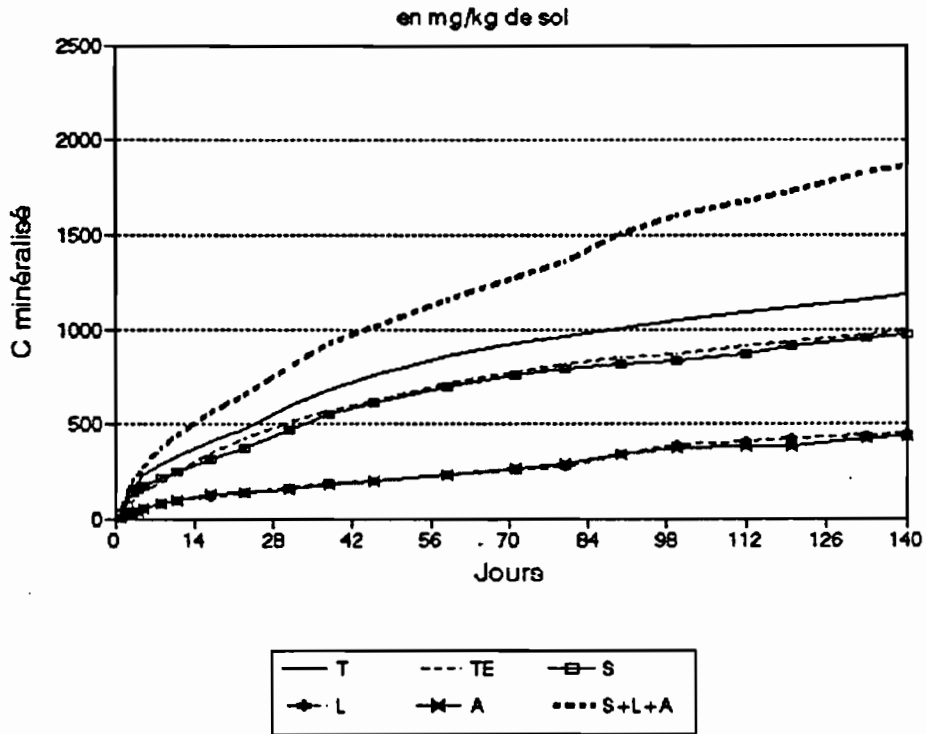


Figure 16.

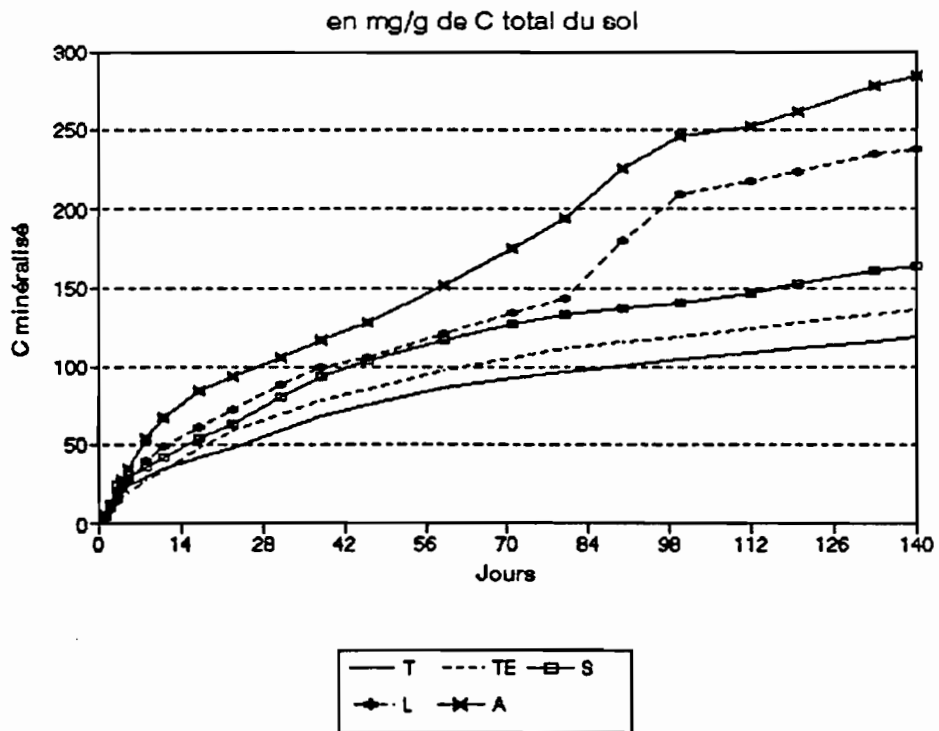


Figure 17.

SOL SOUS FORET  
CARBONE MINERALISE

en mg/kg de sol

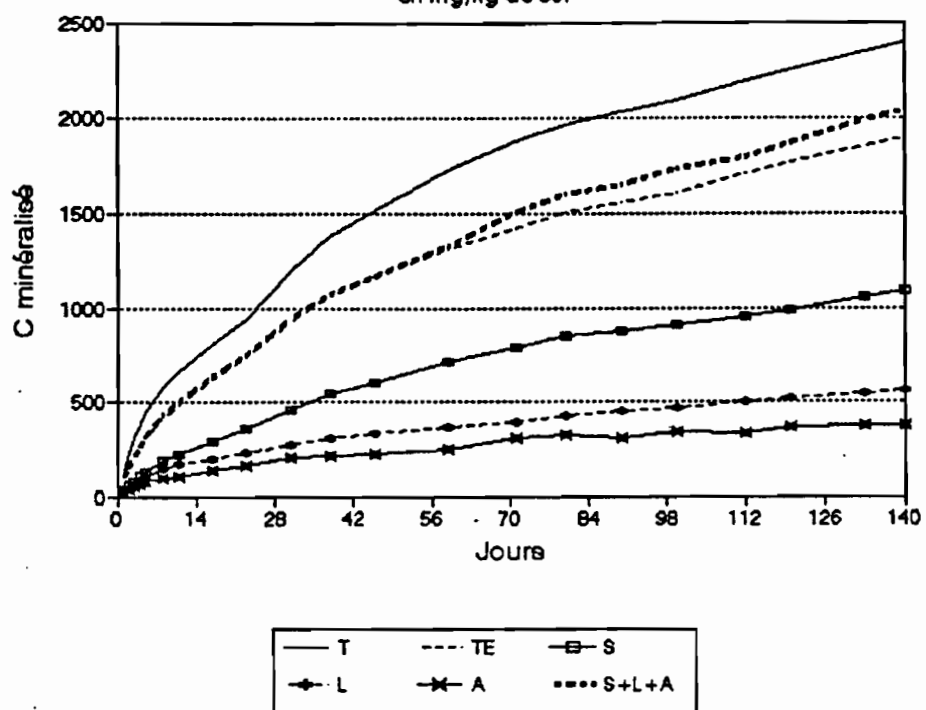


Figure 18.

en mg/g de C total de la fraction

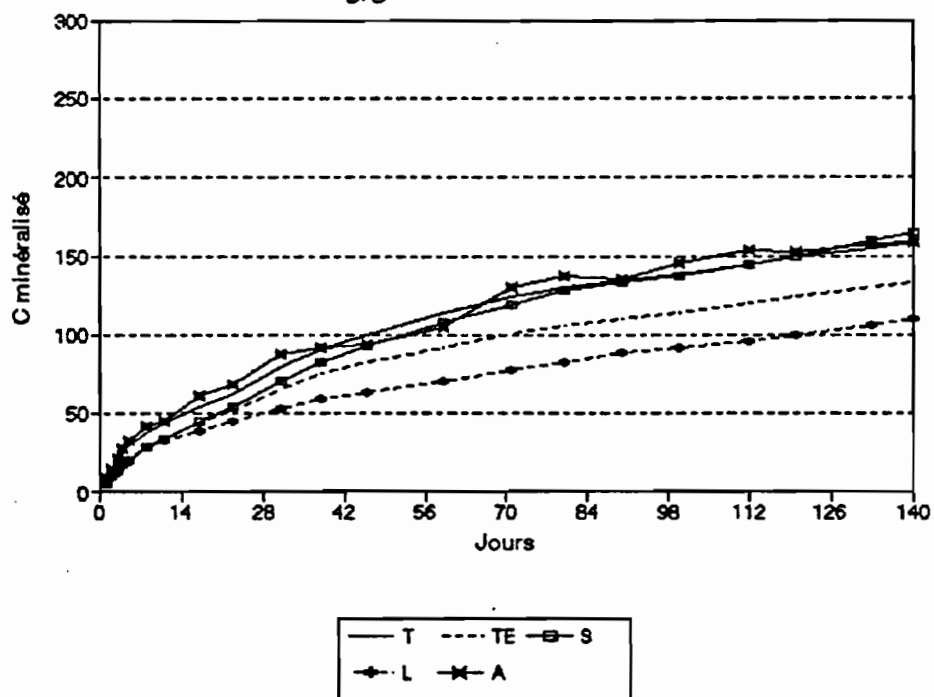


Figure 19.

### III. DISCUSSION.

#### III.1. Résultats en mg de C/kg de sol: (figures 14, 16 et 18)

Les remarques faites pour l'azote sont également valables ici. C'est essentiellement la fraction grossière qui différencie les deux sols cultivés, et la fraction limoneuse qui différencie le sol sous forêt du sol cultivé couvert.

Comme pour l'azote les figures suivantes sont des histogrammes cumulés à 12 et 20 semaines.

CARBONE MINERALISE A 12 SEMAINES  
CONTRIBUTIONS RELATIVES DES FRACTIONS

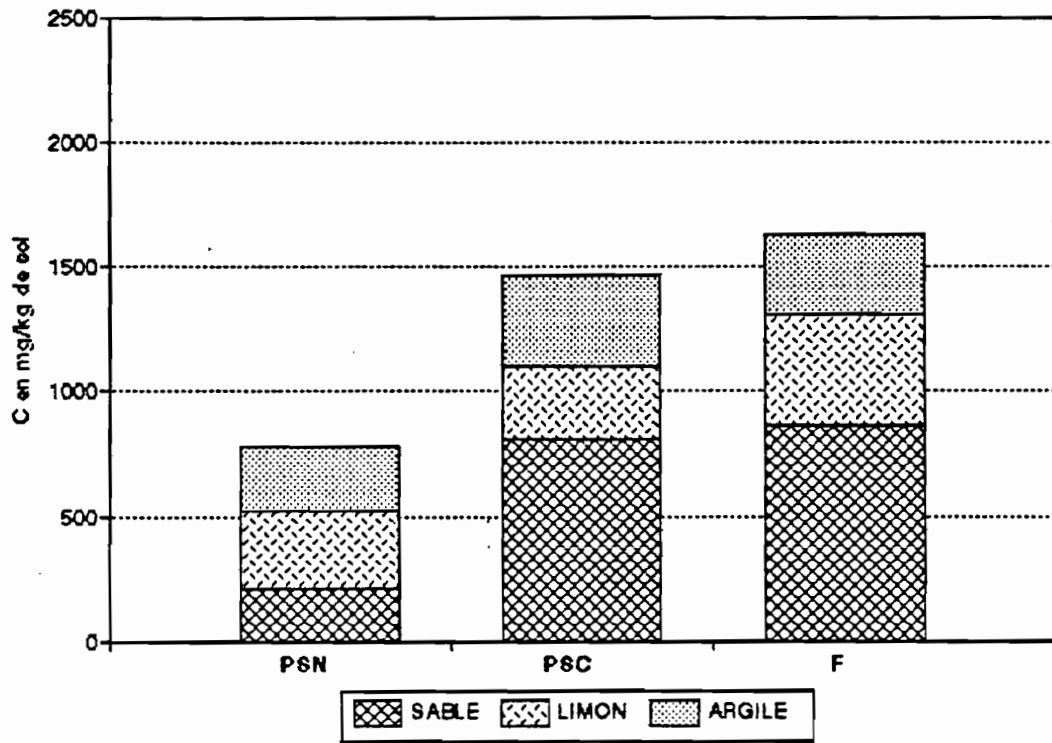


Figure 20.

CARBONE MINERALISE A 20 SEMAINES  
CONTRIBUTIONS RELATIVES DES FRACTIONS

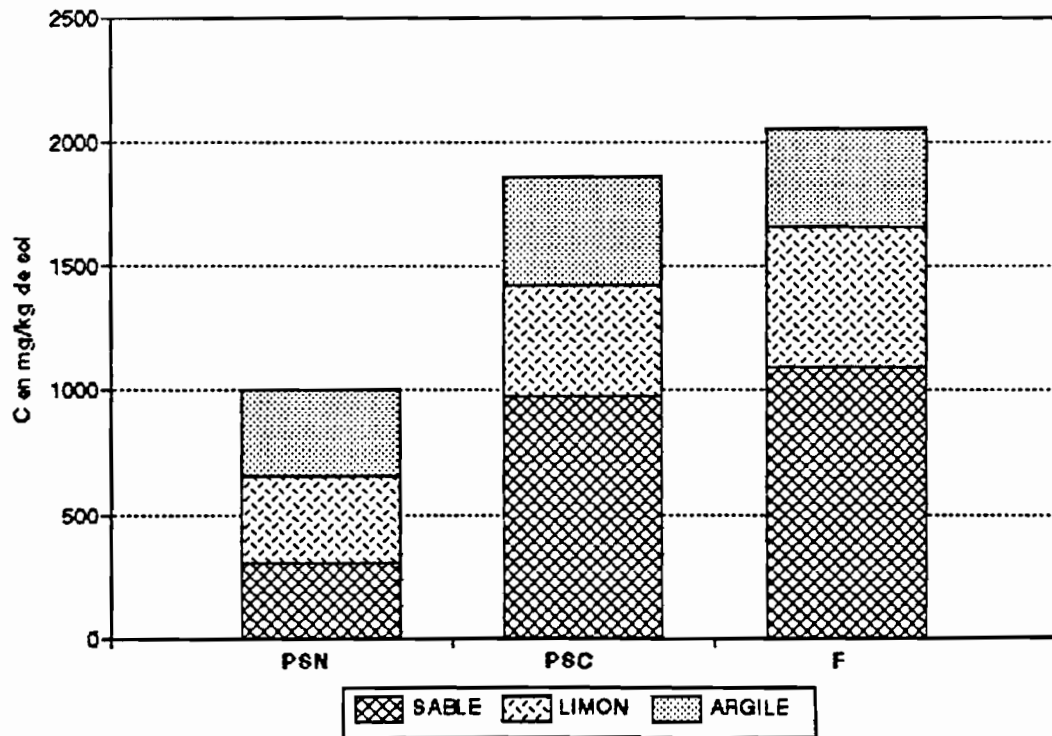


Figure 21.

Pour le sol nu les trois fractions contribuent dans les mêmes proportions à la minéralisation du carbone alors que pour le sol couvert c'est la fraction sableuse qui fournit la moitié du carbone minéral du total S+L+A.

Nous arrivons donc à la même conclusion que pour l'azote: c'est surtout la matière organique liée à la fraction sableuse qui permet de différencier les deux modes de gestion du sol.

Le sol sous forêt minéralise pratiquement les mêmes quantités de carbone que le sol cultivé couvert dans les fractions S et A.

C'est surtout la fraction L qui a perdu une partie de son carbone minéralisable lors de la mise en culture.

### III.2. Courbes S+L+A:

Pour PSN et F cette courbe est pratiquement confondue avec TE.

Pour ces deux sols il semblerait que l'effet des ultrasons évoqué pour l'azote ne soit plus envisageable pour le carbone.

Par contre pour PSC cette somme est très largement supérieure à TE et même à T.

### III.3. Résultats en mg/g de C total de la fraction: (Figures 15, 17 et 19)

Le traitement T ne permet pas de différencier les deux sols cultivés. Par contre les trois fractions du sol couvert ont toutes minéralisé environ 4% de leur azote de plus que le sol nu.

Comme pour l'azote on peut constater que la mise en culture a fragilisé les fractions fines, ce qui se traduit par une plus forte minéralisation que pour le sol sous forêt.

### III.4. Modélisation:

Afin de rester homogène et de pouvoir comparer les évolutions du carbone et de l'azote, nous avons retenu le même modèle bicompartimental.

Le temps sera donc exprimé en semaines et non en jours comme dans les résultats précédents.

L'équation est donc:

$$C = C_0 * (1 - e^{(-K_c * t)}) + \alpha_c * t$$

avec:

C = carbone minéralisé au temps t (mg/kg de sol)

C<sub>0</sub> = carbone potentiellement minéralisable (mg/kg de sol)

K<sub>c</sub> = coefficient de minéralisation du carbone du premier compartiment (mg/kg de sol/semaine)

α<sub>c</sub> = coefficient de minéralisation du carbone du second compartiment

t = temps (semaines)



Les valeurs de ces paramètres sont données dans le tableau suivant:

Tableau 9 : Paramètres de la modélisation.

SOL	TRAIT	C <sub>0</sub>	K <sub>c</sub>	α <sub>c</sub>	r <sup>2</sup>
PSN	T	455	0.454	20.7	0.955
	TE	487	0.274	12.1	0.960
	S	64	1.07	12.4	0.976
	L	313	0.159	3.24	0.968
	A	103	0.625	12.9	0.987
PSC	T	678	0.315	25.8	0.991
	TE	613	0.273	19.3	0.999
	S	576	0.278	19.7	0.983
	L	72	1.09	20.1	0.955
	A	85	1.05	18.5	0.995
F	T	1410	0.289	49.9	0.992
	TE	976	0.324	46.3	0.993
	S	607	0.211	24.0	0.998
	L	217	0.636	17.8	0.999
	A	205	0.347	9.4	0.996

On peut remarquer que, bien que satisfaisants, les coefficients de corrélation r<sup>2</sup> sont moins bons que pour le modèle azote.

Ceci peut s'expliquer par la plus grande variabilité des répétitions (voir chapitre DISCUSSION à venir).

Il est également envisageable que le modèle mathématique choisi ne soit pas adapté pour l'une des deux raisons suivantes:

- le plus grand nombre de mesures réalisées pour le carbone permet "d'affiner" la courbe de minéralisation de cet élément. Pour l'azote le fait de n'avoir que des quantités cumulées sur plusieurs semaines occulterait certaines variations de sa minéralisation et le modèle choisi serait suffisant,

- une partie de la matière organique pauvre en azote aurait une cinétique de minéralisation différente. Il s'agirait, comme le proposent CHAUSSOD et NICOLARDOT (1982) d'envisager deux compartiments à vitesse de minéralisation d'ordre 1. Ce modèle, plus logique car possédant une asymptote, appliqué à nos résultats améliore légèrement le coefficient de corrélation.

## DISCUSSION GENERALE

## I. METHODOLOGIE:

## I.1. Les résultats:

On peut remarquer que les résultats obtenus pour le carbone ont une plus grande dispersion que pour l'azote: C.V.% compris entre 0% et 22% pour le carbone et entre 2% et 14% pour l'azote. Il faut cependant tenir compte du nombre de dosages nécessaires pour obtenir ces valeurs finales: six pour l'azote et vingt deux pour le carbone.

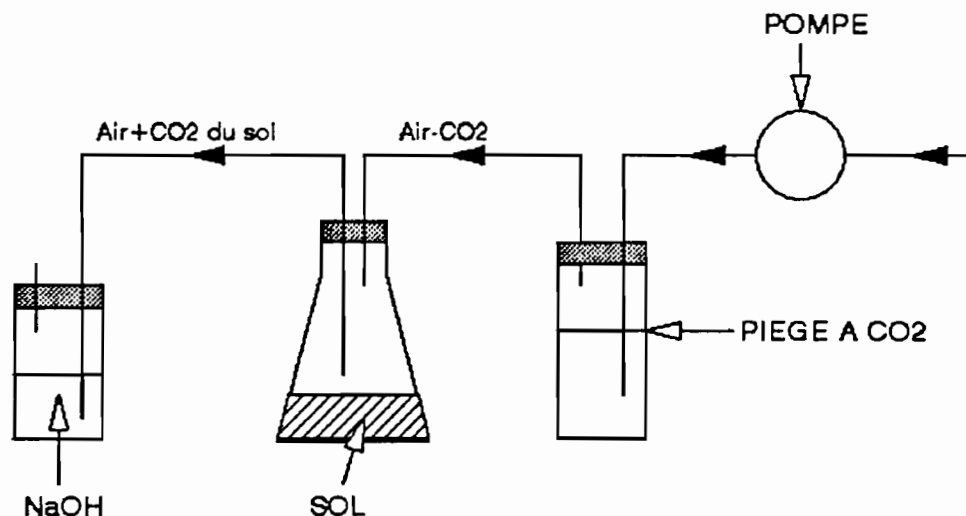
De plus le dosage de l'azote est fait sur les quantités minéralisées cumulées entre deux percolations alors que les dosages de carbone ne concernent que les quantités minéralisées en un jour donc faibles et moins fiables.

Deux, voire trois solutions sont envisageables pour améliorer ces résultats:

1°) Si l'on dispose de suffisamment de sol il faudrait travailler avec 200 ou 300g.

2°) Si la quantité de sol est limitée il est possible de piéger le  $\text{CO}_2$  pendant plusieurs jours en ventilant quotidiennement les pots afin d'éviter l'anaérobiose.

3°) Il existe d'autres dispositifs de piégeage comme celui schématisé ci après



Si ce dispositif semble satisfaisant il n'en reste pas moins lourd à mettre en oeuvre et demande beaucoup de matériel.

## I.2. Le protocole:

Nous avons vu que la somme S+L+A était supérieure au traitement TE, aussi bien pour l'azote que pour le carbone (sauf le sol sous forêt). Nous avons attribué ce phénomène à la dispersion des fractions fines par les ultrasons.

Comment expliquer que le sol sous forêt fasse exception pour le carbone ?

Si l'on revient au tableau 6 on peut remarquer que les quantités hydrosolubles sont importantes, surtout pour le carbone (de 9 à 13% du carbone total du sol).

Lors du fractionnement nous avons donc deux effets contraires:

- d'une part une dispersion par les ultrasons qui favorise la minéralisation.
- d'autre part une perte de la fraction hydrosoluble qui forcément la "diminue".

Dans tous les cas, sauf justement pour le carbone du sol sous forêt, c'est l'effet des ultrasons qui, en valeur absolue, est supérieur à la perte de la matière organique hydrosoluble.

Cette fraction semble donc jouer un rôle important ou du moins non négligeable. On peut même envisager qu'elle joue un rôle "starter"; elle est vraisemblablement un très bon "carburant" pour les microorganismes car faiblement polymérisée.

Si nous l'avons "écartée" c'est pour deux raisons:

- l'une pratique: cela augmentait trop le nombre d'échantillons à traiter.
- l'autre méthodologique: comment traiter cette fraction en particulier pour l'azote potentiellement minéralisable ?

## II. COMMENTAIRES:

Jusqu'à présent nous avons traité les minéralisations de C et N séparément.

Nous allons maintenant essayer de les considérer ensemble et ce en comparant l'évolution du rapport C/N minéralisé (Annexe 13.).

Les résultats sont donnés aux dates de percolation de l'azote minéral. Comme les mesures de CO<sub>2</sub> ne coïncident pas avec celles ci, les valeurs ont été obtenues par interpolation linéaire entre deux mesures encadrant la date voulue.

Les figures suivantes récapitulent les résultats obtenus.

Remarque: l'échelle a été choisie pour que les courbes restent visibles. Deux valeurs élevées sont simplement indiquées en haut des graphiques.

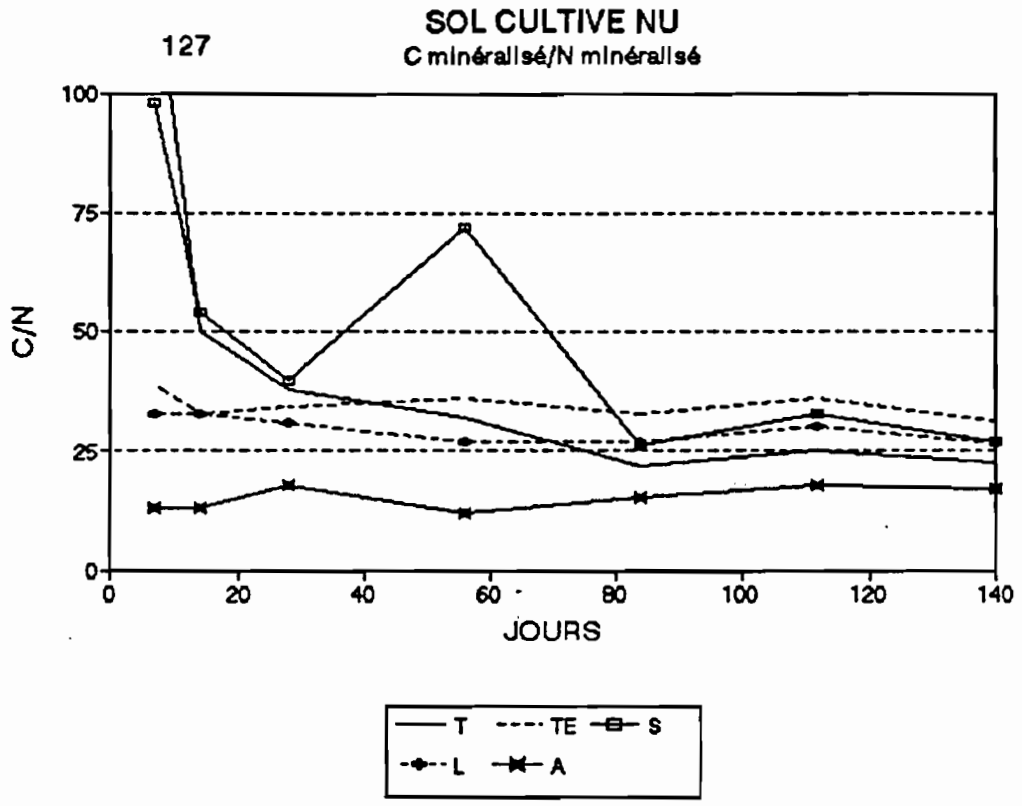


Figure 23.

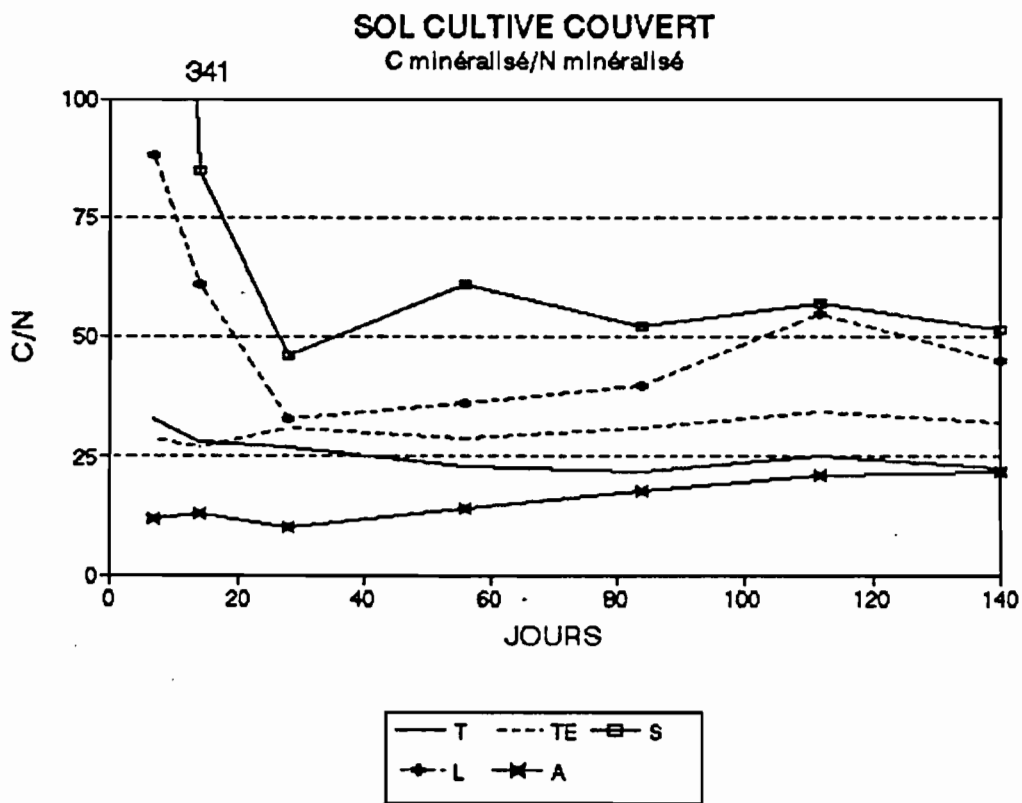


Figure 24.

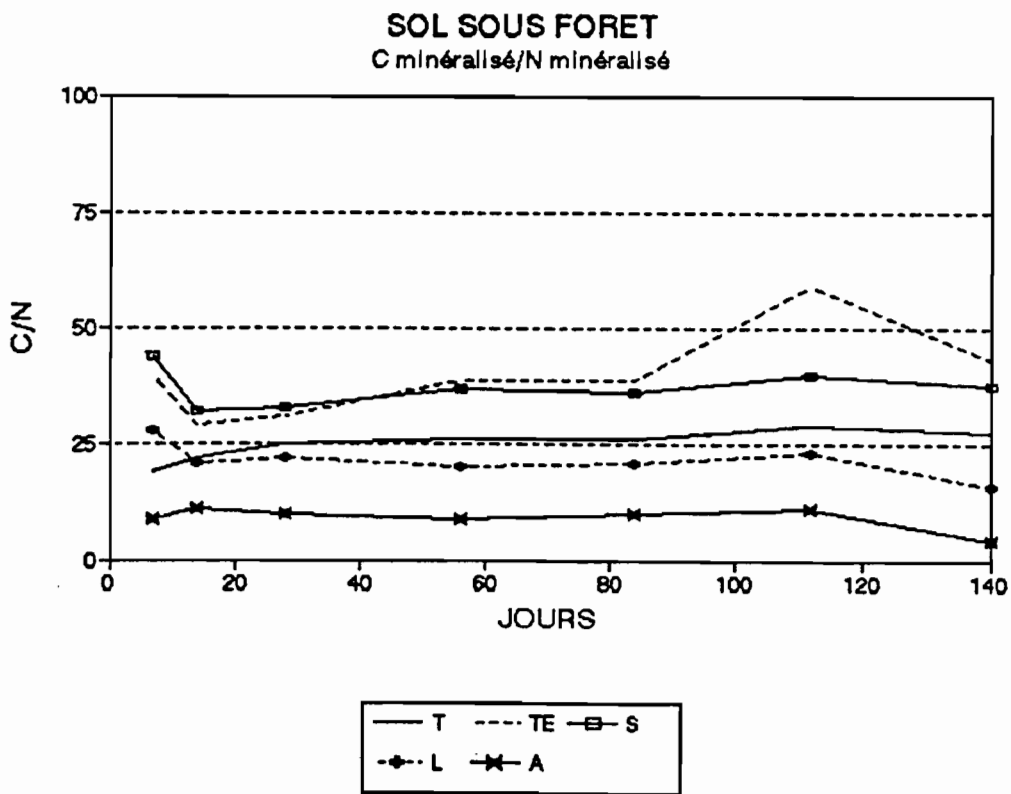


Figure 25.

Le rapport  $R_{\min} = C \text{ minéralisé} / N \text{ minéralisé}$  devrait peu varier si le traitement considéré était homogène.

Pour les trois sols les traitements L et A ont le rapport le plus stable. Celui de la fraction L est environ le double de la fraction A, ce qui pourrait être dû à différence chimique des matières organiques liées à ces fractions.

Le sol sous forêt est, pour chacune de ses fractions, composé de matière organique assez homogène. Les  $R_{\min}$  sont, dans l'ordre décroissant: TE, S, T, L et A.

Les deux sol cultivés se différencient par le  $R_{\min}$  des traitements S et L supérieurs pour le sol cultivé couvert.

Nous allons maintenant comparer les rapports  $R_0 = C_0 / N_0$  figurant dans le tableau suivant:

Tableau 11. Valeurs des rapports  $R_0$ .

SOL/TRAITEMENT	T	TE	S	L	A
PSN	52	79	23	102	11
PSC	56	44	268	57	9
F	47	41	79	28	13

Dans l'ensemble les rapports  $R_0$  sont supérieurs aux rapports  $R_{\min}$ . La "hiérarchie" entre les différents sols et traitements reste cependant la même pour les deux rapports.

Pour que le rapport  $R_{\min}$  se rapproche des valeurs de  $R_0$  il faudrait que la minéralisation se continue plus fortement sur le carbone que sur l'azote.

Pour cela elle devra concerner une fraction à fort C/N plus stable car minéralisant plus tard.

Si cette hypothèse était vérifiée cela signifierait que la plus grande partie de l'azote minéralisable est associée à de la matière organique facilement minéralisable (de l'ordre de quelques mois) et que la matière organique à turn-over long est peu susceptible de fournir de l'azote minéral.

## CONCLUSION

En se reportant aux annexes 14 et 15 relatives au traitement statistique des données on voit que la démarche proposée est relativement correcte.

En effet à partir de la combinaison de trois sols et cinq traitements nous aboutissons à neuf groupes homogènes pour l'azote et sept pour le carbone. Ceci montre que les analyses réalisées sont suffisamment discriminatoires en regard du phénomène étudié.

Le suivi de la minéralisation de l'azote et du carbone apporte des renseignements qualitatifs grâce au rapport C/N.

Au vu des résultats il est envisageable d'utiliser une approche additive (page 4) comme me l'avait suggéré J.P.PICHOT dès l'étape de recherche bibliographique préliminaire à ce travail.

Ceci ne sera valable que si la minéralisation des fractions ajoutées reste du même ordre de grandeur que celle des fractions considérées séparément.

Cette démarche a deux avantages :

1°) Elle conserve les interactions entre les différents compartiments de la matière organique.

2°) Elle permet de régler le problème méthodologique posé par la fraction hydrosoluble. On pourra soit la rajouter au sol et l'étudier comme une fraction supplémentaire, soit la réincorporer au traitement TE afin de mettre en évidence dans ce traitement l'effet de la sonification.

Il est bien évident que le protocole est lourd à mettre en oeuvre et il sera difficile de traiter plus de trois sols simultanément.

Un apport d'azote marqué avec  $^{15}\text{N}$  permettrait de calculer les flux de minéralisation brute et nette (GUIRAUD G. 1984), ce qui fournirait des renseignements supplémentaires non négligeables.

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

**CIRAD-CA** : Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement. Département des Cultures Annuelles.

**UR FCM** : Unité de Recherche Facteurs et Conditions du Milieu.

**LEA** : Laboratoire d'Etudes Agrologiques.

**ORSTOM** : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

**LSCS** : Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés.

**CEN** : Centre d'Etudes Nucléaires.

**DEVN** : Département Ecophysiologie Végétale et Microbienne.

**AGER** : Agronomie Gestion de l'environnement et des ressources Naturelles.

**ENSA** : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie.

**INRA** : Institut National de Recherche Agronomique.

**T** : Traitement témoin.

**TE** : Sol dispersé avec de l'eau et des billes.

**S** : Fraction supérieure à 50  $\mu\text{m}$ .

**L** : Fraction comprise entre 2 et 50  $\mu\text{m}$ .

**A** : Fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$ .

**B** : Blanc protocolaire (sable calciné).



## Annexe 1.

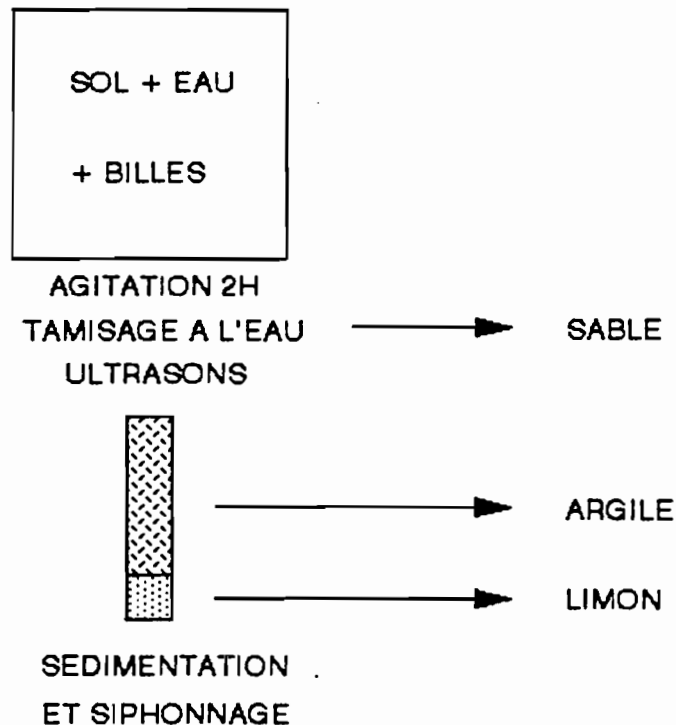
### Méthode de fractionnement physique.

L'échantillon de sol (40g pour PSN et PSC, 20g pour F) est agité dans 200 ml d'eau avec 3 billes de verre de 1 cm de diamètre pendant 2 heures.

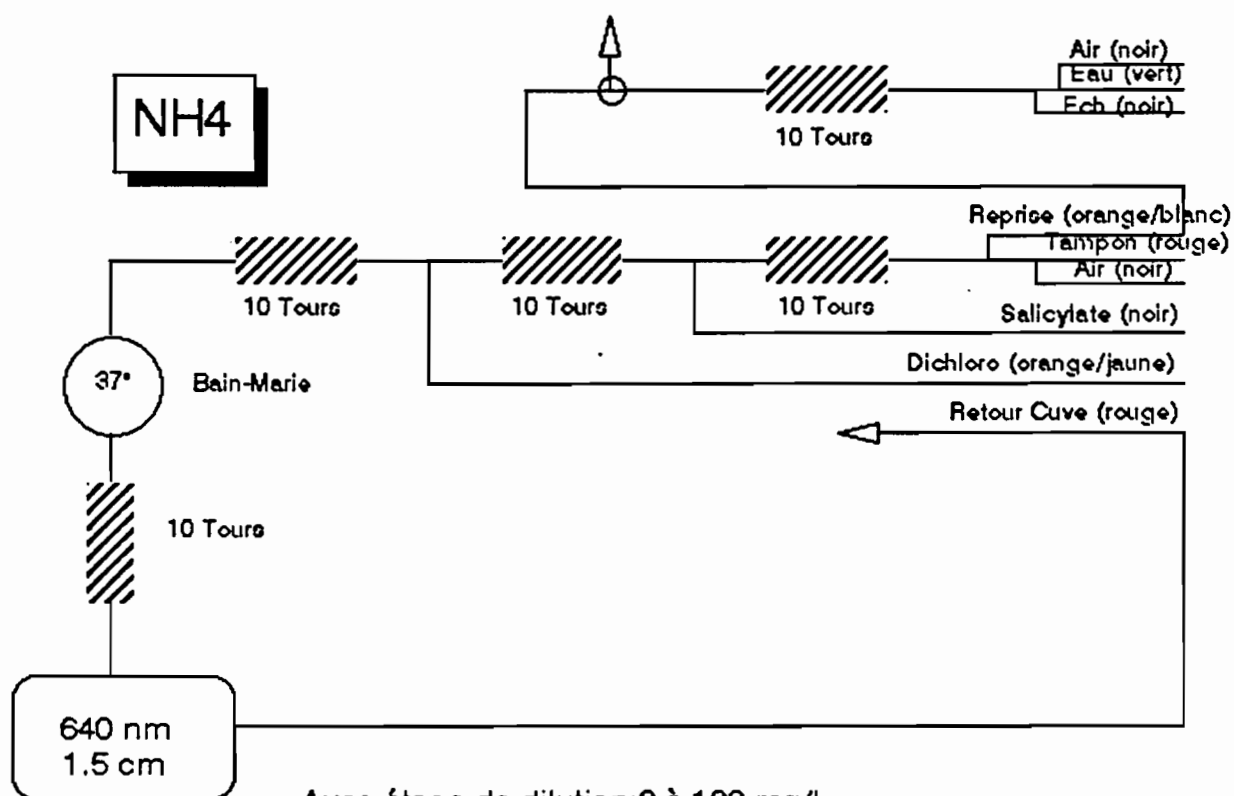
Le tamisage avec lavage sur un tamis de maille 50  $\mu\text{m}$  permet d'isoler la fraction sableuse (S).

La suspension de sol inférieure à 50  $\mu\text{m}$  est soumise à l'action des ultrasons pendant 10 mn. Elle est ensuite transvasée dans une allonge et la fraction argileuse (A) inférieure à 2  $\mu\text{m}$  est séparée de la fraction limoneuse (L) comprise entre 2 et 50  $\mu\text{m}$  par sédimentations et siphonnages successifs jusqu'à épuisement. 560 g de chaque sol sont ainsi préparés (14 séries pour PSN et PSC, 28 pour F). Les fractions identiques issues des diverses séries sont regroupées et homogénéisées avant séchage pour s'affranchir d'une éventuelle variabilité inter séries.

Une aliquote d'environ 10 g est broyée à 150  $\mu\text{m}$  pour dosage de C et N initiaux.



**ANNEXE 2**  
**Dosage colorimétrique de N-NH<sub>4</sub>**



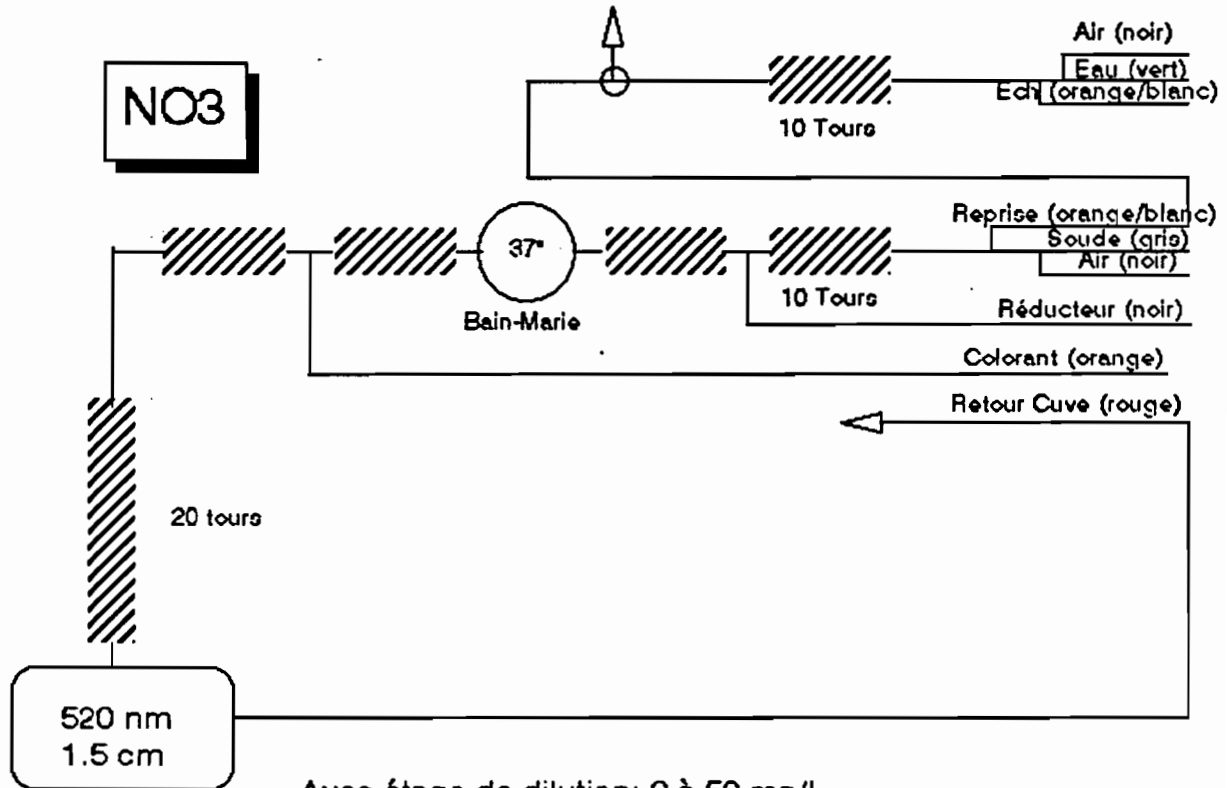
Avec étage de dilution: 0 à 100 mg/l

Sans étage de dilution: 0 à 10 mg/l

**REACTIFS**

<b>TAMPON</b>	NaOH	25g	1 litre
	Tartrate K Na	10g	
	EDTA	10g	
	BRIJ 35	5 gouttes	
<b>SALYCILATE</b>	Salicylate Na	42.5g	1 litre
	Nitroprussiate Na	0.3g	
<b>DICHLORO</b>	Dichloroisocyanurate Na	1.25g	500ml
	NaOH	6g	

**ANNEXE 3**  
**Dosage colorimétrique de N-NO<sub>3</sub>**



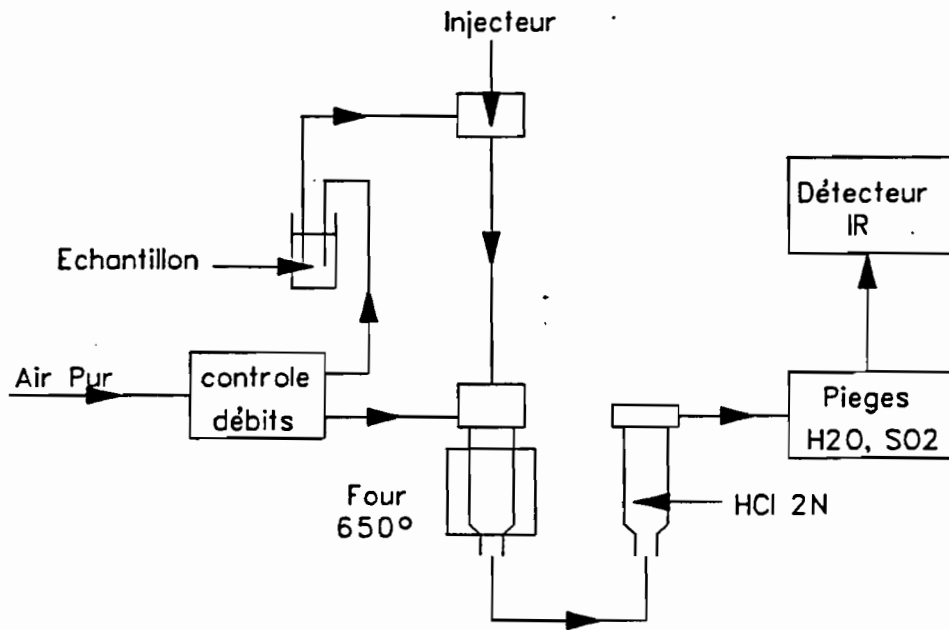
Avec étage de dilution: 0 à 50 mg/l

Sans étage de dilution: 0 à 5 mg/l

**REACTIFS**

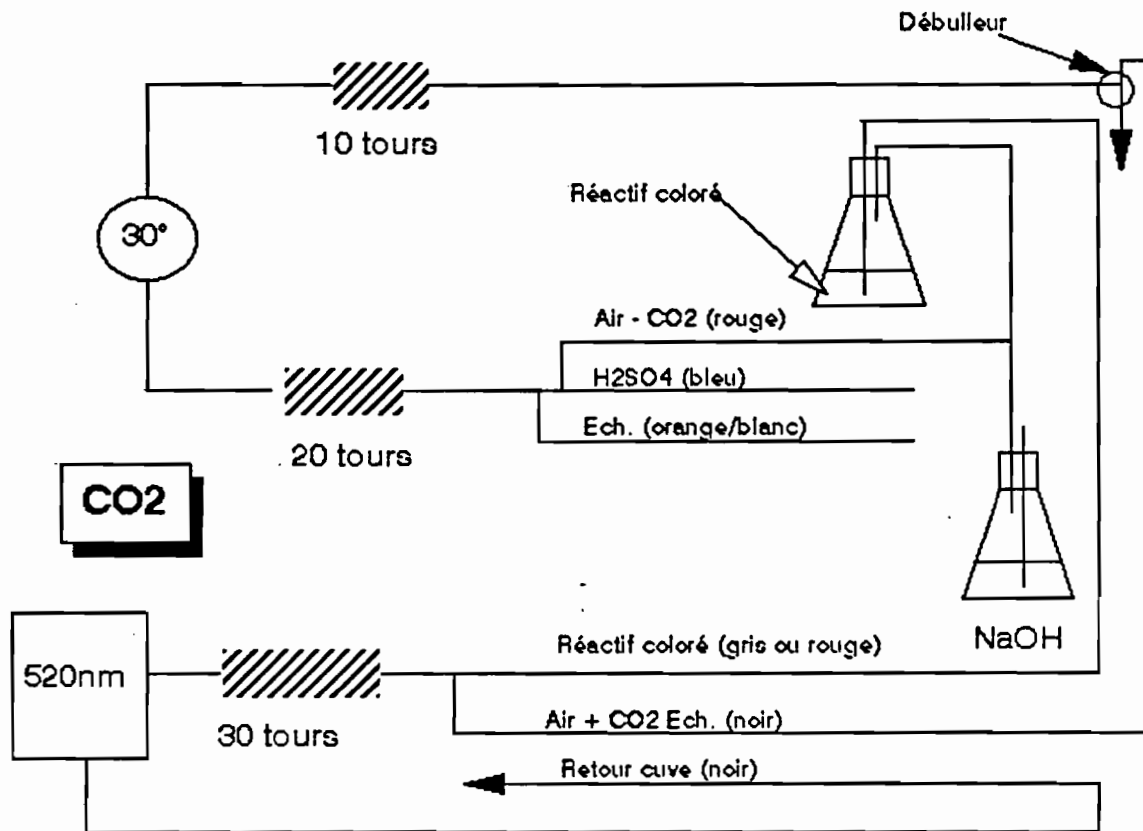
<b>SOUDE</b>	<b>NaOH</b>	<b>8g</b>	<b>1 litre</b>
<b>SULFATE DE CUIVRE</b>	<b>CuSO<sub>4</sub>, 5H<sub>2</sub>O</b>	<b>0.28g</b>	<b>500ml</b>
<b>REDUCTEUR</b>	<b>Sulfate d'hydrazine</b>	<b>0.56g</b>	<b>500ml</b>
	<b>Sulfate de cuivre</b>	<b>20 ml</b>	
<b>COLORANT</b>	<b>Naphtyl Ethylène Diamine</b>	<b>0.5g</b>	
	<b>Sulfamilamide</b>	<b>10g</b>	<b>1 litre</b>
	<b>Acide orthophosphorique</b>	<b>100ml</b>	

ANNEXE 4.



DOSAGE DU C total DES PERCOLATS

ANNEXE 5.  
Dosage colorimétrique de C-CO<sub>2</sub>



REACTIFS

TAMPON                      Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 10 H<sub>2</sub>O    28.6g  
                                     NaHCO<sub>3</sub>                      4.2g                      100ml H<sub>2</sub>O

PHENOL PHTALEINE            1g/100ml Ethanol

REACTIF COLORE            Tampon selon gamme d'étalonnage + 4ml phénol phtaléine +QSP 1000ml H<sub>2</sub>O.

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>                      solution environ 0.5N (14ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 36N/1000ml)

NaOH                         80g/1000ml

GAMME ETALON            Préparée JUSTE AVANT EMPLOI à partir d'une solution mère à 5g C/l (11.92g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 10H<sub>2</sub>O/100ml)

AJOUTER QUELQUES GOUTTES D'HUILE DE PARAFFINE DANS LES GOGETS DU PASSEUR D'ECHANTILLONS POUR EVITER LE PIEGEAGE DU CO<sub>2</sub> DE L'AIR

## ANNEXE 6.

SOL CULTIVE NU  
Résultats cumulés en mg de N/kg de sol

SEMAINE	TRAIT	T	TE	S	L	A
1	NH <sub>4</sub>	1.75±0.22	4.35±0.49	0.49±0.08	1.89±0.42	4.75±0.35
	NO <sub>3</sub>	0.13±0.19	0.04±0.00	0.17±0.06	0.17±0.17	0.55±0.30
	N MIN	1.89±0.35	4.39±0.49	0.67±0.14	2.06±0.47	5.29±0.42
2	NH <sub>4</sub>	3.77±1.55	7.10±0.80	1.18±0.37	2.34±0.43	7.02±0.40
	NO <sub>3</sub>	2.41±0.88	0.04±0.00	0.17±0.06	0.49±0.21	0.71±0.29
	N MIN	6.19±0.67	7.14±0.80	1.35±0.43	2.83±0.54	7.73±0.46
4	NH <sub>4</sub>	4.17±1.81	10.07±1.06	2.08±0.21	2.83±0.39	8.97±0.17
	NO <sub>3</sub>	7.12±1.14	0.07±0.01	0.43±0.19	1.99±0.25	1.68±0.40
	N MIN	11.29±0.69	10.15±1.06	2.51±0.11	4.82±0.53	10.65±0.46
8	NH <sub>4</sub>	4.17±1.81	11.33±0.64	2.26±0.35	2.83±0.39	8.97±0.17
	NO <sub>3</sub>	14.93±0.93	0.87±0.16	1.69±0.37	4.54±0.44	4.67±0.64
	N MIN	19.11±0.99	12.20±0.66	3.96±0.39	7.37±0.62	13.64±0.63
12	NH <sub>4</sub>	4.17±1.81	11.33±0.64	2.26±0.35	2.83±0.39	8.97±0.17
	NO <sub>3</sub>	21.34±1.37	3.50±0.31	3.40±0.29	6.47±0.49	6.41±0.54
	N MIN	25.51±0.74	14.83±0.94	5.66±0.35	9.29±0.62	15.39±0.51
16	NH <sub>4</sub>	4.17±1.81	11.33±0.64	2.26±0.35	2.83±0.39	8.97±0.17
	NO <sub>3</sub>	27.75±1.81	7.33±0.79	6.04±0.63	8.58±0.51	8.54±0.48
	N MIN	31.92±0.71	18.66±1.43	8.30±0.53	11.41±0.62	17.51±0.49
20	NH <sub>4</sub>	4.17±1.81	11.33±0.64	2.26±0.35	2.83±0.39	8.97±0.17
	NO <sub>3</sub>	34.15±2.25	11.67±1.87	8.87±0.61	10.80±0.47	10.91±0.47
	N MIN	38.33±0.92	23.00±2.52	11.13±0.32	13.63±0.53	19.88±0.47

ANNEXE 7.

SOL CULTIVE COUVERT  
 Résultats cumulés en mg de N/kg de sol

SEMAINE	TRAIT	T	TE	S	L	A
1	NH <sub>4</sub>	8.77±0.16	6.81±0.49	0.63±0.12	0.86±0.33	5.75±0.06
	NO <sub>3</sub>	0.14±0.08	0.12±0.13	0	0	1.01±0.56
	N MIN	8.91±0.10	6.93±0.37	0.63±0.12	0.86±0.33	6.76±0.55
2	NH <sub>4</sub>	9.55±0.41	11.15±0.41	3.29±0.06	1.65±0.19	7.63±0.17
	NO <sub>3</sub>	4.00±0.17	0.12±0.13	0.03±0.04	0.05±0.04	1.01±0.56
	N MIN	13.55±0.55	11.27±0.28	3.32±0.09	1.70±0.21	8.64±0.72
4	NH <sub>4</sub>	8.97±0.17	16.40±0.25	4.97±0.37	3.10±0.22	10.09±0.22
	NO <sub>3</sub>	10.29±0.33	0.15±0.12	1.13±0.89	0.10±0.04	1.03±0.56
	N MIN	19.96±0.21	16.55±0.25	6.10±0.58	3.20±0.23	11.12±0.68
8	NH <sub>4</sub>	9.68±0.41	20.33±0.20	4.99±0.40	3.51±0.31	12.34±0.20
	NO <sub>3</sub>	18.45±0.12	0.19±0.11	3.53±1.94	1.17±0.29	1.42±0.77
	N MIN	28.13±0.48	20.52±0.24	8.53±1.55	4.67±0.19	13.76±0.61
12	NH <sub>4</sub>	9.68±0.41	22.30±0.63	4.99±0.40	3.51±0.31	12.37±0.20
	NO <sub>3</sub>	26.57±0.78	1.22±1.03	6.06±2.22	2.52±0.17	3.71±0.63
	N MIN	36.25±0.84	23.52±1.65	11.05±1.83	6.03±0.24	16.07±0.46
16	NH <sub>4</sub>	9.68±0.41	22.30±0.63	4.99±0.40	3.51±0.31	12.37±0.20
	NO <sub>3</sub>	34.69±1.46	4.33±2.51	10.35±2.27	4.02±0.42	5.74±0.76
	N MIN	44.37±1.46	26.63±3.12	15.34±1.87	7.53±0.33	18.11±0.58
20	NH <sub>4</sub>	9.68±0.41	22.30±0.63	4.99±0.40	3.51±0.31	12.37±0.20
	NO <sub>3</sub>	42.81±2.14	8.67±3.57	13.86±2.62	6.59±1.48	7.61±0.80
	N MIN	52.49±2.11	30.97±4.18	18.85±2.23	10.10±1.3	19.97±0.62

## ANNEXE 8.

SOL SOUS FORET  
Résultats cumulés en mg de N/kg de sol

SEMAINE	TRAIT	T	TE	S	L	A
1	NH <sub>4</sub>	8.70±0.67	9.89±1.23	4.25±0.38	5.20±0.54	5.67±0.82
	NO <sub>3</sub>	22.30±3.51	0.21±0.12	0.01±0.01	0.09±0.02	6.51±0.47
	N MIN	31.00±2.89	10.11±1.27	4.26±0.38	5.29±0.52	12.18±0.49
2	NH <sub>4</sub>	8.70±0.67	18.75±0.68	7.96±0.09	8.71±0.99	9.40±1.10
	NO <sub>3</sub>	25.56±3.10	0.21±0.12	0.01±0.01	0.13±0.02	6.59±0.48
	N MIN	34.26±2.50	18.97±0.77	7.97±0.09	8.85±0.99	15.99±0.78
4	NH <sub>4</sub>	8.91±0.70	26.89±1.34	12.27±0.29	11.01±.29	12.89±1.10
	NO <sub>3</sub>	33.39±3.74	0.21±0.12	0.01±0.01	0.27±0.03	7.02±0.51
	N MIN	42.30±3.07	27.11±1.42	12.29±0.30	11.29±1.32	19.91±0.61
8	NH <sub>4</sub>	8.91±0.70	30.73±2.58	15.76±2.45	11.18±1.27	13.27±1.15
	NO <sub>3</sub>	56.12±4.43	0.79±0.33	0.11±0.13	3.31±0.20	11.32±0.91
	N MIN	65.03±3.75	31.53±2.28	15.87±2.43	14.49±1.47	24.59±0.91
12	NH <sub>4</sub>	8.91±0.70	30.86±2.71	15.81±2.52	11.18±1.27	13.32±1.16
	NO <sub>3</sub>	68.51±3.67	1.95±1.18	2.89±1.50	6.45±0.14	14.83±0.87
	N MIN	77.42±3.05	32.81±1.73	18.71±1.41	17.63±1.39	28.15±0.85
16	NH <sub>4</sub>	8.91±0.70	30.86±2.71	15.81±2.52	11.18±1.27	13.32±1.16
	NO <sub>3</sub>	80.89±3.30	8.00±2.24	7.87±2.67	10.31±0.25	18.51±0.73
	N MIN	89.81±2.88	28.86±0.88	23.69±1.93	21.50±1.34	31.83±0.76
20	NH <sub>4</sub>	8.91±0.70	30.86±2.71	15.81±2.52	11.18±1.27	13.32±1.16
	NO <sub>3</sub>	93.28±3.47	13.05±3.05	13.11±3.87	14.22±0.39	22.33±0.87
	N MIN	102.19±3.3	43.91±1.22	28.91±2.91	25.40±1.32	35.69±0.67



## ANNEXE 9.

SOL CULTIVE NU  
Résultats cumulés en mg C/kg Sol

TRAIT JOUR	T	TE	S	L	A
1	46±6	16±0	8±2	8±1	9±0
2	105±6	46±9	18±1	20±1	17±1
3	132±6	70±14	28±1	29±2	23±1
4	165±14	105±28	39±4	38±4	36±1
5	188±20	125±35	49±5	48±4	45±1
8	241±31	171±48	66±12	69±8	70±2
11	277±37	207±55	70±15	82±10	87±2
17	339±52	265±65	77±18	107±14	112±5
23	390±67	311±74	86±22	132±23	130±14
31	467±94	386±90	116±34	170±36	155±23
38	527±113	439±98	138±21	199±32	172±11
46	564±127	481±105	148±22	222±38	181±14
59	623±142	547±117	170±17	258±45	195±23
71	670±150	582±123	187±17	283±48	224±29
80	701±157	604±126	206±19	301±53	247±34
90	734±162	630±125	231±23	317±56	283±39
100	759±166	654±124	248±33	324±58	310±37
112	791±174	679±128	270±44	340±64	321±32
120	811±176	689±131	383±48	352±68	327±31
133	840±181	708±139	294±54	359±70	337±32
140	857±185	724±140	297±54	362±72	343±31

ANNEXE 10.

SOL CULTIVE COUVERT  
 Résultats cumulés en mg C/kg Sol

TRAIT JOUR	T	TE	S	L	A
1	42±4	23±1	30±3	5±0	7±0
2	130±19	58±3	72±4	17±1	18±1
3	168±25	91±4	145±14	28±3	28±2
4	204±28	121±5	154±14	40±5	42±3
5	231±31	143±6	170±12	50±7	54±3
8	295±38	202±11	215±23	76±13	84±6
11	341±44	247±15	248±27	92±20	103±10
17	415±56	352±33	317±36	116±32	130±15
23	478±655	429±49	378±49	137±42	144±19
31	595±79	510±58	476±71	168±54	162±23
38	688±95	574±13	557±60	189±52	179±14
46	758±92	626±15	616±71	200±58	197±13
59	860±87	711±14	697±91	229±70	232±14
71	926±83	780±12	754±102	255±77	269±26
80	963±76	824±12	791±111	272±75	298±30
90	1007±72	850±16	815±114	342±73	346±21
100	1044±73	869±16	831±114	397±70	377±12
112	1088±85	909±18	872±115	413±70	387±85
120	1116±96	936±21	906±119	426±73	401±13
133	1160±104	976±21	955±127	447±80	426±23
140	1185±104	1000±21	972±129	452±81	435±25

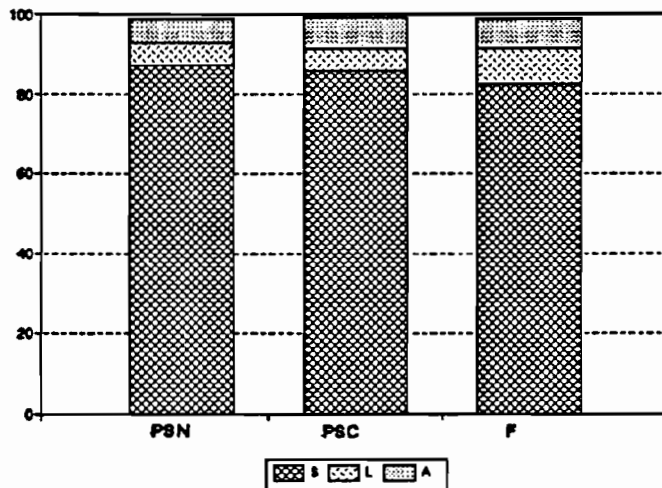
ANNEXE 11.

SOL SOUS FORET  
 Résultats cumulés en mg C/kg Sol

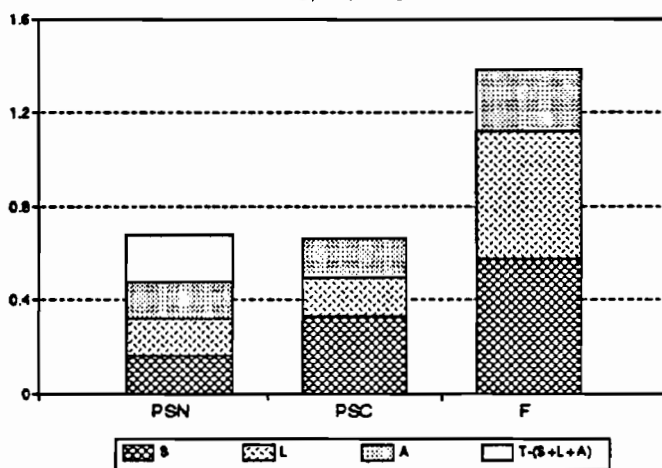
TRAIT JOUR	T	TE	S	L	A
1	103±42	95±7	33±2	30±3	22±1
2	233±48	176±14	68±3	49±2	37±2
3	312±45	219±17	86±4	66±1	51±3
4	389±41	275±19	114±6	84±3	67±2
5	444±46	312±22	134±4	103±2	78±2
8	575±60	408±34	188±8	148±5	106±4
11	668±69	485±42	223±11	172±12	125±6
17	809±90	620±54	295±18	201±24	158±9
23	941±105	738±69	359±25	230±30	187±11
31	1190±130	927±96	461±31	276±33	224±13
38	1374±103	1066±104	546±17	310±12	219±7
46	1508±111	1166±111	612±19	331±16	223±4
59	1723±128	1307±118	713±29	364±18	251±3
71	1879±151	1422±128	792±35	399±8	312±14
80	1965±164	1507±131	846±33	432±3	327±18
90	2031±168	1559±139	879±35	460±11	324±20
100	2089±177	1606±142	906±040	477±14	347±17
112	2187±186	1707±135	954±44	500±17	336±17
120	2251±193	1772±129	992±47	518±14	365±16
133	2346±206	1852±127	1057±55	550±6	378±4
140	2400±210	1897±124	1091±59	569±0	379±5

## ANNEXE 12.

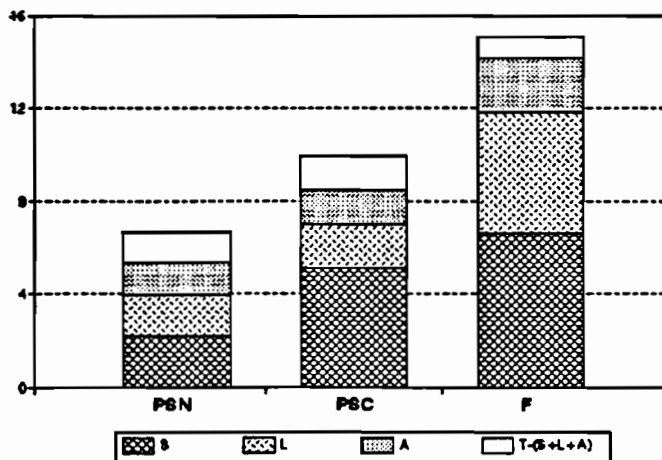
### FRACTIONS EN % PONDERAL DU SOL



### N TOTAL DES FRACTIONS G/KG DE SOL



### C TOTAL DES FRACTIONS G/KG DE SOL



## ANNEXE 13.

## C minéralisé/N minéralisé.

## Sol Cultivé Nu

Trait/jour	7	14	28	56	84	112	140	C/N Initial
T	127	50	38	32	22	25	22	13.4
TE	39	33	34	36	33	36	31	12.4
S	98	54	40	72	26	33	27	13.9
L	33	33	31	27	27	30	27	11.3
A	13	13	18	12	15	18	17	8.8

## Sol Cultivé Couvert

Trait/Jour	7	14	28	56	84	112	140	C/N Initial
T	33	28	27	23	22	25	23	15.2
TE	29	27	31	29	31	34	32	12.9
S	341	85	46	61	52	57	52	15.5
L	88	61	33	36	40	55	45	11.2
A	12	13	10	14	18	21	22	9.2

## Sol sous Forêt

Trait/Jour	7	14	28	56	84	112	140	C/N Initial
T	19	22	25	26	28	24	24	10.9
TE	40	29	31	39	39	59	43	12
S	44	32	33	37	36	40	38	11.4
L	28	21	22	20	21	23	16	9.7
A	9	11	10	9	10	11	4	8.9

ANNEXE 14.

ANALYSE DE VARIANCE : QUANTITES CUMULEES D'AZOTE MINERALISE

DISPOSITIF DE L'ESSAI : FACTORIEL 2 FACTEURS EN RANDOMISATION TOTALE

FACTEUR 1 = 3 SOLS  
 1 = PSN      2 = PSC      3 = F

FACTEUR 2 = 5 TRAITEMENTS  
 1 = T      2 = TE      3 = S      4 = L      5 = A

3 REPETITIONS

HISTOGRAMME DES RESIDUS

13	I									111
12	I									131
11	I									132
10	I									133
9	I				112					141
8	I				122	143				113
7	I				142	152				232
6	I				151	153				251
5	I				241	211				321
4	I				242	222				322
3	I		121	212	253	252	341	213		223
2	I	221	231	323	332	313	343	233		311
1	I	312	333	342	352	353	351	243	123	331

EFFECTIFS      2      3      3      9      13      8      3      1      3

ECARTS-TYPES INTER F1.2 = SOL . TRAITEMENT

F 1 :      1 (PSN)      2 (PSC)      3 (F)

F 2

1 (T)	1.13	2.59	4.22
2 (TE)	3.08	5.12	1.50
3 (S)	0.40	2.73	3.67
4 (L)	0.65	1.64	1.61
5 (A)	0.57	0.76	0.82

KHI2 = 23.93      PROBA = 0.0466

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5%

FACTEUR 1 : SOL

NOMBRE DE MOYENNES      2      3  
 VALEURS DES PPAS      1.85      2.23

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
3	F	44.30	A	
2	PSC	26.48	B	
1	PSN	21.19	C	

FACTEUR 2 : TRAITEMENT

NOMBRE DE MOYENNES	2	3	4	5
VALEURS DES PPAS	2.39	2.88	3.18	3.39

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
1	T	59.49	A	
2	TE	32.63	B	
5	A	25.17	C	
3	S	19.63	D	
4	L	16.38	E	

INTER F1.2 : SOL-TRAITEMENT

NOMBRE DE MOYENNES	6	7	8	9	10	11	12	5
VALEURS DES PPAS	6.15	6.39	6.58	6.75	4.13	4.99	5.50	5.87
					6.90	7.04	7.16	

NOMBRE DE MOYENNES	13	14	15
VALEURS DES PPAS	7.26	7.36	7.46

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
3	1	F -T	87.64	A	
2	1	PSC-T	52.49	B	
3	2	F -TE	43.91	C	
1	1	PSN-T	38.33	D	
3	5	F -A	35.65	D	
2	2	PSC-TE	30.97	E	
3	3	F -S	28.92	E	F
3	4	F -L	25.40	F	F G
1	2	PSN-TE	23.00	G	G H
2	5	PSC-A	19.97	H	H H
1	5	PSN-A	19.88	H	H H
2	3	PSC-S	18.85	H	H
1	4	PSN-L	13.63	I	I
1	3	PSN-S	11.13	I	I
2	4	PSC-L	10.10	I	I





FACTEUR 2 : TRAITEMENT

NOMBRE DE MOYENNES	2	3	4	5
VALEURS DES PPAS	122.37	147.65	162.87	173.76

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
1	T	1480.67	A	
2	TE	1206.89	B	
3	S	786.56	C	
4	L	461.11		D
5	A	385.44		D

INTER F1.2 : SOL-TRAITEMENT

NOMBRE DE MOYENNES	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12			
VALEURS DES PPAS	211.96	255.73	282.10	300.97
315.62	327.58	337.65	346.36	354.00
				360.82
				366.96

NOMBRE DE MOYENNES	13	14	15
VALEURS DES PPAS	372.55	377.68	382.41

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
3	1	F -T	2400.00	A	
3	2	F -TE	1896.67	B	
2	1	PSC-T	1185.33		C
3	3	F -S	1090.67		C D
2	2	PSC-TE	1000.33		C D E
2	3	PSC-S	972.33		C D E
1	1	PSN-T	856.67		D E
1	2	PSN-TE	723.67		D E
3	4	F -L	568.67		E F
2	4	PSC-L	452.33		F G
2	5	PSC-A	434.67		G
3	5	F -A	379.00		G
1	4	PSN-L	362.33		G
1	5	PSN-A	342.67		G
1	3	PSN-S	296.67		G

## BIBLIOGRAPHIE:

- BALESDENT J., J.-P. PETRAUD, et C. FELLER . 1991 . Effets des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. *Science du Sol* 29 : 95-106.
- BREMNER J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. *Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy* 9 : 1324-1345. Am. Soc. of Agron.
- CAMERON R.S. and POSNER A.M. 1979. Mineralisable organic nitrogen in soil fractionated according to particle size. *J. Soil Sci.* 30 : 565-577.
- CATROUX G. 1988. Notions de protection physique et chimique de la matière organique des sols. Méthodes d'étude. Communication Groupe d'Etude de la Matière Organique des Sols. DIJON .
- CATROUX G. and SCHNITZER M. 1987. Chemical, spectroscopic, and biological characteristics of the organic matter in particle size fractions separated from an Aquoll. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51 : 1200-1207.
- CHAUSSOD R. et NICOLARDOT B. 1982 . Mesure de la biomasse microbienne des sols cultivés .I. Approche cinétique et estimation simplifiée du carbone facilement minéralisable. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 19(4) : 501-512.
- CHICHESTER F.W. 1969. Nitrogen in soil organo-mineral sedimentation fractions. *Soil Sci.* 107 : 356-363.
- CHICHESTER F.W. 1970. Transformations of fertilizer nitrogen in soils. II. Total and  $N^{15}$ -labelled nitrogen of soil organo-mineral sedimentation fractions. *Plant Soil* 33 : 437-456.
- CHRISTENSEN B. T. 1985. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. *Acta Agric. Scand.* 35: 175-187.
- CHRISTENSEN B. T. 1987. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19 : 429-435.
- DJEGUI N., DE BOISSEZON P., GAVINELLI E. 1992. Statut organique d'un sol ferrallitique du Sud Bénin sous forêt et différents systèmes de culture. *Cahiers de l' ORSTOM. sér. Pédol.* 27 : 5-22.
- DJEGUI N. 1992. Matière Organique et Azote dans les sols cultivés sur terres de barre (BENIN). Thèse de docteur - ingénieur, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- DUCHAUFOR P. et JACQUIN F. 1963. Extraction et dosage des composés humiques. *Ann. Agr.* 885-918.

- FELLER C. 1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols: application aux sols tropicaux, à textures grossières, très pauvres en humus. Cahiers de l' ORSTOM. sér. Pédol. 17 : 339-346.
- FELLER C., BURTIN G., GERARD B. et BALESSENT J., 1991a. Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêt et limites. Science du Sol, 29 : 77-93.
- FELLER C.,FRISCH E., POSS R. et VALENTIN C. 1991b. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). Cahiers de l' ORSTOM, sér. Pédol., 26 : 25-36.
- GREGORICH E. G. 1989. The effects of texture on the stabilisation and physical protection of organic matter in soil. Ph.D. thesis, The Faculty of Graduate Studies, University of Guelph, Ontario, Canada.
- GUIRAUD G. 1984. Contribution du marquage isotopique à l'évaluation des transferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante. Thèse de docteur es sciences. Université Pierre et Marie Curie. Paris 6.
- LOWE L. E. and HINDS A. A. 1983. The mineralization of nitrogen and sulfur from particle size separates of gleysolic soils. Can. J. Soil Sci. 63 : 761 -766.
- OLSEN A.R.S., ØIEN A., BAERUG R., and LYGSTAD I. 1974. Studies on soil nitrogen. II. Anaerobic incubation of soil in potassium chloride solution. Acta Agric. Scand. 24 : 217-221.
- STANFORD G., and SMITH S.J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36 : 465-472.
- STEWART B.A., PORTER L.K. and JOHNSON D.D. 1963. Immobilization and minéralization of nitrogen in several organic fractions of soil. Soil Science society Proceedings.
- WARING S.A., and BREMNER J.M. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature 201 : 951-952.

## RESUME

ROMERO Jean-José

Mémoire présenté pour l'obtention du Certificat d' Etudes Supérieures Agronomiques.

*"Contribution à la minéralisation du carbone et de l'azote des matières organiques associées aux fractions granulométriques d'un sol ferrallitique. Effet du mode de gestion des terres."*

L'étude a été réalisée sur un sol avec deux pratiques culturales: palmeraie sol nu (PSN) et palmeraie sol couvert (PSC). Le même sol sous forêt (F) a servi de comparaison.

Un fractionnement physique (tamisage à l'eau et sédimentation) a permis de séparer trois fractions :

S > 50  $\mu\text{m}$ , 0.2  $\mu\text{m}$  < L < 50 $\mu\text{m}$  et A < 0.2 $\mu\text{m}$ .

Le suivi de la minéralisation de l'azote et du carbone des fractions ( 20 semaines) a montré que les deux sols cultivés se différencient par leur fraction grossière et que le sol sous forêt se différencie du sol cultivé couvert surtout par ses fractions fines.

Le rapport C/N a mis en évidence des différences qualitatives entre les fractions et les modes de gestion des sols.