

TABLEAU N° 18 : CALCUL DES INDICES I<sub>N</sub>

TRAITEMENTS	TEMPS D'INCUBATION				
	-24	0	+7	+14	-28
SOL COLONNE N° 5 (sol contenant les racines)					
- Incubation					
N minéral	308 %	308 %	346 %	338 %	369 %
--N org. K2S04	140 %	200 %	n - d	110 %	200 %
- Fumigation					
N minéral	308 %	308 %	369 %	362 %	400 %
--N org. K2S04	140 %	200 %	n - d	110 %	n - d

\* soit une homogénéisation du marquage  $^{14}\text{C}$  de la matière organique du sol.

\* soit une diminution de l'importance du compartiment fortement marqué, dont l'existence a été évoqué auparavant.

Au cours de l'incubation suivant la fumigation, la mesure de la biomasse microbienne, calculée comme précédemment (Tableau IV.II.5. en annexe) donne les résultats suivants :

$$\text{Biomasse C au K près} = (401,5 - 320,0) / (435,1 - 401,5) = 47,90 \text{ mg C/kg de sol}$$

$$\text{Biomasse } ^{14}\text{C (k.Bq)} = 20,937$$

$$\text{R.A.S. de la Biomasse} = 20,937 / 47,90 = 437,00 \text{ kBq/g de C microbien}$$

L'estimation de la biomasse microbienne au coefficient K près, aboutit, dans ce cas à une valeur légèrement inférieure (47,90 mg C/kg) à celle estimée pour le sol de la colonne N° 5 (58,20 mg C/kg). Dans ce dernier cas, le carbone de cette biomasse microbienne possède une R.A.S. inférieure (339,7 kBq/g C) à celle mesurée dans le cas de la colonne N° 4 (437 kBq/g C)

Ceci indique que l'importance du compartiment marqué de la colonne 5 est inférieure à celle dans le cas de la colonne 4.

#### b) Minéralisation de l'azote au cours de l'incubation (Tableau IV-II-6)

Il y a, jusqu'au 24<sup>ème</sup> jour de l'incubation, à la fois une augmentation de la quantité de  $\text{NO}_3^-$  et de  $\text{NH}_4^+$ . Puis, apparaît une baisse de la quantité d'azote ammoniacal et une croissance de celle d'azote nitrique.

L'excès isotopique de l'azote minéral croît légèrement de 0,80 % à 0,90 %.

L'azote organique contenu dans l'extrait  $\text{K}_2\text{SO}_4$  augmente légèrement, alors que son excès reste stable.

Par ailleurs, la fumigation provoque d'une part un arrêt de la nitrification, et d'autre part une baisse, entre le 7<sup>ème</sup> et 24<sup>ème</sup> jours suivant la fumigation, de la quantité d'azote ammoniacal (30,54 mg/kg de sol à 26,46 mg/kg de sol). Il y a probablement une réorganisation de l'azote minéral. On peut penser qu'il existe une première phase de minéralisation de composés à C/N bas, puis une attaque microbienne de produits plus stables entraînant une immobilisation passagère. La mesure de la biomasse N, se situant juste avant cette période, est donc perturbée par ce phénomène, il est donc impossible d'interpréter ces chiffres en terme de biomasse.

Cependant, les quantités d'azote total et de  $^{15}\text{N}$  libérées après la fumigation sont supérieures à celles mesurées lors de l'incubation : il apparaît que malgré les difficultés évoquées quant à l'estimation de la biomasse, celle-ci alimente l'azote minéral obtenu après la fumigation.

\* incubation : N total = 40,20 mg N/ kg de sol .  $^{15}\text{N}$  = 0,36 mg/ kg de sol

\* fumigé : N total = 52,38 mg N/ kg de sol .  $^{15}\text{N}$  = 0,41 mg/ kg de sol

Le calcul des différentes valeurs de  $I_{\text{N}}$ , indique que l'hétérogénéité de marquage du matériel de la colonne 4 (tableau N° 19) est supérieure à celle constatée sur celui de la colonne 5 (tableau N° 18).

Nous avons mis en évidence, dans le chapitre précédent, que lors de la période de conservation, les racines du système sol-racines de la colonne N° 5 libéraient leur azote plus vite que le sol. Donc, afin de tenter de mettre en évidence le rôle de ces racines dans la stimulation de l'activité microbienne, nous allons examiner les résultats concernant d'une part l'incubation du sol seul et ceux de la fraction inférieure à 200  $\mu\text{m}$  d'autre part.

#### II.2.2. Le sol tamisé à 2 mm.

Nous avons pratiqué, sur ce sol, un tamisage à 2 mm, afin d'empêcher les racines grossières de participer à la production du C -  $\text{CO}_2$  et de l'azote minéral.

Les caractéristiques du sol, ainsi obtenu, appelé «sol seul», sont présentées en annexe (Tableau N° IV.I.3. en annexe).

En raison des différences existant entre le sol total de la colonne N° 5 et celui-ci, nous ne comparerons entre eux que les résultats issus des incubations du sol de la colonne N° 4.

##### a) $\text{CO}_2$ dégagé au cours de l'incubation (Tableau N° IV.II.5.1 et IV.II.8)

Ces tableaux font ressentir

Ces tableaux font ressortir que la quantité de  $\text{CO}_2$  dégagée, par le sol seul, est moindre que celle dégagée par le sol comprenant les racines, alors que la quantité de carbone total est voisine dans les deux cas (sol total : 13,50 g de C/kg de sol ; sol seul 13,40 g de C/kg de sol - annexe IV-I-3). La présence de racines enfouies stimule l'activité minéralisatrice de la microflore. Cependant, si l'on rapporte la quantité de  $^{14}\text{C}$  respirée, en fonction de la quantité de départ (Figure N° 13), nous constatons que le sol seul respire, en proportion plus de  $^{14}\text{C}$  que le sol total.

Les valeurs de  $I_{\text{C}}$  calculées (Tableau IV.II.7. en annexe) montrent que la matière organique de cette fraction, débarrassée des racines grossières, est enrichie en  $^{14}\text{C}$  de façon hétérogène.

TABLEAU N° 19 : CALCUL DES INDICES I<sub>N</sub>

TRAITEMENT	TEMPS D'INCUBATION en jours				
	-24	0	+7	+14	+28
SOL COLONNE N° 4					
- Incubation					
N minéral	675 %	667 %	683 %	800 %	750 %
--N org. K <sub>2</sub> S <sub>04</sub>	40 %	190 %	210 %	210 %	220 %
- Fumigation					
N minéral	675 %	667 %	650 %	717 %	650 %
--N org. K <sub>2</sub> S <sub>04</sub>	40 %	190 %	210 %	140 %	250 %

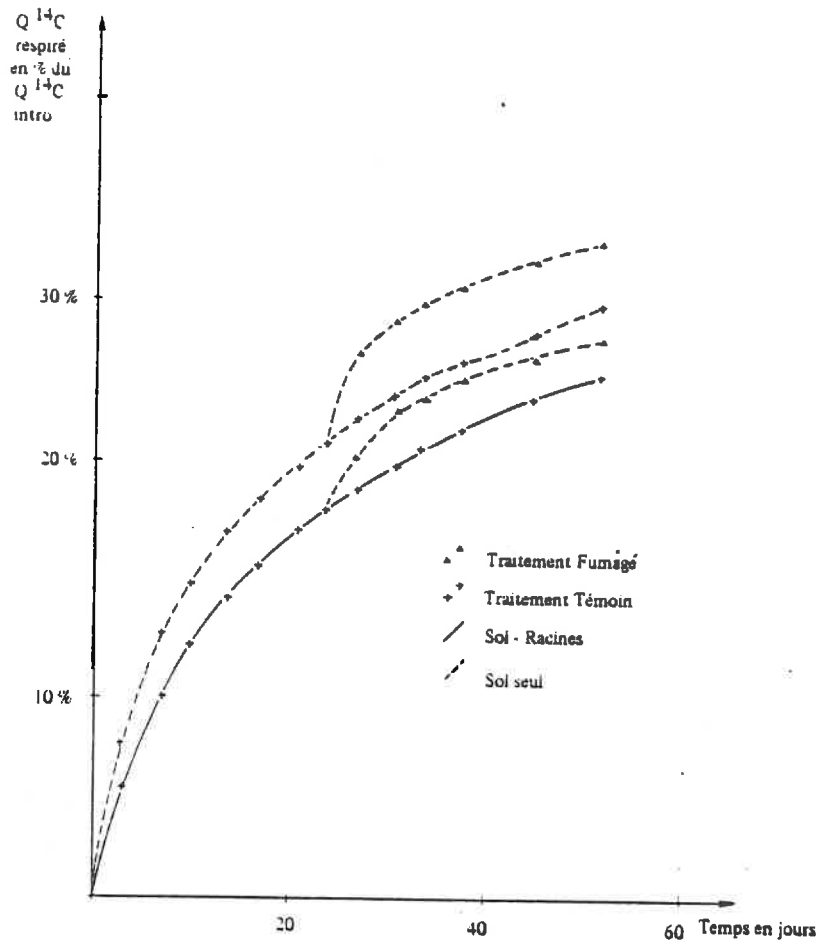
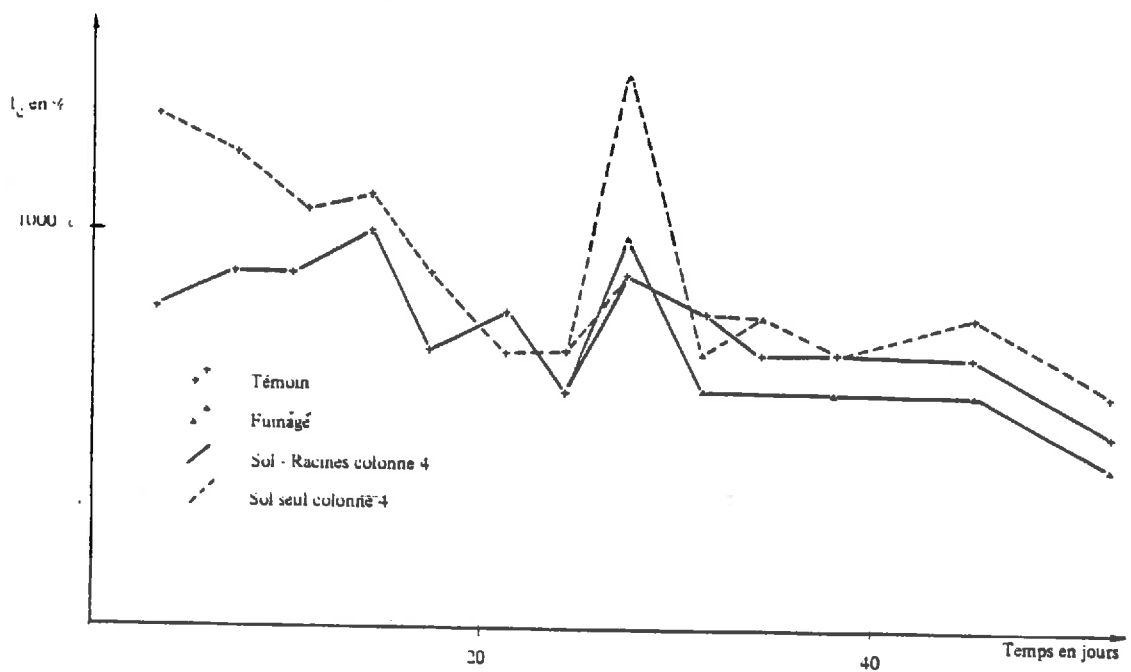


Figure N° 13 :  $^{14}\text{C-CO}_2$  respiré au cours de l'incubation de la colonne 4 (exprimé en % du  $^{14}\text{C}$  de départ)



R4 Nous n'avons fait figurer que les premières valeurs du Traitement Sol seul Fumagé

Figure N° 14 :  $I_C = f(t)$

De plus, nous constatons, Figure 14, une différence, durant les deux premières semaines, entre les valeurs ainsi calculées pour les deux traitements (avec et sans racines). Au cours de cette période, les racines présentes ne contribuent pas encore à la formation du CO<sub>2</sub>. Il faut un temps de latence, qui est estimé à environ 30 jours (GAUR et al 1971 ; MARTENS 1985), pour permettre à la microflore de coloniser le matériel enfoui ; lors d'un apport d'un substrat énergétique tel que le glucose, cette période est réduite à 3 jours (SHIELDS et PAUL 1973).

Au-delà de cette période, les valeurs obtenues par ce calcul sont identiques dans les deux traitements avec et sans racines. Le sol enrichi en racines a donc atteint un équilibre comparable à celui du sol seul.

La mesure de la biomasse microbienne effectuée sur ce sol seul, donne les résultats suivants : (annexe IV-II-8)

Biomasse microbienne (au K près) C = 41,40 mg C/kg de sol

R.A.S. DE LA BIOMASSE microbienne = 347,00 Bq/g de C. microbien

Si l'on compare ces valeurs à celles obtenues sur le sol total, nous pouvons voir que la présence de racines (340 mg C racinaire/ kg de sol) induit une augmentation de 15 % de la biomasse C (41,40 mg C/ kg de sol et 47,90 mg C/ kg de sol . page 76).

On peut calculer la R.A.S., y, de ces 6,50 mg de C microbien supplémentaires développés en présence de racines, en posant :

$$41,40 * 347 + 6,50 * y = 47,90 * 437$$
$$y = 1010 \text{ kBq/gC}$$

La R.A.S. du carbone de ce surplus de biomasse microbienne est inférieure à celle du carbone des racines ajoutées (2845 kBq/gC), et supérieure à celle du carbone du sol (26,30 kBq/gC). Cette biomasse s'est donc développée aux dépens à la fois des racines et de la matière organique du sol. Ce constat est illustré Figure N°14, où la valeur de I<sub>C</sub> calculée après la fumigation du sol contenant les racines est inférieure à celle obtenue dans le cas du sol seul.

#### b) Minéralisation de l'azote au cours de l'incubation (Tableau IV.II.9.)

La quantité d'azote minéralisé au cours de l'incubation du sol débarrassé des racines grossières (Tableau IV.II.9.) est supérieure à celle mesurée lors de l'incubation du sol total (Tableau IV.II.6.). Les racines provoquent donc une immobilisation de l'azote minéral. Cependant, l'excès isotopique de cet azote minéral, est supérieur en présence de racines qu'en leur absence (respectivement 0,90 % et 0,83 %).

De plus, sans racines, la quantité d'azote organique contenu dans l'extrait K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> est plus faible et possède un excès isotopique inférieur à celui mesuré lors de l'incubation du sol contenant les racines.

En résumé, la présence de racines favorise, au cours de l'incubation, l'immobilisation de l'azote minéral formé, tout en provoquant la libération d'une fraction organique, extraite par le  $K_2SO_4$ , plus marquée que celle obtenue sans racines.

Au cours de la fumigation du sol seul, en dépit du blocage de la nitrification, la quantité d'azote minéralisée durant la période suivant la fumigation, est plus importante que celle mesurée, pour le même traitement, lors de l'incubation (respectivement 57,17 mg N/kg de sol et 45,96 mg N/kg de sol), avec cependant un excès inférieur (respectivement 0,72 % et 0,83 %). Il y a à la fois, durant l'incubation suivant la fumigation du sol contenant des racines, une première phase d'immobilisation puis une phase de minéralisation qui libère des produits plus marqués que ceux obtenus à partir du sol seul.

La mesure de la biomasse est comme précédemment perturbée par ce phénomène.

Nous venons donc de voir, que le sol débarrassé de racines grossières, possède un niveau de biomasse (estimé uniquement par l'intermédiaire des mesures de  $C-CO_2$ ) inférieur à celui du sol total. De plus, nous avons montré que la matière organique de ce sol est encore formée de constituants dont le temps moyen de résidence (C et N) est différent.

Afin d'aller plus loin dans la recherche d'une fraction organique marquée de façon homogène, et de réduire la contribution des fins débris racinaires à la formation du carbone et de l'azote minéralisé durant l'incubation, nous avons mis à incuber la fraction de sol inférieure à 200  $\mu m$ .

### II.2.3. La fraction de sol inférieure à 200 $\mu m$

Il faut remarquer que si cette fraction granulométrique est exempte de débris racinaires visible à l'oeil nu, différents auteurs et notamment DUQUET (1985) ont montré que celle-ci comporte encore de très fins fragments racinaires.

#### a) $CO_2$ dégagé au cours de l'incubation (Tableau IV.II.10. en annexe)

Au cours des 28 jours d'incubation, la quantité de  $C-CO_2$  dégagée par cette fraction est en proportion moindre que celle émise durant la même période par le sol contenant les racines (respectivement 1,50 et 2,50 %). De plus, le  $^{14}C-CO_2$  recueilli représente, dans ce cas, 26 % de la quantité initiale alors qu'il était, pour la même période de 20,70 % pour le sol et 24,10 % par le sol débarrassé des racines grossières.

Le calcul des valeurs de  $I_C$  (Tableau IV.II.11. en annexe) donne des résultats supérieurs à ceux obtenus pour les deux traitements précédents (avec et sans racines).

Par ailleurs, la fumigation provoque un accroissement de la quantité de  $C-CO_2$  et de celle de  $^{14}C-CO_2$  dégagé, l'estimation de la biomasse microbienne donne donc les résultats suivants :

Biomasse C=103 mg C/ kg de fraction

R.A.S. DE LA BIOMASSE=274,00 kBq/g de C microbien

Cette fraction granulométrique, représente pondéralement 72 % du sol seul, dans lequel la biomasse a été évaluée, au coefficient K près, à 41,40 mg C/ kg de sol.

Donc, pour 1 kg de sol, nous avons 0,720 kg de fraction inférieure à 200  $\mu$ m et ainsi une biomasse estimée à :

$$103 * 0,72 = 74,60 \text{ mg C microbien}$$

Cette valeur est supérieure à celle mesurée sur le sol total (41,40 mg C microbien). Nous pouvons émettre trois hypothèses pour expliquer un tel résultat :

\* les vapeurs de chloroforme, appliquées sur le sol total, ne permettent pas de tuer la totalité de la biomasse.

\* le coefficient K est différent si on l'estime à partir du sol total ou d'une fraction granulométrique de ce même sol. Dans notre cas,  $K_{st}$  (sol total) est supérieur au  $K_{i,200}$  (de la fraction inférieure à 200  $\mu$ m), ce qui signifie que la proportion de microorganismes, tués par les vapeurs de chloroforme, effectivement minéralisée, est plus importante dans la fraction inférieure à 200  $\mu$ m. Celle-ci exerce donc un effet protecteur moindre que le sol total vis-à-vis des mécanismes de minéralisation de la matière organique non stabilisée dans des complexes argilo-humiques.

\* le fractionnement granulométrique a libéré des composés facilement minéralisables, non microbiens qui viennent perturber la mesure de biomasse microbienne.

#### b) Minéralisation de l'azote au cours de l'incubation (Tableau IV.II.12.)

Au cours de l'incubation, l'azote minéral extrait par  $K_2 SO_4$ , est en constante augmentation, avec cependant, un excès isotopique stable (0,50 %). Dans cet extrait, la quantité d'azote organique, dont l'excès isotopique varie en dents de scie, s'accroît durant cette incubation.

Après la fumigation, la quantité d'azote minéralisé et plus particulièrement celle d'azote ammoniacal, est supérieure à celle mesurée au cours de l'incubation. La quantité d'azote organique extrait après cette fumigation est proche de celle obtenue lors de l'incubation.

En raison des remarques concernant l'estimation du coefficient K, nous ne transposerons pas ces résultats en terme de biomasse microbienne N.

En comparant ces résultats à ceux mesurés par les fractions issues de l'hydrolyse acide (Chapitre I), nous constatons que l'azote de ces derniers possède un excès isotopique inférieur à celui de l'azote minéral et organique des extraits  $K_2SO_4$  de ces incubations.

Il existe donc, dans la fraction inférieure à 200  $\mu m$ , des constituants, échappant à nos méthodes de fractionnement, qui alimentent préférentiellement le métabolisme microbien.

### II.3. Conclusions

En premier lieu, nous mettrons l'accent sur les difficultés d'interpréter les résultats en terme de biomasse N. En effet, nous avons vu que, dans bon nombre de cas, les phénomènes de réorganisation de l'azote, ne nous permettent pas d'estimer une biomasse N. De plus, il est apparu que le coefficient K, s'il est fonction du type de sol (NICOLARDOT 1983), semble aussi être lié à la fraction granulométrique du sol.

En second lieu, nous avons montré que la présence de racines accroît la quantité de  $C-CO_2$  dégagé et augmente le niveau de la biomasse C. Il y a, en effet, à la fois un développement d'une biomasse aux dépens du matériel enfoui, et une stimulation de la biomasse du sol.

Cependant, nous n'avons pas pu déceler l'influence des racines sur l'azote minéralisé durant l'incubation. Ce résultat est quelque peu différent de celui obtenu lors de la culture au champ, au cours de laquelle nous avons montré que l'azote racinaire joue un rôle important dans la constitution des percolats.

Ceci peut en partie s'expliquer par le fait qu'il ne nous est pas possible d'affirmer que la fraction inférieure à 200  $\mu m$  soit totalement dépourvue de racines très fines. En fait, nous n'avons pu évaluer l'influence de ces racines à la formation du carbone et de l'azote minéralisés au cours des incubations.

### CHAPITRE III - «ARRIERE-EFFET» DE LA LITIERE RACINAIRE DE MAÏS

Nous venons de voir dans le chapitre précédent, que, dans nos conditions, la présence de matière organique enfouie (des racines) accroît la quantité de CO<sub>2</sub> dégagé lors d'une incubation.

De plus, nous avons montré qu'une culture et plus particulièrement, la présence de racines en cours de croissance, exerce un effet dépressif sur ce volume de CO<sub>2</sub> respiré.

Nous allons maintenant étudier, à l'aide de bilans quantitatifs, «l'arrière effet» d'une litière racinaire doublement marquée (<sup>14</sup>C, <sup>15</sup>N). Pour cela, nous avons mis en place deux cultures :

- \* une culture de maïs, dont les résultats seront exposés dans le premier paragraphe.
- \* une culture de ray-grass, qui va permettre de préciser et compléter les conclusions faites à l'issue de la culture précédente.

#### III.1. Etude de l'arrière effet sur une culture de maïs

Lors d'une culture au champ, nous avons montré que l'organisation racinaire est, dans ces conditions, au moins égale à l'organisation microbienne. Par ailleurs, HETIER et al (1980) ont montré, à la suite d'une culture effectuée en chambre de végétation (où le drainage est nul), que l'organisation racinaire est, dans ce cas-là supérieure à l'organisation microbienne.

Nous allons exposer, dans ce chapitre, les résultats obtenus à la suite d'une culture de maïs effectuée afin d'étudier la stabilité de ces résidus racinaires.

##### III.1.1. Culture de maïs en pot

Nous avons utilisé le sol (contenant les racines) de la colonne N° 5, dont les caractéristiques sont données dans le Chapitre I. Ce sol n'a reçu aucun apport supplémentaire d'azote minéral. Le protocole détaillé de la culture est donné en Annexe Mg.

##### a) Bilan après la culture (Tableau N° 20)

Les chiffres du Tableau N° 20 indiquent qu'il n'y a pas eu de pertes de <sup>15</sup>N (par dénitrification et/ou volatilisation) au cours de cette culture : la culture s'est donc déroulée dans des conditions d'aération optimale, sans engorgement.

Voir Tableau N° 20 page suivante.

Les parties aériennes ont utilisé 14,60 % de l'azote <sup>15</sup> présent au départ de la culture dans le système sol-racines. Cette quantité correspond à 1,20 % de celle apportée lors de la culture initiale.

TABLEAU N° 20.: BILAN DE LA CULTURE

	POIDS g	% N	QN mg	E %	Q <sup>15</sup> N µg	% C	QC mg	R.A.S. kBq/g C	Q <sup>14</sup> C Bq
SOL TOTAL DEPART	1000	0,17	1700	0,133	2261	1,60	16000	42,0	672000
PERTES POUR LE SYSTEME SOL-RACINES									
* EXPORTATION PARTIES AERIENNES	7,74	0,93	72,00	0,460	330,10 (14,60 %)	41	3175,40	0,213	675
* RESPIRATION	/	/	/	/	/	/	792,60	151,800	120317
SYSTEME SOL-RACINES APRES CULTURE	1000	0,16	1600	0,126	2016,00	1,54	15400	37,300	574420
BILAN					103,80 %				85,60 %

(Entre parenthèses le pourcentage de <sup>15</sup> N utilisé par la plante).

Durant la culture, le sol a perdu 18 % de son carbone  $^{14}\text{C}$  et 5 % de son carbone sous forme de  $^{14}\text{C-CO}_2$ . Nous ne reviendrons pas sur la cinétique de respiration du sol, les résultats ayant déjà été commentés dans le chapitre précédent.

Une partie de ce  $^{14}\text{C-CO}_2$  a pu être photosynthétisé par le jeune plant de maïs qui a crû, durant les sept premiers jours, au contact avec ce gaz respiré. En effet, nous avons mis en évidence, au niveau des parties aériennes, la présence de  $^{14}\text{C}$  (675 Bq/kg de sol). Cette quantité correspond à 40 % du  $^{14}\text{C-CO}_2$  respiré par le sol, si on estime que le  $^{14}\text{C}$  présent à ce niveau ne provient que des réactions de photosynthèse. Cependant, cette proportion représente un maximum et correspondrait à une absorption nulle de carbone. Cette hypothèse n'est pas cohérente avec les expériences évoquées par ailleurs (SPARLING et al 1982) faisant état d'absorption de carbone au niveau des racines dont une partie est transférée aux parties aériennes. En effet, s'il n'y avait aucun transfert interne de carbone, on ne pourrait pas s'expliquer pourquoi près de la moitié du  $^{14}\text{C}$  des parties aériennes se localise dans les graines. Il apparaît donc qu'une partie du  $^{14}\text{C}$  des parties aériennes a été absorbée par les racines, probablement sous forme de petites molécules organiques puis transféré au niveau des parties aériennes.

#### b) Répartition des traceurs dans la plante (Tableau IV.III.1. en annexe)

L'azote des différents organes constituant les parties aériennes, possède des valeurs d'excès isotopiques voisines (de 0,36 % à 0,470 %). La plante a donc eu, au cours de sa croissance de l'azote dont l'enrichissement en  $^{15}\text{N}$  était constant. La plante a donc absorbé soit de l'azote présent dans le sol au départ de la culture, soit que la minéralisation de la matière organique s'est réalisée aux dépens d'une même fraction tout au long de la culture.

Les 2/3 (65 %) de l'azote exporté se situent au niveau des grains, ce qui correspond à 9,50 % de l'azote  $^{15}\text{N}$  de départ.

Au cours de cette culture, nous remarquons que l'azote organisé par les racines (13,90 mg N/kg de sol) représente 18,50 % de l'azote exporté par les parties aériennes. Cette valeur est proche de celle utilisée dans les calculs de la partie précédente (15 %). Les racines ont utilisé 23,50 % du  $^{15}\text{N}$  initialement présent dans le système sol-racines. Leur azote possède une valeur d'excès isotopique 8 fois supérieure à celle de l'azote des parties aériennes (respectivement 3,82 % et 0,45 %). Ce résultat est tout à fait différent et tout à fait nouveau : lors de l'apport d'un engrais minéral azoté, l'azote des parties aériennes est plus enrichi en  $^{15}\text{N}$  que celui des racines (GUIRAUD 1984). Au départ de notre culture, 30 % de l'azote  $^{15}\text{N}$  initial est présent sous forme de racines anciennes. L'azote minéral ne représente que 13 % de l'azote  $^{15}\text{N}$  de départ. Il semble donc que la présence, en quantité non négligeable, de résidus organiques soit responsable des résultats observés.

En effet, si l'on s'intéresse aux résultats du carbone, qui représente le traceur privilégié de la matière organique, nous constatons que 44 % du  $^{14}\text{C}$  introduit se retrouve dans les racines ayant crû au contact du sol. Ce carbone racinaire possède une R.A.S. (751 kBq/g C) nettement supérieure à celle du carbone du sol total (42 kBq/g C) ainsi qu'à celle du carbone respiré (151,80 kBq/g C).

Nous constatons donc, que les racines ont concentré à leur niveau des quantités d'azote  $^{15}$  et de carbone  $^{14}$  beaucoup plus importantes, en proportion, que celle exportée par les parties aériennes.

Pour essayer d'expliquer ce phénomène, nous pouvons mettre à profit les résultats obtenus à partir des mesures effectuées sur les racines qui ont crû hors du sol. Nous constatons, que l'azote de ces racines possède un excès isotopique (0,40 %) voisin de celui de l'azote exporté au niveau des parties aériennes, et donc nettement inférieur à celui de l'azote des racines du sol (3,82 %).

De plus, le R.A.S. du carbone de ces racines «hors sol» (41 kBq/g C), est nettement supérieure à celle des parties aériennes, mais inférieure à celle des racines du sol.

Il apparaît donc, à l'examen de ces résultats, qu'il existe au niveau des racines du sol (à leur périphérie ou dans leurs structures), des constituants fortement marqués ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ).

Nous pouvons émettre trois hypothèses explicatives :

- 1) la présence de débris d'anciennes racines ( $E\% = 6,64$  et de R.A.S. = 1636 kBq/g C), dans la rhizosphère des nouvelles racines. Ces débris ont par ailleurs, résisté au lavage à l'eau des racines.
- 2) l'existence d'un manchon microbien (mycorrhizes) qui a consommé dans un premier temps les vieilles racines avant de coloniser les nouvelles.
- 3) l'absorption de molécules organiques doublement marquées ( $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ) qui ne seraient pas transférées vers les parties aériennes. Des chercheurs (SPARLING et al 1982) ont montré que cette absorption de molécules organiques pouvait, en partie, expliquer, la baisse du volume de  $\text{CO}_2$  dégagé par le sol cultivé (en comparaison à celui respiré par un sol nu). Nous avons nous-même constaté cette baisse.

Ces deux dernières hypothèses retiennent tout particulièrement notre attention. Pour tenter d'aller plus loin dans l'explication de ces résultats, nous allons examiner en premier lieu le bilan du fractionnement granulométrique avant et après cette culture, puis ceux d'une seconde culture de maïs.

c) Fractionnement granulométrique (Tableau N° 21, voir page suivante)

TABLEAU N° 21 : COMPARAISON DES FRACTIONS DU SYSTEME SOL-RACINES ISOLEES AVANT ET APRES LA CULTURE DE MAIS EN POT

(résultats exprimés pour 1000 g de sol)

A) AZOTE		FRACTIONS ISOLEES										SOL		TOTAL		
		MATIERES ORGANIQUES FIGUREES					HYDROSOLUBLE					SOL SEUL				
		RACINES IDENTIFIABLES		DEBRIS		SOL SUP. A 200 µ		SOL INF. A 200 µ		SOL SEUL		SOL SEUL		SOL		
		Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	
POIDS g		1,18	1,30	0,68	0,40	315,00	280,00	689,00	710,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	
% N		1,10	1,02	1,03	0,58	0,02	0,01	0,22	0,21	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	
QN mg		13,00	13,30	7,00	2,30	63,00	28,00	1515,80	1491,00	1700,00	1600,00	1700,00	1600,00	1700,00	1600,00	
E %		6,64	3,82	3,84	3,47	0,052	0,050	0,064	0,070	0,133	0,126	0,133	0,126	0,133	0,126	
Q <sup>15</sup> N µg		863,20	508,10	268,80	79,80	32,80	14,00	970,10	1043,70	2261,00	2016,00	2261,00	2016,00	2261,00	2016,00	
B) CARBONE																
		MATIERES ORGANIQUES FIGUREES					FRACTIONS ISOLEES					SOL		TOTAL		
		RACINES IDENTIFIABLES		DEBRIS		SOL SEUL		SOL SEUL		SOL SEUL		SOL				
		Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	Avant cult.	Après cult.	
POIDS g		1,18	1,30	0,68	0,40	1000,00	980,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	
% C		27,70	29,60	30,90	19,15	1,60	1,32	1,60	1,32	1,60	1,54	1,60	1,54	1,60	1,54	
QC mg		326,90	384,80	210,10	76,60	16000,00	12936,00	16000,00	12936,00	16000,00	15400,00	16000,00	15400,00	16000,00	15400,00	
R.A.S. kBq/g C		1636,00	751,00	571,00	383,00	1,20	13,30	42,00	37,30	42,00	37,30	42,00	37,30	42,00	37,30	
Q <sup>14</sup> C kBq		534,810	288,980	119,970	29,340	19,200	172,050	672,000	574,420	672,000	574,420	672,000	574,420	672,000	574,420	

Nous constatons, tout d'abord, que la culture, où aucun apport supplémentaire d'azote engrais n'a été effectué, se solde par une perte de 100 mg N/kg de sol. L'extrapolation de ce résultat à l'hectare n'est cependant pas possible en raison du faible volume exploité par les racines.

L'influence de la culture est très peu perceptible au niveau de la répartition d'azote  $^{15}\text{N}$  dans les fractions granulométriques du sol. Cependant, les chiffres de ce tableau indiquent que la fraction débris a fortement évolué au cours de cette culture en perdant les deux tiers de son azote  $^{15}\text{N}$  et de son N total et presque la moitié de son poids. Si une partie de cet azote est venue enrichir la fraction fine, qui voit ainsi son excès isotopique croître légèrement, le reste a été absorbé par la plante. Cette fraction joue donc un rôle prépondérant dans l'explication des phénomènes évoqués antérieurement. En raison d'une part du faible marquage  $^{15}\text{N}$  de la fraction inférieure à 200  $\mu\text{m}$ , et d'autre part de la technique analytique utilisée, il ne nous a pas été possible de pousser plus loin ce fractionnement.

En ce qui concerne le carbone, il faut souligner le transfert de carbone marqué qui a eu lieu des racines et des débris vers la matière organique : en effet, la quantité de carbone  $^{14}\text{C}$  de la plante 200 - 2000  $\mu\text{m}$  passe de 19,200 kBq/g C à 172,050 kBq/g C.

### III.1.2. Culture de maïs en colonne de verre

Le détail du protocole expérimental apparaît dans l'annexe M<sub>8</sub> bis.

#### a) Résultats

Nous ne présentons que les résultats concernant l'azote  $^{15}\text{N}$  car nous n'avons pas quantifié le C-CO<sub>2</sub> respiré.

Avant de nous intéresser plus particulièrement à la plante, nous allons brièvement examiner les résultats du bilan quantitatif des différents traitements de cette culture (Tableau N° 22).

Voir Tableau N° 22 page suivante.

TABLEAU N° 22 : BILAN DE LA CULTURE DANS LES DIFFERENTS TRAITEMENTS

TRAITEMENT	QUANTITES INTRODUITES $\mu\text{g } ^{15}\text{N}$	% $^{15}\text{N}$ RECUPERE	
		DANS LA PLANTE	AU TOTAL
TEMOIN	87,20	106,90	106,90
SABLE - RACINES GX	751,90	8,80	75
SABLE - RACINES $^{14}\text{C } ^{15}\text{N}$	1902,50	1,40	62
SOL	173,30	27,10	100
SOL - RACINES $^{14}\text{C } ^{15}\text{N}$	2357,50	7,70	75

Nous constatons, que mis à part le traitement sol et le témoin où tout l'azote 15 introduit est retrouvé, les pertes sont de l'ordre de 15 % à 38 %. Celles-ci peuvent avoir différentes origines :

\* mauvaise homogénéité des échantillons.

\* des pertes par dénitrification dues à des phases d'anaérobiose passagères.

Après ces quelques précisions, nous allons examiner les résultats concernant la plante.

*Répartition du carbone et de l'azote marqués dans la plante  
(Tableaux IV.III.2. à 5. en annexe).*

Nous envisagerons, dans un premier temps, les résultats  $^{15}\text{N}$  traitement par traitement, puis ceux concernant le  $^{14}\text{C}$ .

#### Le traitement Témoin

Dans ce traitement, la totalité de l'azote 15 apporté a été utilisée (C.R.U. 107 %). Cependant, l'excès de l'azote exporté par les parties aériennes, ainsi que celui de racines, est inférieur à celui de l'azote minéral apporté (2,18 %). Nous pensons donc, que l'azote contenu dans la graine est venu diluer l'azote 15 absorbé. Nous pouvons, en utilisant le N.d.f. calculer la contribution de la graine à l'élaboration des parties (Tiges + Feuilles, 1ère feuilles, racines hautes et Racines basses) du jeune plant de maïs.

Voir Tableau N° 23 page suivante.

TABLEAU N° 23 : PROVENANCE ET REPARTITION DE L'AZOTE DANS UN JEUNE PLANT DE MAIS

TRAITEMENT	QUANTITE INTRODUITE	PARTIE DE LA PLANTE ETUDIEE	POIDS (g) MATIERE SECHE		E %	N.d.f.f.	QN TOTAL mg	QN ENGR. mg	QN GRAINE mg
			Moyenne	C.V. (%)					
		T - F	0,46	15	1,30	59,60 % (53,27 %)	4,80	2,86	1,94
	E % 2,18	1 <sup>ère</sup> F	0,10	8	0,50	22,90 %	1,00	0,23	0,77
		R h <sup>tes</sup>	0,19	16	0,92	42,20 %	1,50	0,63	0,87
	87	R b <sup>sses</sup>	0,11	36	1,01	46,30 %	1,20	0,56	0,64
TEMOIN		TOTAL	0,86				8,50		4,22

(entre parenthèses le N.d.f.f. des parties aériennes)

C.V. : coefficient de variation

Ainsi, la majeure partie de l'azote de la graine se localise, au bout des 52 jours de culture, au niveau de la Tige et Feuilles hautes.

La quantité totale d'azote contenue dans la graine a été estimée, par ce calcul, à 4,22 mg N, soit une valeur proche de celle que nous avons trouvée en analysant un échantillon représentatif de dix graines (4,30 mg N).

### Traitement Sable-Racines

Nous avons utilisé, dans ce traitement deux lots de racines :

- Un premier lot fraîchement isolé du sol, après une culture de maïs au champ : Racines GX ( $^{15}\text{N}$ ).

- Un second lot qui a séjourné dans le sol pendant 58 mois en chambre froide (Racines  $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ). Nous tenterons, ainsi, de déterminer l'influence de la période de conservation, sur la contribution, de ce dernier lot, à la nutrition de la plante.

Le sable nous a permis d'éviter au maximum les problèmes de pollutions extérieures, tels qu'ils peuvent survenir dans un milieu complexe comme le sol.

#### \*\* Sable - Racines GX.

Dans ce traitement, l'azote des racines basses possède un excès isotopique supérieur à celui de l'azote des Tige + Feuilles (respectivement 1,47 % et 1,00 %).

Le C.R.U. de l'azote des résidus racinaires est 8,80 %, soit une valeur très inférieure à celle estimée dans le traitement Témoin (106,90 %).

Cependant, nous pouvons penser que, contrairement au traitement Témoin, où la plante a à sa disposition dès le départ de la culture, du  $^{15}\text{N}$  minéral, dans ce traitement, l'azote ne peut être absorbé que lorsque les racines ont atteint le compartiment inférieur de la colonne (après environ 15 jours de culture). Ceci peut, en partie expliquer la faiblesse du C.R.U..

Par ailleurs, si l'azote est absorbé sous forme minérale, après la minéralisation des racines enfouies, sa répartition devrait être identique à celle de l'azote minéral du Témoin. Or, nous constatons que le N.d.f.f. des racines est 22 %, alors que celui des parties aériennes est de 15 %. Dans le traitement Témoin, celui des Tiges - Feuilles est de 53 % et celui des racines basses de 46,30 %. Le terme de N.d.f.f. est employé par extension en considérant les racines apportées comme représentant le fertilisant.

Nous pouvons donc tirer un premier enseignement de ce traitement, à savoir, que la présence dans le sol d'azote organique marqué induit une hétérogénéité de marquage  $^{15}\text{N}$  de la plante plus grande que celle constatée lors d'un apport minéral.

### \*\* Sable - Racines $^{14}\text{C}$ $^{15}\text{N}$

La plante a moins utilisé de  $^{15}\text{N}$  que lors du traitement précédent (C.R.U. 1,40 %).

Nous pouvons émettre deux hypothèses pour expliquer ce C.R.U. :

1) Les racines conservées en chambre froide, ne libèrent leur azote qu'après un temps de latence supérieur à celui des racines fraîches (du traitement précédent).

2) Les composés facilement biodégradables de ces racines, ont été consommés au cours de la période de conservation. Au moment de la culture, la microflore n'a à sa disposition que des produits résistants.

Malgré ces constatations, il apparaît que l'azote des nouvelles racines possède un excès toujours supérieur à celui des parties aériennes. Le N.d.f.f. des racines est (8,50 %) supérieur à celui des parties aériennes (1,20 %). Si l'on fait le rapport de ces deux valeurs, 8,50/1,20, on trouve un résultat de 7,08, alors que pour le traitement précédent, il est de 1,46. Nous pouvons donc penser que les deux lots de racines libèrent des composés différents au cours de la culture, ceci en admettant qu'elles aient un marquage homogène.

### Traitement Sol (fraction inférieure à 200 $\mu\text{m}$ )

Le support de culture utilisé est constitué par la fraction inférieure à 200  $\mu\text{m}$ , du sol utilisé pour la culture en pots, mélangée à du sable calibré (supérieure à 200  $\mu\text{m}$ ).

La matière sèche produite dans ce traitement (2,12 g) est supérieure à celle obtenue lors des trois autres traitements (0,86 g). De plus, les différentes parties de la plante possèdent un excès qui varie peu (0,24 à 0,14 %). La différence de ces dernières valeurs d'excès isotopique sont dues essentiellement à l'effet graine, qui est plus sensible au niveau des racines hautes et des premières feuilles. Ces valeurs sont toutefois inférieures à l'excès de l'azote minéral contenu dans cette fraction de sol (0,70 %). Il y a donc eu une minéralisation de composés organiques, peu marqués, durant la culture.

La plante entière a utilisé 27,10 % de l'azote  $^{15}$  du sol soit une valeur supérieure à celle estimée dans les traitements précédents. La majeure partie de l'azote  $^{15}$  absorbé se situe au niveau des parties aériennes.

### Sol - Racines $^{14}\text{C}$ , $^{15}\text{N}$

Le C.R.U. pour la plante entière est, dans ce cas, inférieur à celui du traitement sol seul (respectivement 7,70 % et 27,10 %). Cependant, les quantités d'azote  $^{15}$  introduites d'une part et absorbées d'autre part sont supérieures dans ce traitement.

L'introduction de racines se traduit par une hétérogénéité accrue du marquage  $^{15}\text{N}$  entre les Tiges + Feuilles et les Racines (respectivement, 1,06 % et 1,40 %) par rapport à celle constatée dans le traitement sol seul (E % tige et racines = 0,24 %). Cependant, cette hétérogénéité est moindre que celle constatée lors de l'enfouissement de racines dans le Sable. Nous pensons que l'effet «Sol», qui tend à uniformiser le marquage, vient gommer l'hétérogénéité due aux Racines. Selon l'origine de l'azote organique (matière organique du sol ou racines) et son degré de transformation, celui-ci aura une destinée différente.

L'enfouissement de racines (dans le sable et dans le sol) induit une hétérogénéité de marquage  $^{15}\text{N}$  : l'excès de l'azote racinaire est supérieur à celui de l'azote exporté au niveau des parties aériennes ; lors d'un apport d'azote minéral, l'azote des différentes parties de la plante à un excès voisin. Le soin que nous avons apporté au lavage des nouvelles racines ainsi que leur observation minutieuse, nous permet d'écarter l'hypothèse qui met en jeu les débris racinaires en tant qu'agent de pollution extérieur. Mais la présence de débris racinaires invisibles à l'oeil nu n'est pas à exclure, ainsi que la présence de mycorrhizes. Cette dernière hypothèse pourrait en partie expliquer le déficit en  $^{15}\text{N}$  constaté. En effet, des mycorrhizes ont pu se développer autour des grains de sable et ainsi échnapper à nos mesures.

#### - Résultats $^{14}\text{C}$

Lors d'apport de matière organique marquée au carbone  $^{14}\text{C}$ , nous avons mis en évidence la présence de  $^{14}\text{C}$  dans la plante. De plus, dans chacun de ces cas, le carbone racinaire a une R.A.S. supérieure à celle des parties aériennes.

Mais le piégeage du  $\text{CO}_2$ , respiré par le substrat utilisé, n'a été réalisé de façon exhaustive. Il nous est donc impossible de différencier, dans le  $^{14}\text{C}$  des parties aériennes, la part due à la photosynthèse de celle résultant des phénomènes de translocation de molécules organiques absorbées par les racines.

Il faut tout de même signaler que, dans le traitement Sol - Racines, le gradient de  $^{14}\text{C}$  s'établit dans le sens Racines basses → Parties aériennes. Alors que, dans le cas du sol seul, la quantité de  $^{14}\text{C}$  mis en évidence dans les parties aériennes est voisine de celle des racines.

Ces observations viennent renforcer l'idée d'une translocation différenciée de molécules organiques en fonction de leur degré de transformation dans le sol.

#### b) Conclusions

Bien que les résultats obtenus au cours de cette seconde culture de maïs, nous conduisent aux mêmes conclusions, force est de constater qu'il ne nous a pas été possible de conforter l'une des trois hypothèses émises.

Cependant, nous avons tout de même mis l'accent sur le rôle spécifique, dans la nutrition azotée du maïs, de l'azote minéral ajouté et de l'azote organique.

### III.2. Etude de l'arrière effet sur une culture de Ray-grass

Nous avons mis en place une culture de ray-grass, afin d'une part de conforter, avec une autre plante, les résultats obtenus précédemment et d'autre part de tenter d'appréhender l'absorption spécifique d'azote apporté simultanément sous forme minérale et organique.

Pour cela, nous avons mis en place deux traitements (dont le protocole est donné en Annexe N° Mg ter) .

\* Un Traitement Témoin, T où nous avons employé le sol utilisé dans la culture de maïs (sol de la colonne 5).

\* Un Traitement Fertilisé, F, où nous avons apporté 50 p.p.m. d'azote minéral.

Devant l'impossibilité pratique d'isoler le système sol-racines (doublement marqué  $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ) des parties aériennes, nous n'avons pas pu dresser le bilan  $^{14}\text{C}$  de cette culture.

L'utilisation du ray-grass, nous a permis de réaliser des coupes intermédiaires.

#### III.2.1. Résultats (annexe IV-III-5)

Dans l'exposé des résultats, la matière organique du sol et les débris des racines enfouies ont été regroupés sous le terme sol.

##### a) Les coupes intermédiaires

Les quantités d'azote racinaire, reportées sur les tableaux, représentent le cumul d'azote qu'elles ont absorbé jusqu'à la coupe considérée. Par contre, l'azote des parties aériennes, représente les quantités exportées entre deux coupes.

L'azote racinaire, isolé à la première coupe, a un excès supérieur à celui de l'azote exporté par les parties aériennes (traitement T: E % racines = 1,81; E % P.A. = 0,43 et traitement F: E % racines = 1,55; E % P.A. = 0,31). Cette constatation peut être faite pour les deux coupes suivantes, avec même une légère augmentation de l'excès de l'azote racinaire à la deuxième coupe, alors que l'azote exporté entre chacune des coupes possède une valeur d'excès constante (traitement T = 0,43 % et traitement F = 0,31 %).

En admettant un marquage homogène des racines, nous pouvons donc dire que l'azote racinaire est peu ou pas transloqué vers les parties aériennes.

##### b) Bilan de la culture de ray-grass

En premier lieu, les chiffres du Tableau N° 24 montrent qu'il n'y a pas eu de pertes d'azote 15, par dénitrification et/ou volatilisation au cours de cette culture.

Voir Tableau N° 24 page suivante.

**TABLEAU N° 24 : BILAN DE LA CULTURE DE RAY-GRASS**  
(résultats exprimés pour 1000 g de sol)

	TRAITEMENT T					TRAITEMENT F				
	% N	QN mg	E %	Q <sup>15</sup> N µg	C.R.U.	% N	QN mg	E %	Q <sup>15</sup> N µg	C.R.U.
<b>QUANTITE INTRODUITE</b>		1700	0,133	2260		1750			2260	
<b>BILAN APRES LES TROIS COUPES PARTIES AERIENNES</b>	2,4	84	0,43	361	16,00	2,9	108	0,31	335	14,8
<b>RACINES</b>	n.d.	40	1,33	532	23,50	n.d.	38	1,40	532	23,5
<b>TOTAL PLANTE.....</b>	.....	124	0,72	893	39,50	.....	146	0,59	867	38,3
<b>SOL</b>		1600	0,08	1280		1600		0,08	1280	
<b>QUANTITES RECUPEREES</b>		1724				1746				
<b>BILAN</b>		101	%	%	%	100	%	%	%	%

Nous constatons ensuite, que le C.R.U. des racines (23,50 % dans les deux traitements) est supérieur à celui des parties aériennes (16,00 % dans le traitement T et 14,80 % dans le traitement F). Ces deux dernières valeurs indiquent que l'influence de l'ajout d'azote minéral semble donc se faire ressentir essentiellement sur les exportations d'azote. De plus, comme lors des deux cultures précédentes, l'excès de l'azote racinaire est supérieur à celui de l'azote exporté au niveau des parties aériennes, et cela que nous ayons apporté ou non un surplus d'azote minéral.

### III.3. Discussion : La litière racinaire est-elle une source d'azote pour la plante ?

Nous avons noté que lors des deux cultures, de maïs et de ray-grass, effectuées sur l'ensemble du système sol-racines, les pertes d'azote 15 sont nulles. Par contre, lors de la seconde culture de maïs, effectuée sur des fractions spécifiques du système sol-racines, ces pertes ont été assez importantes (15 à 40 %). Malgré les explications, que nous avons esquissées, il nous faut insister sur la nécessité d'améliorer les conditions expérimentales d'une telle culture, afin d'obtenir des bilans quantitatifs corrects, où l'origine des pertes soit mieux cernée.

#### III.3.1. Origine de l'azote exporté au niveau des parties aériennes

Nous allons quantifier l'azote prélevé par la plante en fonction de la source azotée et appliquer ces calculs aux cultures de maïs et de ray-grass précédemment décrits.

Au départ des cultures en serre (maïs et ray-grass) le sol contient 75  $\mu\text{g N}$  minéral/kg, dont l'excès isotopique est de 0,42 % et 13  $\mu\text{g N/kg}$  sous forme de racines encore identifiables ayant un excès isotopique égal à 6,64 %.

Nous avons vu, que les parties aériennes de maïs exportent 72 mg N/kg de sol avec un excès de 0,46 %, soit des valeurs proches de celles de l'azote minéral présent dans le sol de départ (75 mgN/kg de sol avec un excès de 0,40 %). (annexe IV-I-2)

Dans le traitement T de la culture de ray-grass, les exportations sont de 84 mg/kg, soit une quantité supérieure à celle de l'azote minéral du sol. L'excès de cet azote exporté est cependant proche de celui de l'azote minéral (0,43 %).

En ce qui concerne le traitement F de la culture de ray-grass, la quantité d'azote des parties aériennes est de 108 mgN/kg de sol ( $E \% = 0,31 \%$ ). Il y a dans le sol, au départ de la culture  $75 + 50 = 125$  mg N minéral/kg de sol qui possède un excès de 0,25 %. Il y a donc eu, au cours de la culture à la fois une minéralisation d'azote du sol et une organisation de l'azote minéral présent.

La plante a utilisé  $108 / 125$ , soit 86 % de l'azote minéral présent au départ.

#### a) Les équations

Afin de quantifier la part respective  $q_r$  (des racines),  $q_s$  (du sol) et  $q_d$  (débris) à la formation du  $QN_e$  (azote exporté), nous allons poser trois équations :

EQUATION MATIERE :

$$q_s + q_r + q_d + q_m = 84 \text{ mg } (QN_e)$$

$q_m = 86 \% * Q_m$  avec  $Q_m$  quantité d'azote minéral présent dans le sol au départ, dans notre cas 72 mg.

EQUATION TRACEUR :

$$q_s \left( \frac{E_i \% + E_f \%}{2} \right) + q_r \left( \frac{E_i \% + E_f \%}{2} \right) + q_d \left( \frac{E_i \% + E_f \%}{2} \right) + q_m + E_m \% = Q_{P.A.} - E_{P.A.}$$

Nous avons appliqué, comme précédemment (Chapitre I), à chacune de ces fractions, une valeur d'excès résultant d'une interpolation linéaire entre l'excès initial ( $E_i$  %) et l'excès final ( $E_f$  %), ce qui donne :

b) Application numérique

Pour le sol :

\* E % de l'azote du sol avant la culture :  $E_i$  % = 0,06 %.

\* E % de l'azote du sol après la culture :  $E_f$  % = 0,06 %.

- Les racines (débris) :

\* E % de l'azote des racines avant la culture :  $E_i$  % = 6,64 %.

\* E % de l'azote des racines après la culture :  $E_f$  % = 3,47 %.

- Les débris :

\* E % de l'azote des débris avant la culture :  $E_i$  % = 3,84 %.

\* E % de l'azote des débris après la culture :  $E_f$  % = 3,47 %.

Nous avons donc :

$$q_s \left( \frac{0,06\% + 0,06\%}{2} \right) + q_r \left( \frac{6,64\% + 3,47\%}{2} \right) + q_d \left( \frac{3,47\% + 3,84\%}{2} \right) + q_m \times 0,42\% = 72. \times 0,46\%$$

Pour résoudre ces équations, il faut faire une hypothèse de calcul complémentaire.

c) Hypothèses de calculs

Nous allons faire deux hypothèses concernant les vitesses de décomposition des racines et des débris : celles-ci pouvant être soit égales, soit liées par un facteur 2.

1<sup>o</sup> Hypothèse

Si l'on admet que l'azote des débris se décompose à la même vitesse que celui des racines et étant donné les quantités initiales d'azote racinaire ( $Q_R = 13$  mg/kg de sol) et d'azote dans les débris ( $Q_D = 7$  mg N/kg de sol), on aura : (annexe IV-I-2)

avec

$$Q_R = 2 * Q_D$$
$$q_r = 2 * q_d$$

Dans ce cas, la résolution des équations donne :

$$q_s = 18,56 \text{ mg} ; q_r = 0,96 \text{ mg} \cdot q_d = 0,48 \text{ mg}$$

## 2° Hypothèse

Si l'on admet que les débris déjà humifiés, à C/N élevé (30), se minéralisent deux fois moins vite que les racines, on obtient, dans les mêmes conditions de calculs :

$q_r = 4 * q_d$  et donc :

$q_s = 18,19 \text{ mg}$  ;  $q_r = 1,45 \text{ mg}$  ;  $q_d = 0,36 \text{ mg}$

On en déduit que :

\*  $q_s$  représente environ 1 % de l'azote du sol.

\* et  $q_r$ , entre 7,40 % et 11,15 % de l'azote des racines de première culture.

Par ailleurs, une valeur de 86 % est trop élevée pour un coefficient réel d'utilisation, de l'azote minéral, mais si nous utilisons une valeur de 70 %, obtenue dans des conditions voisines (GUIRAUD 1984), les conclusions restent identiques dans les deux hypothèses de calcul.

Ces estimations montrent qu'en fonction des sources azotées, l'azote prélevé par les racines sera, soit exporté vers les parties aériennes (source minérale), soit recyclé préférentiellement au niveau des racines (source organique).

### III.3.2. Origine de l'azote des nouvelles racines

Nous avons mis à profit le fait que les racines qui ont crû hors du contact des anciennes racines et de leurs débris, présentent une valeur d'excès isotopique identique à celle des parties aériennes, pour supposer la présence d'endomycorrhizes qui les auraient colonisées.

Les résultats de l'expérience de culture de maïs en pot permettent grâce à la quantité de carbone marqué retrouvée dans les racines hors sol d'estimer que cet ensemble organique contiendrait de 15 % à 30 % de l'azote des nouvelles racinaires et aurait un C/N compris entre 12 et 23. Cette quantité correspond à environ 70 % de l'azote des débris racinaires enfouis. Cet ensemble pourrait être composé d'une microflore rhizosphérique (filament fongique) ayant précédemment consommé les anciennes racines mélangées aux plus fins débris de cette litière. Cependant, la présence d'endomycorrhizes ne peut être prouvée que par l'observation microscopique.

Une autre hypothèse peut être émise : celle d'une absorption importante, par les nouvelles racines de molécules organiques azotées. Celles-ci ne seraient pas transférées vers les parties aériennes. D'autres chercheurs (JOHNSTON 1967, VAUGHEN and LINEHAN 1976) ont mis en évidence, sur solution nutritive, une forte absorption par la plante de molécules organiques complexes telles que des cycles aromatiques. Une forte proportion d'entre elles (40 %) entre dans la constitution des cellules et donc n'est pas transférée vers les parties aériennes.

Pour clore ce chapitre concernant l'étude de l'arrière effet d'une litière racinaire, nous pouvons résumer les principales conclusions que nous avons pu faire :

1) Environ 15 % de l'azote des racines et de leurs débris participent à la nutrition des parties aériennes, alors que dans le même temps, 86 % de l'azote minéral du sol est exporté à leur niveau. Ces résultats sont en accord avec ceux de POWER et LEGG (1980) qui ont montré qu'après 3 ans de culture, les 2/3 de l'azote des débris racinaires se retrouvaient au niveau des parties aériennes.

2) Par contre, 70 % de l'azote de ces débris sont «utilisés» par les racines de la nouvelle culture (le complément étant fourni par l'azote minéral).

Il ne nous a pas été possible de préciser la nature exacte des processus responsables de ces résultats et de conforter l'une des trois hypothèses énoncées antérieurement.

## **CONCLUSIONS GENERALES**

## I. POSITION DU PROBLEME

La nutrition azotée est, avec l'eau, un des facteurs régissant les rendements des cultures. Il existe, en effet, une relation étroite entre la dose d'apport et les rendements obtenus. Cependant, au-delà d'un certain seuil, variable selon la plante, apparaît une stagnation du rendement et parfois même des risques de dégradation de la culture : ainsi, au-delà d'un apport, 200 kg N/ha. il n'y a plus, chez le maïs une augmentation du rendement (DESVIGNES 1980), tandis que pour le tournesol au-delà de 50 kg N/ha. il y a un risque élevé de verse (ROLLIER 1980).

Par ailleurs, les bilans annuels établis au cours de telles cultures, ont montré d'une part que le stock organique du sol diminuait et d'autre part que la restitution des résidus de récolte ne comblait que partiellement ce déficit.

C'est pourquoi, les agronomes ont tenté d'une part de définir, à l'aide de plan de fumure (REMY et HEBERT 1977, REMY et VIAUX, 1983), des doses d'apport compatibles avec la culture considérée, et d'autre part se sont intéressés aux cycles de minéralisation et d'organisation de l'azote dans le sol. Cependant, la connaissance exacte du cycle interne de l'azote du sol, des transformations de l'azote des engrais se heurte à la complexité des réactions chimiques et biologiques gouvernant ces processus. Comment peut-on dissocier l'azote de l'engrais de celui provenant du sol ? Le coefficient apparent d'utilisation (C.A.U.) donne une idée erronée de la quantité d'azote exporté provenant de l'engrais : en effet, un tel calcul ne prend pas en compte les interactions existant entre l'azote du sol et celui de l'engrais, et donne ainsi des résultats parfois supérieurs à 100 %.

## II. LES APPROCHES EXPERIMENTALES CHOISIES

A l'occasion de ce travail, nous avons eu largement recours à l'outil isotopique.

Les équilibres entre Minéralisation et Organisation sont intimement liés et ils s'intègrent dans des cycles dont on connaît mal l'ampleur et les rythmes. Ainsi, au cours d'une même culture, et en fonction des caractères pédo-climatiques de la région considérées ces cycles peuvent être, non seulement différents d'une région à l'autre mais aussi d'une culture à l'autre.

Il apparaît que l'étude de ces transformations de l'azote dans les sols implique que l'on s'intéresse au devenir de l'ensemble de la matière organique, qu'il s'agisse des matières organiques humifiées ou des résidus de culture.

Il était par conséquent très intéressant de mettre en évidence et de quantifier les variations des stocks d'azote minéral et organique au cours et au-delà de la période de culture.

Pour réunir les conditions d'une telle recherche, nous avons :

\* choisi comme plante, une plante de grande culture : le maïs.

\* mis en oeuvre, sur le terrain et à l'échelle annuelle des expériences de plein champ et de lysimétrie permettant de suivre le devenir d'un engrais marqué à l'azote  $^{15}\text{N}$  ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ).

\* produit un sol marqué contenant des racines  $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ .

\* développé, au laboratoire des expériences simulant l'évolution de ces résidus marqués et de la matière organique (C, N) dans le sol en l'absence et en présence de plante vivante.

### III. LES ENSEIGNEMENTS TIRES DE CES APPROCHES

1) Lors d'une culture au champ, au cours de laquelle la plante a utilisé 55 % de l'azote minéral apporté (C.R.U.), nous avons montré :

\* que 70 % de l'azote exporté, soit environ 200 kg N/ha., provient du sol.

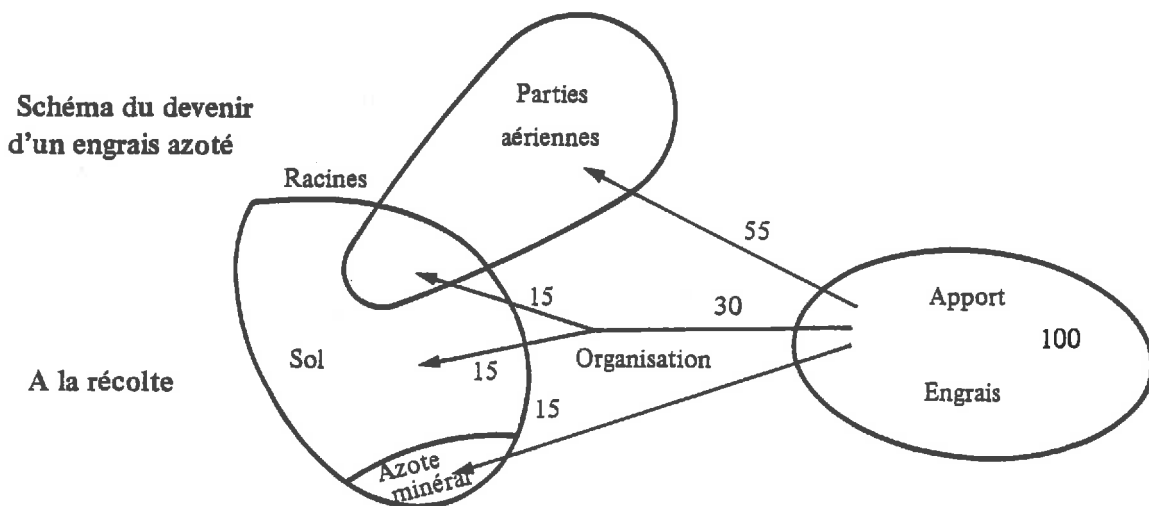
\* que les racines organisent à leur niveau au moins 15 % de cet apport.

\* que l'activité microbienne organise une quantité équivalente.

\* que les bilans établis ont montré que l'azote de l'engrais n'a subi aucune pertes, ni par lessivage, ni par dénitrification et par volatilisation, durant toute la période de la culture, tandis que le reliquat azoté, présent au départ de la culture dans le sol, était perdu à 75 %.

\* que la culture se soldait par une perte, pour le sol, de 217 kg N/ha..

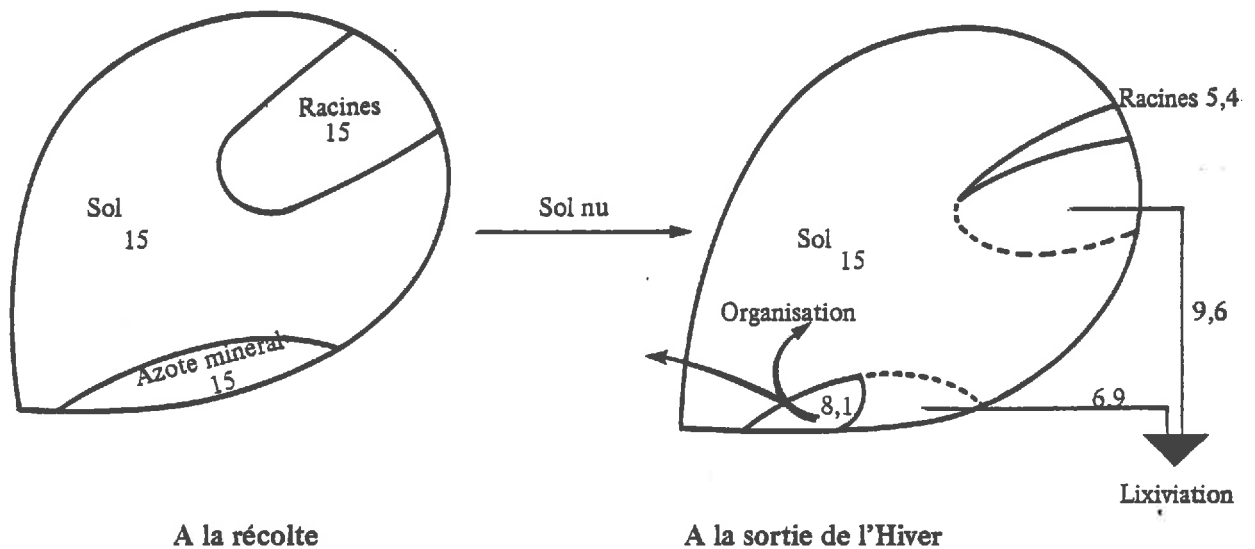
En nous inspirant de la représentation, sur les transferts d'azote dans le système sol-plante, faite par GUIRAUD (1984), nous pouvons schématiser nos résultats de la façon suivante :



2) Au cours des 6 mois suivant la récolte, nous avons montré :

\* que 46 % de l'azote minéral, présent à la récolte dans le sol, est entraîné par les eaux de drainage. Cette constatation vient conforter celles faites par de nombreux auteurs (HAUCK et al 1972, KOHL et al 1971 et MARIOTTI et al 1975) et notamment par DUTRIAUX (1980) qui a estimé que le pic d'azote nitrique mesuré dans la nappe, à l'automne et au printemps, est dû en grande partie aux engrais azotés non utilisés par les cultures.

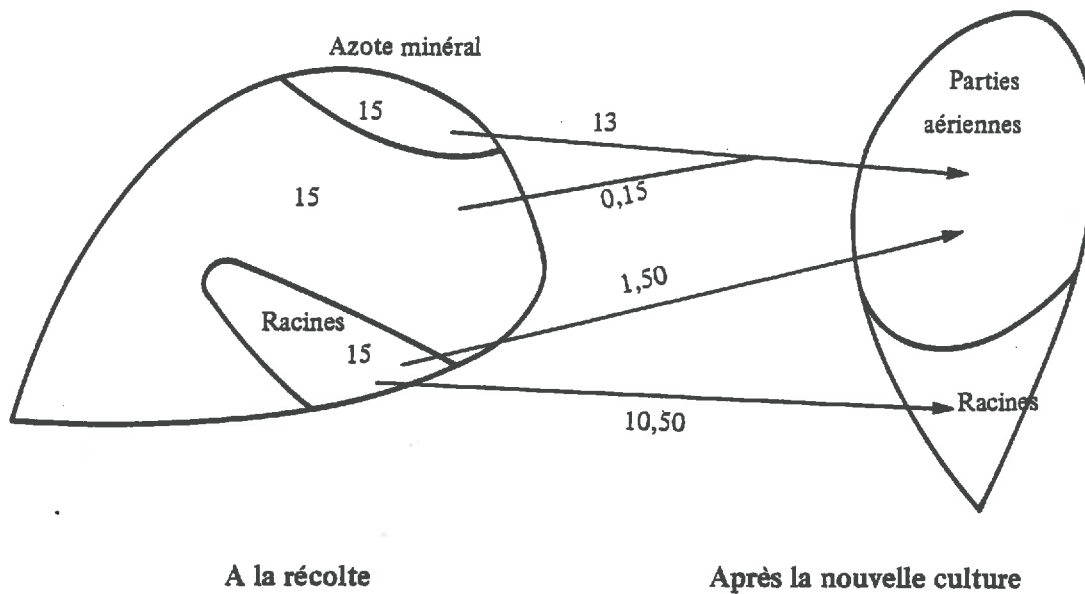
\* que plus de la moitié (64 %) de l'azote des racines vient grossir cette quantité d'azote perdu par percolation, pour représenter un total de 98 kg N/ha perdu pour le système sol. Il ne reste donc, dans le sol, à la sortie de l'hiver que 8,1 % de l'azote minéral présent dans le sol à la récolte, 5,4 % d'azote organisé par la voie racinaire et les 15 % d'azote organique par la voie microbienne, soit au maximum 28,5 % de l'apport initial.



3) Au laboratoire, nous avons estimé que la répartition des différentes formes d'azote du sol (minéral, organique et racinaire) était différente de celle précédemment constatée :

\* 86 % de l'azote minéral, 1 % de l'azote organisé par la voie microbienne participent aux exportations, tandis que environ 10 % de l'azote des débris racinaires se retrouvent, après une culture, dans les parties aériennes.

\* que 70 % de l'azote de ces résidus racinaires se localisent après une seconde culture, au niveau des nouvelles racines. Il reste cependant à élucider la nature exacte des mécanismes conduisant à la libération, à partir de ces racines enfouies, puis au transport de composés dans ou autour des nouvelles racines.



En résumé, nous avons pu en confrontant les résultats d'expériences de terrain et de laboratoire, quantifier les transferts d'azote minéral vers les différentes biomasses du système sol-plante. De plus, nous avons suivi le devenir de ces biomasses après la récolte. Il est apparu que :

\* après un apport de 140 kg N/ha. d'engrais minéral, il ne reste à la sortie de l'hiver, sans restitution des résidus, qu' environ 40 kg N/ha. dans le sol sur les 64 kg N/ha. présent à la récolte.

\* la mise en culture de sol immédiatement après la récolte, permet de recycler, 35 kg N/ha., dans la nouvelle plante. La moitié de cet azote est exportée au niveau des parties aériennes et a pour origine l'azote minéral présent dans le sol à la récolte, permettant ainsi de le soustraire aux pertes par lixiviation. L'autre moitié est concentré, probablement grâce à l'intervention de mycorrhizes, au niveau des nouvelles racines et provient des anciens débris.

## BIBLIOGRAPHIE

ADAMS T. McM and LAUGHLIN R.J. (1981):

The effects of agronomy on the carbon and nitrogen contained in the soil biomass.  
Journal of Agricultural Science Cambridge 97, 319-327

ANDERSON J.P.E , DOMSCH K.H (1980):

Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of the selected soils.  
Soil Science. Vol 130, N°4, 211-216.

ANDERSON J.P.E and DOMSCH K.H (1978):

A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils.  
Soil Biol. Biochem. Vol 10, p 215- 221.

ANDRE M, DAGUENET A., MASSIMINO D, VIVOLI J.P et RICHAUD Ch.(1979):

Le laboratoire C<sub>2</sub> 3A. Un outil au service de la plante entière.  
I. Les chambres de culture et les systèmes de mesures associés.  
Ann. Agro. 30 (2), 139-151.

ANDREUX F., CORREA A., BRUCKERT S., SOUCHIER B. (1980):

Fractionnement chimique et physique des agrégats du sol: Origine possible de la matière organique .  
C.R Acad. Sc. (1980).

ANDREUX F. and CORREA A. (1981):

Caractères généraux de la matière organique des sols eutrophes et mésotrophes affectés ou pas par des migrations particulières.  
in Proc. Int. Coll CNRS N° 303 Nancy France. Septembre 1979 Ed. CNRS Paris

AUBERT G. (1963):

La classification des sols. La classification pédologique française.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédologie, 3, 1-7.

BALESDENT J (1982):

Etude de la dynamique de l'humification de sols de prairies d'altitude (Haut Jura) au moyen des datations <sup>14</sup>C des matières organiques.  
Thèse de Docteur Ingénieur à l'Université de Nancy I, pp 150.

BARBER D.A and MARTIN J.K. (1976)

New Phytol.76,68.

BARBER D.A et LYNCH J.M (1977)

Microbial growth in the rhizosphere.  
Soil Biol. Biochem. Vol.9 1977

BASSIONI N. et IKONOMOVA E. (1971)

On the mechanism of nitrate uptake by plant roots.  
Plant and Soil .22,299-304

BILLES G. et BOTTNER P. (1981):

Effet des racines vivantes sur la decomposition d'une litière racinaire marquée au <sup>14</sup>C.  
Plant and Soil 62, 193-203

BONIFACE R. (1981):

Le lessivage des nitrates en zones agricoles.  
L'eau, la recherche et l'environnement.  
Paris, N° 17, 13-15, 110-181.

BOTTNER P.,MNEINME Z et BILLES G. (1984):

Reponse de la biomasse microbienne à l'adjonction au sol de matériel végétal marqué au <sup>14</sup>C:Rôle des racines vivantes.  
Soil Biol. Biochem. Vol 16,N° 4 pp 305-314

- BREMMER J.M (1965):**  
Organics forms of nitrogen in methods of soil analysis.  
Black CA et Al.  
American Society of Agronomy Inc. Publisher. Madison, Wisconsin USA, 1154.
- BROADBENT F.E and NORMAN A.G. (1946):**  
Some factors affecting the availability of organic nitrogen in soil,  
a preliminary report.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 11, 264-267.
- BRUCKERT S. et GAIFFE M. (1983):**  
Essai de séparation des principales fractions organiques des sols. Bilans et  
caractérisations analytiques.  
C.R Acad. Sci. Paris, 297, III, 627-630.
- BRUCKERT S, ANDREUX F, CORREA A, AMBOUTA K.J.M., SOUCHIER B. (1978):**  
Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux  
des sols.  
In "Proc. 11<sup>e</sup> Congrès A.I.S.S " Edmonton, Canada.
- CALLOT G., CHAMAYOU H, MAERTENS C, SALSAC L (1982):**  
Les interactions sol-racines.  
INRA Paris 1982,324p.
- CAMPBELL C.A, PAUL E.A, Mc GILL W.B (1976):**  
Western Canada Nitrogen Symposium Calgary Alta, 9-101.
- CAMPBELL N.E.R, LEES H (1967):**  
The nitrogen cycle.  
"Soil Biochemistry". New-York, DeKker, 194-215.
- CARRIER D. , BERNIER B. (1971):**  
Loss of nitrogen by volatilization of ammonia after fertilizing  
in jack pine forest.  
Canadian Journal of Forestry Research. 1 (2), 69-79.
- CARTER J.N, BENNETT O.L, PEARSON R.W (1967):**  
Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using <sup>15</sup>N.  
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31, 50-56.
- CERRI C. and JENKINSON D.S (1981):**  
Formation of microbial biomass during the decomposition of <sup>14</sup>C labelled  
rye-grass in soil.  
Can. J. Soil Sci. 33,610-626.
- CHAUSSOD R. et NICOLARDOT B. 1983:**  
Mesure de la biomasse microbienne dans les sols. Approche et cinétique  
simplifiée du carbone facilement minéralisé.  
Rev. Ecol. Biol. Sol , 19 (4) p 501-512
- CHERKINSKIY Y. (1981):.**  
Modern theories on humification and radiocarbon studies on some soil  
groups.  
Soviet Soil Science 13, N° 6.
- CLARK F.E and PAUL E.A (1970)**  
The microflora of grassland  
Adv. Agron..22,375-435
- CLAUDIUS G.R and MEHROTRA R.S (1973)**  
Root exudates from lentil (Lens Culinaris Medic)seedlings  
In relation to wilt disease.  
Plant and Soil 38,315-320.

CLEEMPUT O van, BAERT L (1984):

The fate of labelled fertilizer nitrogen split-applied to winter wheat on clay soil.

Pédologie, XXXIV 3, p 291-300. Ghent.

COSTES .C (1975)

Processus photochimiques et conversion énergétique de la lumière dans la feuille.

Photosynthèse et production végétale Paris.Ed. BORDAS.283p.

COX W.J and REISENHAUER H.M. (1973)

Growth and ion uptake by wheat supplied Nitrogen as Nitrate, or Ammonium or both.

Plant and Soil 38 363-380 (1973)

D'ASSIGNES P. (1980):

L'Europe des engrais

PERSPECTIVES AGRICOLES N° 43 Déc.(1980)

DAZZO F.B. (1984):

Absorption of microorganisms to roots and other plants surfaces.

Absorption of microorganisms to surface.

DECAU J. (1968):

Contribution à l'étude de l'influence des conditions de milieu sur la répartition de l'azote dans le sol.

I. Principales formes d'azote obtenues par hydrolyse.

Ann. Agron. 19(6) 653-683.

DEHERAIN P.P et Al (1876):

Station agronomique de Grignon. Cultures du champ d'expériences.

Ann. Agron. 2, 95-107.

DELWICHE C.C and BRYAN B.A (1976):

Denitrification.

Ann. Rev. Microbiol. 30: 241-262.

DEMOLON A. (1931):

Principes d'agronomie. I La dynamique du sol.

Ed. Dunod Paris.

DESVIGNES P. (1980):

Fumure azotée du maïs.

Perspectives Agricoles N° 43 Déc. 1980, pp 28-32.

DICKINSON N.M (1982):

Investigations and measurement of root turn-over in semi-permanent grassland.

Rev. Ecol. Biol. Sol,19,(3), 307-314.

DOKOUCHAEV V.V (1983):

"Le chernozem russe".S<sup>c</sup> Petersbourg.

DOMMERGUES Y et MANGENOT F. (1970):

Ecologie microbienne du sol.

PARIS Edition MASSON 756p (1970)

DROVEN G., RIXHON L., CROHAIN C. and RAIMOND Y. (1980):

Long term effects of different systems of organic matter supply on the humus content and on the structural of soils with regard to the crop yields in loamy soil.

Land Use Seminar on Soil Degradation. Wageningen.

**DUCHAUFOR Ph. (1976):**

Dynamics of organic matter in soils of temperate regions; its action on pedogenesis.  
Geoderma 15, 31-40.

**DUMAS J.B. (1861):**

Leçon professée à la société chimique en 1860.  
Hachette, Paris p 294.

**DUQUET B (1985):**

Etude comparée de l'humification d'une paille marquée à l'azote 15 dans différents sols du Plateau Calcaire de Besançon.  
Thèse 3° Cycle. Université de Nancy I. 155p.

**DUTRIAUX M.C. (1980):**

Essai sur l'origine des nitrates dans les eaux souterraines.  
Doctorat 3° Cycle. Université P et M. Curie pp 195.

**DUVIGNEAUD P. (1974):**

Synthèse écologique.  
PARIS Edition DOIN 296 p.

**E1-HARRIS M.K, COCHRAN V.L, ELLIOTT L.F and BEZDICEK D.F (1983):**

Effect of tillage, cropping, and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential.  
Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 47.

**ELLENBERG H (1971):**

Nitrogen content, minéralisation and cycling .  
UNESCO Ecol. et cons. 4. 500-514

**FARDEAU J.C (1981):**

Cinétique de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols.  
Thèse de Doctorat d'Etat. Université P et M Curie. Paris VI. pp 190.

**FARDEAU J.C, CHABOUIS C et HETIER J.M (1977):**

Méthode des cinétiques de dilution isotopique des ions PO<sub>4</sub> et K: application à l'analyse des modifications de fertilité dans les essais de très longue durée.  
Science du sol. Bull. AFES N° 2 111-122.

**FAURIE G. (1980):**

Devenir de l'ammonium en sol calcaire: nitrification et volatilisation de l'ammoniac.  
Thèse Doctorat. Université Claude Bernard Lyon. p260.

**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.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédol. 17, 399-344.

**FELLER C, GANRY F et CHEVAL M (1981):**

Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical.  
Agron. Trop. XXXVI N° 1, 9-25.

**FELLER C, GUIRAUD G., HETIER J.M and MAROL C (1983):**

Study by size fractionation of organic matter in a cultivated tropical soil fertilized with labelled crop residues (<sup>14</sup>C, <sup>15</sup>N) and urea (<sup>15</sup>N).  
Intern. J. Trop. Agri. Vol.1 N°2 pp 123-130.

**FRENEY J.R and SIMPSON J.R (1969):**

The mineralization of nitrogen from some organic fractions in soil.  
Soil Bio. Biochem. Vol 1, 241-251.

**FUHR F. and SAUERBECK D. (1968):**

Decomposition of wheat straw in the field as influenced by cropping  
and rotation.  
Proceedings IAEA/FAO Symposium p 241-250 VIENNE.

**GAIFFE M., DUQUET B., TAVANT H., TAVANT Y., BRUCKERT S (1984):**

Stabilité biologique et comportement d'un complexe argilo-humique placé dans  
différentes conditions de saturation en calcium ou en potassium.  
Plant and Soil, 77, 271-284.

**GANRY F. et GUIRAUD G. (1979):**

Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-sol  
sableux du Sénégal.  
Isotopes and radiation in research on soil plant relationships. Vienne  
A.I.E.A 313-331.

**GAUR A.C, SADASIVAM K.V, VIMAL O.P and MATHUR R.S (1971):**

A study on the decomposition of organic matter in an alluvial soil:  
CO<sub>2</sub> evolution, microbial and chemical transformations.  
Plant and Soil 34, 17-28

**GAY J.P (1984):**

Le fabuleux maïs. Histoire et avenir d'une plante.  
A.G.P.M 1984.

**GERMON J.C (1980):**

Etude quantitative de la dénitrification biologique dans les sols  
à l'aide de l'acétylène.  
Ann. Microbiol. 1313, 69-90.

**GERBERG R.M (1977):**

Denitrification studies on castle lake california utilizing the  
radioisotopes nitrogen 13.  
Ph. D. Microbiology 112 pp.

**GOH et PULLAR (1977):**

Radiocarbon dating technics for tephra in Central North New-Zealand.  
Geoderma, 18 265-271.

**GUCKERT A. et BALANDREAU J. (1981):**

Translocation of assimilates to the roots and its effect on nitrogen  
fixation  
Agricultural yield potentials in continental climates  
Proc. 16th Coll. Int. Potash Institute, BERN, p. 127-136

**GUILLET B. (1972):**

Datation des sol par <sup>14</sup>C. Methode de scintillation liquide.  
Bull. E.N.S.A.I.A Nancy XIV (1) 117-122.

**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 Doctorat. Université Pierre et Marie Curie Paris VI. 336p.

**GUIRAUD G., GANRY F. et LLIMOUS G. (1980):**

Study with <sup>15</sup>N of the effect of repeatedly ploughing in a millet  
straw compost on nitrogen availability in a tropical sandy soil.  
Agronomie Tropicale XXXV N°3

**GUIRAUD G. et BERLIER Y. (1969):**

Etude avec l'aide d'azote 15 de la dénitrification dans le sol, notamment en présence de paille enfouie.  
C. R. Acad. Agri. Fr. 55, 1000-1007.

**GUIRAUD G. et FARDEAU J.C (1977):**

Dosage par la méthode Kjeldahl des nitrates contenus dans les sols et les végétaux.  
Ann. Agron. 28 (3), 329-333.

**HALLEM M.J., BARTHOLOMEW (1953):**

Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17, 4, 365-368.

**HALSTEAD R.L., SOWDEN F.J (1968):**

Effect of long term additions of organic matter on crop yields and soil properties.  
Can. J. Soil Sci., 48 N°3.

**HAUCK R.D et Al (1972):**

Use of variations in natural nitrogen isotope abundance for environmental studies: A questionable approach.  
Soil Sci. Soc. Am. 1972.

**HENIN S. (1981):**

Le cycle de l'azote, les problèmes de fertilisation et de pollution  
C.R.Ac Agric.F. 67,840-872 (1981)

**HERRERA R. and TAMERS M.A (1973):**

Effect of vertical contamination on radiocarbon dating of soils.  
Acta Gen. Venezuelano 24, 156-160.

**HETIER J.M et Al (1986):**

Organic matter input to soil after growth on carbon-14 nitrogen-15 labeled maize.  
Soil Sci. Soc. Am. J. à paraître.

**HETIER J.M, GUILLET B., BROUSSE, DELIGRAIS et MAURY (1983):**

<sup>14</sup>C dating of buried soils in the volcanic chaine des Puys (France).  
Bull. Volcano. Vol 46-2.

**HETIER J.M, GUIRAUD G., MOUTONNET P, BOSSY A, MAROL Ch, CHONE Th, SCHOULLER E, FARDEAU J.C, ANDREUX F (1980):**

Culture de maïs en milieu contrôlé: Analyse des bilans d'azote et de carbone par <sup>15</sup>N et <sup>14</sup>C.  
Bull. A.F.E.S N° 2 1980.

**HILTNER L. (1904):**

Arb.Deut.Landwirtsch.Ges.,98,59

**JANSSON S.L (1958):**

Tracer studies on nitrogen transformations in soil, with special attention to mineralisation-immobilisation relationships.  
Könl. Lantbrukshögskolans Ann. 24, 101-361.

**JENKINSON D.S (1966):**

Studies on the decomposition of plant material in soil.  
II. Partial stérilisation of soil and the biomass.  
Journal of Soil Science 17,280-302

**JENKINSON D.S (1977):**

Studies on the decomposition of plant materiel in soil.  
IV.Effect of rate of addition.  
Journal of Soil Science ,28, 417-423.

JENKINSON D.S and LADD (1981):

Microbial biomass in soil : measurement and turn-over.  
In Soil Biochem. Vol 5 pp 451-471 Dekler New-York.

JENKINSON D.S and POWLSON D.S 1976(a):

The effects of biocidal treatments on metabolism in soil.  
I. Fumigation with chloroform.  
Soil Biol. Biochem. 8,169-177

JENKINSON D.S and POWLSON D.S(1976 b):

The effect of biocidal treatments on metabolism in soil .f  
V.A method for mesuring soil biomass.  
Soil Biology and Biochemistry 8,209-213.

JOCTEUR MONROZIER L (1984):

Nature et évolution de l'azote organique dans les sols et les sédiments  
marins récents.  
Thèse de Docteur de l'Université de Nancy I.

JOHNSTON H.H (1965):

The incorporation of various compounds into stérile corn roots.  
Plant and Soil XXXVI N° 1.

JORDAN C., CASKEY W, HERRERA R., MONTAGUINI F., TODD R.and UHL C (1983):

Nitrogen dynamic during conversion of primary Amazonian rain forest to  
slash and burn agriculture.  
OIKOS 40: 131-139. Copenhagen.

JUNK G.A et SVEC H.J (1958):

Nitrogen Isotope Abundance Measurements.  
U.S, Atomic Energy Commission, Office of technical information ISC-1138.

KIRKHAM D, BARTHOLOMEW W.V (1954):

Equation for following nutrient transformations in soil, utilizing  
tracers data.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. , 18, 33-34.

KIRKHAM D, BARTHOLOMEW W.V (1955):

Equation for following nutrient transformations in soil, utilizing  
tracers data.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19, 189-192.

KOHL D.H, SHEARER, COMMONER B. (1971):

Fertilizer nitrogen: Contribution to nitrate in surface water in  
corn belt watershed.  
Science, 174, p 1331-1334.

KOWALENKO C.G (1978):

Nitrogen transformations and transport over 17 months in fields fallow  
microplots using  $^{15}\text{N}$ .  
Canadian Journal of Soil Sci. 58 (1), 69-76.

KUDEYAROV V.N, JENKINSON D.S (1976):

The effect of biocidal treatments on metabolism in soil.  
VI Fumigation with carbon disulphide.  
Soi Biol. Biochem., 8, 375-378.

LADD J.N , OADES J.M and AMATO M. (1981):

Microbial biomass formed from  $^{14}\text{C}$  ,  $^{15}\text{N}$  labelled plant materiel  
decomposing in soils in the field.  
Soil Biol. Biochem. vol 13,pp 119-126

LADD J.N, PARSON J.W et AMATO M. (1977):

Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soil.  
Soil Biol. Bioch. Vol 9 pp 309-318.

LAWES J.B, GILBERT J.H (1895):

The Rothamsted Experiments: being an account of the results of agricultural investigation conducted at Rothamsted.  
Trans. Highland and Agric. Soc. Scotland 9, 1-354.

LIBES M.(1984):

Production primaire d'un herbier à *Posidonia Océanica*  
Mesures in situ par la méthode du  $^{14}\text{C}$ .  
Thèse de Doctorat de Spécialité en Ecologie  
Université D'Aix-Marseille.

LIEBIG J. von (1844):

La chimie appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture.  
trad.de Gerhardt Fortin Masson et Cie. Paris.

LINDEMANN Y. et GUIRAUD G. (1978):

Variations de l'azote nitrique dans le sol. Quelques exemples en plein champ de l'hétérogénéité des répartitions et du calcul des transferts avec utilisation de l'azote  $^{15}$ .  
41<sup>e</sup> Congrès Int. de recherche Betteraves sucrière. Bruxelles 14-16.

LINDEMANN Y., GUIRAUD G., CHABOUIS C, CHRISTMANN J., MARIOTTI A (1983):

Cinq années d'utilisation de l'isotope  $^{15}$  de l'azote sur la betterave sucrière en plein champ.  
C.R du Symposium Azote-Betterave, Bruxelles 16-17/2/83. 100-115.

LOBO P.F.S (1972):

Utilisation du  $^{14}\text{C}$  atmosphérique comme traceur de la matière organique des sols.  
Thèse Université BAHIA.

LUNGLEY D.R (1973):

The growth of root systems.  
A numerical computer simulation model.  
Plant and Soil 38,145-159.

MARIOTTI A (1982):

Apport de la géochimie isotopique à la connaissance du cycle de l'azote.  
Thèse d'état. Université P et M Curie. Paris VI.

MARIOTTI A., LETOLLE R., BLAVOUX B. et CHASSAIN B. (1969):

Détermination, par les teneurs naturelles en  $^{15}\text{N}$ , de l'origine des nitrates.  
C. R. Acad. Sci. Paris. t 280, 423-426.

MARTEL Y.A et PAUL E.A (1974):

The use of radiocarbon dating of organic matter in study of soil genesis.  
Soil Sci. of Amer. Proc. Vol 38. N°3 .

MARTENS R. (1985):

Limitations in the application of the fumigation techniques for the biomass estimation in amended soils.  
Soil Biol. Bioch. Vol 17 N°1, 57-63.

MARUMOTO T.,ANDERSON J.P.E and DOMSCH K.H (1982):

Minéralisation of nutrients from soil microbial biomass.  
Soil Biol. Biochem. Vol 14,pp469-475

MASAYANA W, KAI H.and KAWAGUCHI S. (1985):

Nitrogen behaviour in tropical wetland rice soils. 2.The efficiency of fertilizer nitrogen priming effect and A values.  
Fertilizer Research 6: 37-47.

**MOMEN BALBA.A, HASSAN H.M and MADY F.M (1972):**  
Effect of time of nitrogen application on its absorption by wheat from soil and labelled ammonium sulfate.  
Plant and Soil 37, 27-31.

**NICOLARDOT B. (1983):**  
Contribution à l'étude de la biomasse microbienne des sols à l'aide de micro-organismes marqués au carbone 14 et à l'azote 15  
Thèse de Docteur-Ingénieur en microbiologie Université de LYON ,116p.

**NOMMIK H. (1973):**  
Assesment of volatilizationloss of ammonia from surface applied urea on forest soil by <sup>15</sup>N recovery.  
Plant and Soil 38, 589-603.

**OLIVER R., EGOUMENIDES Ch et PICHOT J. (1978):**  
Etude en vases de végétation de la réorganisation de l'azote engrais dans un sol Ferrallitique de Madagascar à l'aide de l'azote 15.  
Agronomie Tropicale XXXIII, 3.

**OLSEN C (1929):**  
On the determination of nitrogen in soils.  
Compte Rend. Trav. Lab. Carlsberg 17, 3.

**PAPANICOLAOU E.P, SKARKOU V.D, NOBEL C. (1983):**  
Nitrogen and phosphorus fertilizer sources and placement methods in maize using labelled fertilizers.  
J. agric. Sci. Camb. 101, 687-690.

**PAPANICOLAOU E.P, SKARKOU V.D, NOBEL C. (1985):**  
Methods and time of application of labelled nitrogen and phosphorus fertilizers in maize cultivation.  
J. Agri. Sci. Camb. 104, 529-534.

**PERSON J (1968):**  
Biological testing of chemical humus analysis.  
Landsbuksholans Ann. Stockholm 34, 81-217.

**PICHOT J. et EGOUMENIDES Ch.(1981):**  
Agronomie Tropicale XXXVI N° 3.

**POWER J.F and LEGG J.O (1984):**  
Nitrogen <sup>15</sup> recovery for five years after application of ammonium nitrate to crested Wheatgrass.  
Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol 48 pp 322-326.

**RAPAIRE J.C et TURENNE J.F (1977):**  
Mesures d'activité spécifique des fractions de matières organiques appliquées à l'étude de l'évolution des sols de Guyane.  
in "Soil organic matter studies" I.A.E.A, Vienne. 179-186.

**REID A.S.J, WEBSTER G.R and KROUSE H.R (1969):**  
Nitrogen movement and transformation in soils.  
Plant and Soil XXXI N°2 pp 224-237.

**REMY J.C et HEBERT J. (1977):**  
Le devenir des engrais azotés dans le sol.  
C. R. Acad. Agri. France 63, 700-714.

- REMY J.C et VIAUX P. (1983):  
La fertilisation azotée du blé tendre en système intensif en France.  
Perspective agricole 67, 26-34.
- RIED J.B and GOSS M.J (1982):  
Suppression of decomposition of <sup>14</sup>C labelled plant roots in the  
presence of living roots of maize and perennial ryegrass.  
Journal of Soil Science 1982, 33, 387-395.
- RIGA A, Van PRAAG H.J, BRIGODE N. (1971):  
Rapport isotopique naturel de l'azote dans quelques sols forestiers et  
agricoles de Belgique soumis à divers traitements culturaux.  
Geoderma, t. 6, 3, 213-222.
- RITTENBERG D (1948):  
The preparation of gas sample for mass spectrographic isotopic analysis.  
In D.W WILSON, A.D.C, Nies P.S RIEMAN. Preparation and measurement of  
isotopic tracers 31-42. I.W Ed. Ann. Abor. Mich.
- ROLLIER M. (1980):  
Fumure azotée du tournesol.  
Perspectives agricoles N° 43 Déc. 1980, pp 36-41.
- ROSS P.J, MARTIN A.E (1970):  
A rapid procedure for preparing gas samples for <sup>15</sup>N determination.  
Analyst., 95, 817-822.
- ROVIRA A.A ,NEWMAN E.I,BOWEN H.J. and CAMPBELL (1974):  
Soil Biol. Biochem.,6,211
- ROVIRA A.D ,BOWEN G.D and FOSTER R.C(1983):  
The significance of the rhizosphere microflora and mycorrhizas in plant  
nutrition.  
In Inorganic Plant Nutrition  
A. LAUCHLI et R.L BIELESKI ed.springer Verlag. Berlin Tome 15 A ,449 p.
- SCHARPENSEEL H.W (1976):  
The search of biologically inert and lithogenic carbon in recent  
soil organic matter.  
Intern. Symposium on Soil Organic Matter Studies.
- SCHARPENSEEL H.W et PIETIG F (1966):  
Einfache boden und wasser datierung durch messung der <sup>14</sup>C oder tritium  
Konzentration.  
Geoderma 2, 273-289.
- SHIELDS J.A and PAUL E.A (1973):  
Decomposition of <sup>14</sup>C labelled plant materiel under field conditions  
Can. J. Soil Scien. 53: 297-306.
- SMITH J.L , Mc NEAL and CHENG H.H (1985):  
Estimation of soil microbial biomass an analysis of the  
respiratory response of soils.  
Soil Biol. Biochem. Vol 17, p 11-16
- SMITH S.N and PUGH G.J.F(1976):  
Evaluation of dehydrogenase as a suitable indicator of microbial activity.  
Enzyme and Microbial Technology 1,279-281
- SORENSEN L.H (1975):  
The influence of clay on the rate of decay of amino acid metabolites  
synthetized in soils during decomposition of cellulose.  
Soil Biology and Biochem. ,7,171-177.

- SPARLING G.P ,CHESHIRE M.V et MUNDIE C.M (1982):  
Effect of barley plants on the decomposition of <sup>14</sup>C labelled soil organic matter.  
Journal of Soil Science 2, 33,89-100
- SPARLING G.P ,ORD B.G. and VAUGHAN D. (1981):  
Microbial biomass and activity in soils amended with glucose.  
Soil Biol. Biochem. Vol 13, pp 99-104
- SPARLING G.P (1981):  
Microcalorimetry and other methods to asses biomass and activity in soil.  
Soil Biol. Biochem. Vol 13 ,p 93-98
- STEVENSON F.J (1957):  
Distribution of the form of nitrogen in some soil profiles.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21, 283-287.
- STEWART B.A, JOHNSON D.D, PORTER L.K (1963):  
Availability of fertilizer nitrogen immobilized during decomposition of straw.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27, 656-659.
- THIBAUT P (1972):  
Calcul des teneurs isotopiques de l'oxygène et du gaz carbonique.  
Analyses au spectromètre de masse dans des conditions de non équilibre et d'équilibre isotopique.  
C.R Coll. Int. "Les isotopes de l'oxygène". Cadarache 51-62.
- TURCHENEX L.W and OADES J.M (1979):  
Fractionation of organic mineral complexes by sedimentation and density technics.  
Geoderma 21: 311-343.
- VANCURA V. and HANZLIKOVA A. (1972)  
Root exudates of plants.  
Plant and Soil 36,271-282.
- VAUGHAN D. and LINEHAN D.J (1975):  
The growth of wheat plant in humic acid solutions under axenic conditions.  
Plant and Soil 44, 445-449.
- VORONEY R.P and PAUL E.A 1983:  
Determination of  $K_C$  et  $K_M$  in situ for calibration of the chloroform fumigation incubation method.  
Soil Biol. Biochem. Vol 16 p9-14.
- WAREMBOURG F. (1977):  
Le flux de carbone dans la végétation ,la rhizosphère et le sol de formations herbacées marquées au <sup>14</sup>C.  
Thèse de Doctorat d'Etat (1977)  
Universite du Languedoc
- YOUNG J.L and SPYCHER G. (1979):  
Water disponible soil organic mineral particules.I. Carbon and nitrogen distribution.  
Soil Sci.Soc. Amer. J. 43, 324-328.
- ZABLOTOWICZ R.M and FOCHT D.D (1979):  
Denitrification and anaerobie, nitrate dependant. Acetylene reduction in Cowpea Rhizobium.  
Journal Gén. Microbiol. 11, 445-448.

# **ANNEXES**

**MATERIEL et METHODES**

ANNEXE M I

**SOL BRUN LESSIVE** - U.S.A. : Agric Hapludalf - F.A.O. : Orthic Acrisol

**Profil de ARCHETTES**

I.G.N. : 1/25.000 Bruyères 5 - 6 - E : 6°33'03" - N : 48°07'26" - Altitude 392 m

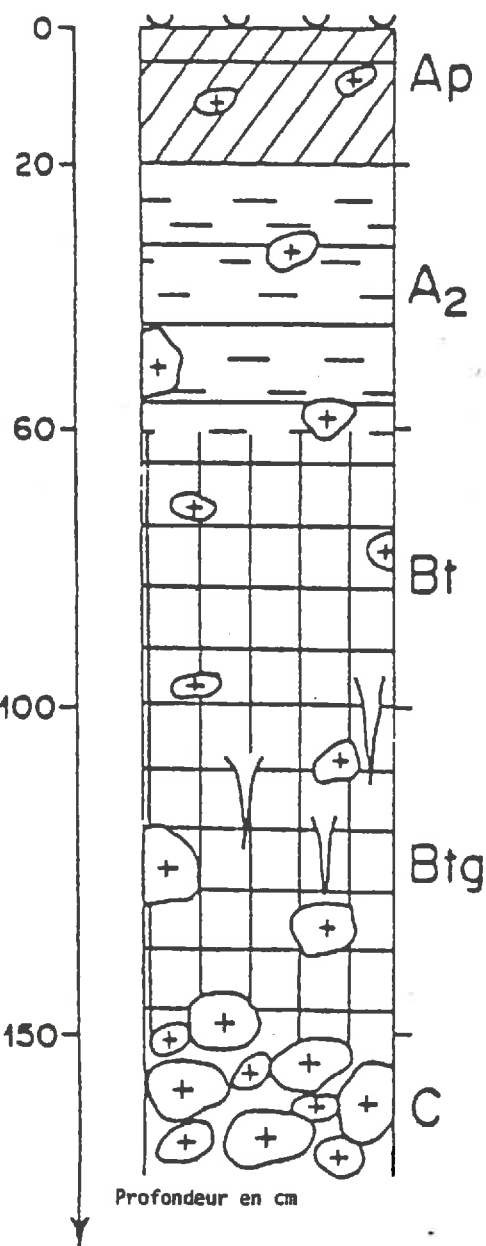
Lieu-dit : "Les Côtes", à l'est d'Archettes, au-dessus des carrières bordant la départementale 42, sur la rive droite de la Moselle.

**Topographie** : Terrasse légèrement ondulée : niveau 30-35 m

**Roche-mère** : Alluvions quaternaires fluviatiles anciennes recouvertes de limons sableux.

**Végétation** : Graminées.

**Drainage** : Bon jusqu'à 1 m ; moyen de 1 m au sommet des alluvions.



Limons sableux brun foncé (7,5 YR 4/2) à structure grumeleuse moyenne bien développée, très poreuse ; feutrage dense de racines ; galets (2 - 15 cm).  
Transition progressive par l'intermédiaire d'une zone un peu tassée.

Limons sableux brun jaune (7,5 YR 6/4) à structure en agrégats, faiblement polyédrique, peu développée ; nombreuses radicelles ; quelques galets hétérométriques. (2 à 30 cm).

Limons argilo-sableux brun jaune (10 YR 6/4) à structure polyédrique fine, bien développée. Revêtement argileux à la surface des polyèdres. Nombreux galets (8 - 15 cm) ; pas de traces d'hydromorphie.  
Transition progressive.

Limons argilo-sableux brun jaunâtre (10 YR 5/8) avec des taches diffuses et peu contrastées jaune brun (10 YR 6/8). Structure polyédrique fine à moyenne assez bien développée. Nombreux galets hétérométriques (5 - 35 cm). Quelques amorce de bandes grises (7,5 YR 6/1) verticales à subverticales, à structure fondue.

Galets et blocs (50 - 60 cm) arrondis ou anguleux à matrice sableuse brun franc (7,5 YR 5/6). Très meuble, bien que paraissant tassé dans la partie supérieure.

**Résultats analytiques**

Hor.	pH	Granulométrie %					C %	N %	C/N	M.0%	Bases échangeables m.e./100g					100 $\frac{S}{T}$	Eléments libres %		
		A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.					Ca	Mg	K	S	T		Fe	Al	Si
Ap	4.80						2.11	0.187	11.2	4.22	1.80	0.26	0.20	2.26	10.2	22.1	11.2	4.3	0.9
A <sup>2</sup>	4.95	17.2	23.0	11.9	15.3	32.7	1.07	0.103	10.3	2.14	0.90	0.12	0.35	1.37	7.9	17.3	11.0	4.5	1.0
Bt	4.95	24.1	33.7	13.4	8.3	20.4	0.39	0.040	9.7	0.78	2.80	0.50	0.13	3.43	9.2	37.2	17.0	5.4	1.0
Btg	4.85	23.8	32.3	18.7	8.4	16.8	0.22	0.020	11.0	0.44	1.70	0.87	0.11	2.68	9.4	28.5	18.5	4.4	1.1
C	5.80	4.8	1.3	0.5	5.5	87.8	0.06	0.005	12.0	0.12	1.40	0.53	0.06	1.99	2.2	90.4	3.1	0.5	0.5

Ce profil, assez bien différencié, à texture limono-sableuse, sous prairie, a une teneur moyenne en matière organique pour l'horizon Ap (4,2 %) qui diminue assez vite avec la profondeur. le C/N est bas (9,7 à 11,2). l'humus est un mull.

L'indice d'entraînement apparent de l'argile est faible (1,3) et on observe un léger maximum au niveau de l'horizon B<sub>t</sub>. Le fer se comporte de la même façon que l'argile.

Le complexe absorbant moyennement saturé, présente un minimum dans l'horizon A<sub>2</sub>. Il est presque saturé en profondeur.

Les courbes cumulatives très espacées sont l'indication d'un dépôt hétérogène à l'échelle du profil.

## ANNEXE M 2

### LA CULTURE EN CHAMBRE DE VEGETATION

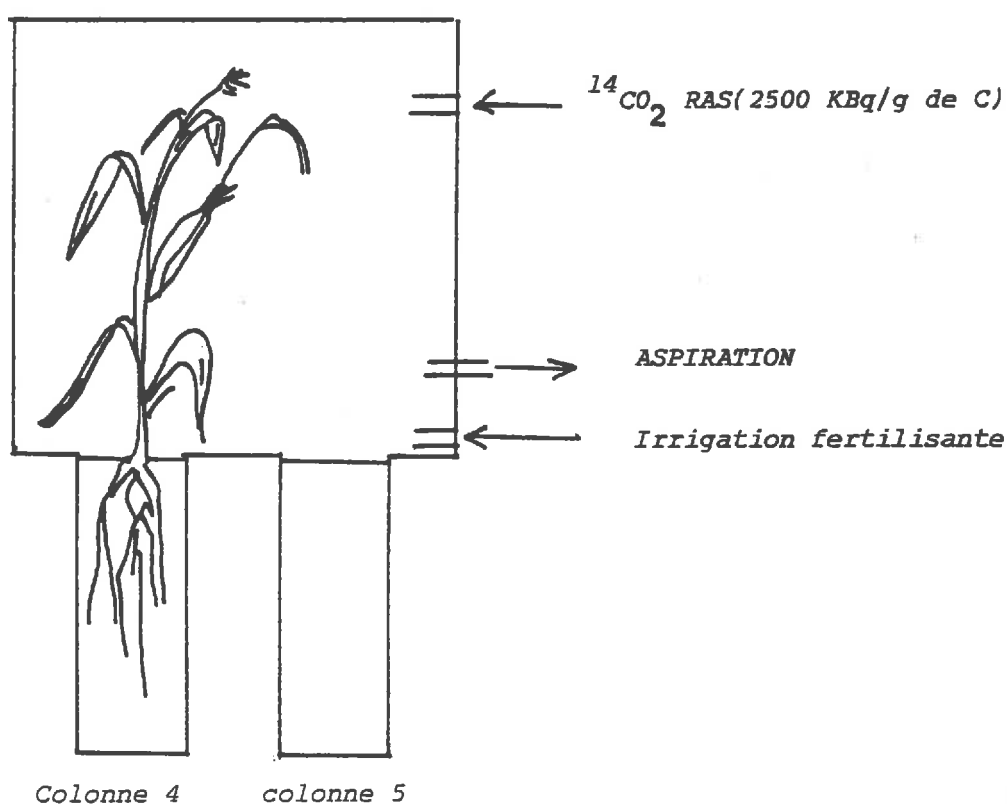
La culture s'est déroulée dans une chambre de végétation de 6 m<sup>3</sup> de volume, à la partie inférieure de laquelle ont été placées deux colonnes, opaque à la lumière, contenant le sol. (Figure N°1)

Il s'agit de l'horizon Ap d'un sol brun acide, dont les caractéristiques sont données dans l'annexe M 1.

La croissance du maïs s'est effectuée dans une atmosphère où une partie du C-CO<sub>2</sub> a été enrichie à l'aide du radioisotope <sup>14</sup>C (la R.A.S. de l'ensemble est de 2500 KBq/g de C).

La fertilisation a été assurée par l'apport fractionné d'une solution d'azote nitrique, dont l'excès isotopique était de l'ordre de 33 %.

Figure N° 1 : Schéma de la cellule de culture.

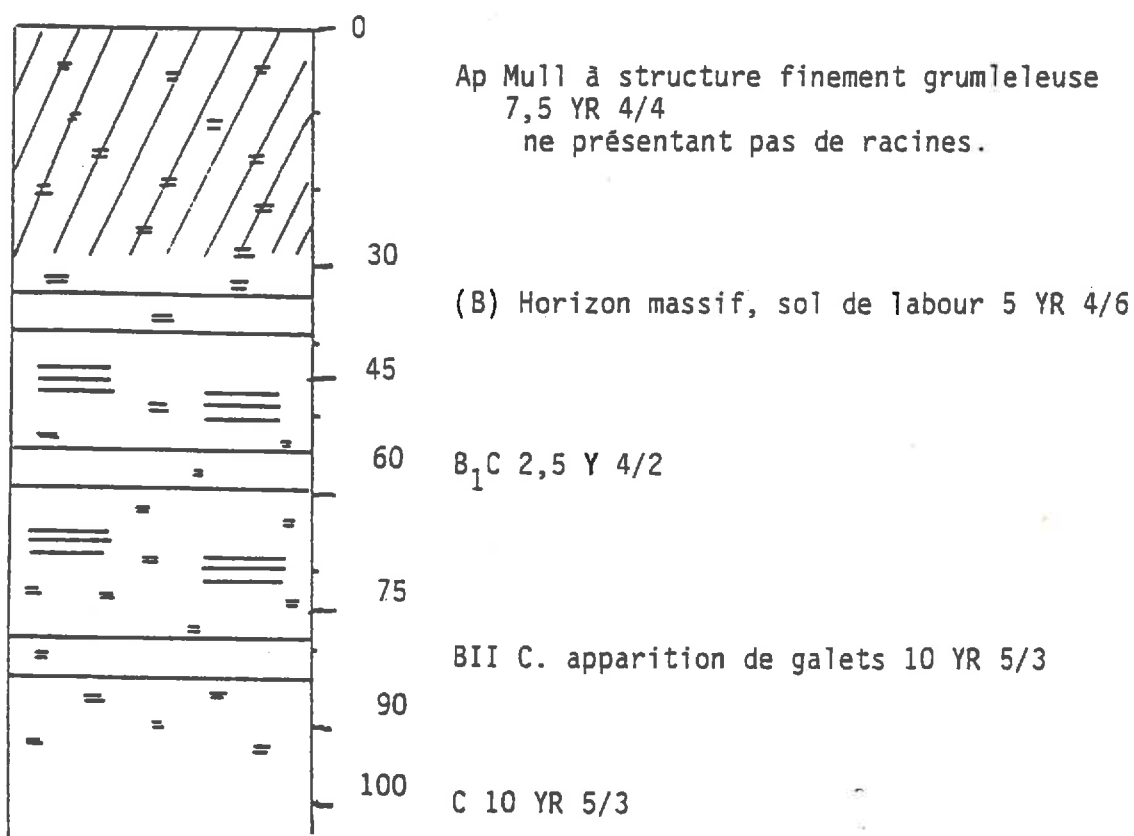


Après la récolte des parties aériennes des deux pieds de maïs, des échantillons de sols représentatifs des horizons de la colonne n°4 ont été utilisés pour dresser le bilan de la culture.

Ensuite, le reste du système sol-racines de la colonne n°5 et celui de la colonne n°4 ont été placés en chambre froide. (+ 4° C.)

## ANNEXE M 3

Localisation : Gréoux les Bains  
 Roche mère : alluvions de la Durance  
 Type pédologique : Sol brun alluvial



Hor.	Prof.	Granulométrie %					Gran. Totale	Calc. Total	C %	N %	C/N	pH	m.e./100 g Bases échangeables						Fe	Al	Si
		SG	SF	LG	LF	A							Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	T	S/T			
Ap	0-30	1.1.	2.3	7.5	15.0	23.1	84	30.8	2.1	0.136	15.4	7.9	0.16	42	1.1	0.68	12.7	sat	9.8	0.8	0.5
(B)	30-45	0.85	2.1	8.8	14.6	22.1	85.3	33.7	1.54	0.089	17.3	8.2	0.17	39	0.94	0.14	11.9	"	9.6	0.8	0.8
C 1C	45-75	1.0	2.1.	6.3.	10.4	18.7	78.4	38.8	0.78	0.069	11.3	8.4	0.16	36	0.79	0.08	9.1	"	6.4	0.6	0.8
B IIC	75-90	8.4	6.9	3.7	4.8	14.1	79.3	40.8	0.28	0.036	7.8	8.4	0.13	34	0.68	0.10	6.1	"	5.6	0.4	0.6
IIC	90-100	9.1	6.1	4.9	5.4	15.6	81.7	39.2	0.65	0.034	19.1	8.5	0.12	36	0.73	0.08	6.9	"	5.8	0.6	1.0

ANNEXE M 3 Bis

Figure 1 :

Cumuls pluviométriques de la Saison 1983 - 1984  
Comparaison avec la moyenne des médianes et Quintiles inférieurs  
de CARPENTRAS et SAINT-AUBAN (sur 23 années)  
- Gréoux les Bains

Pluviométrie mensuelle cumulée  
à partir du 1<sup>o</sup> Octobre

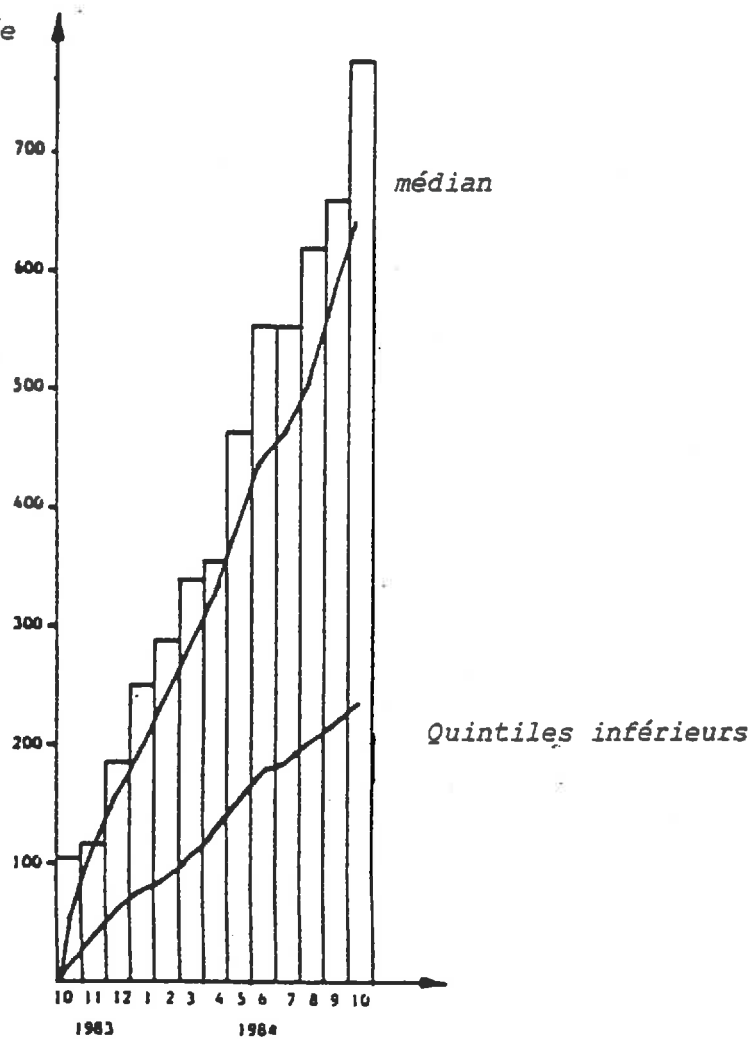


Figure 2 - TEMPERATURES MOYENNES A GREOUX  
1983 - 1984

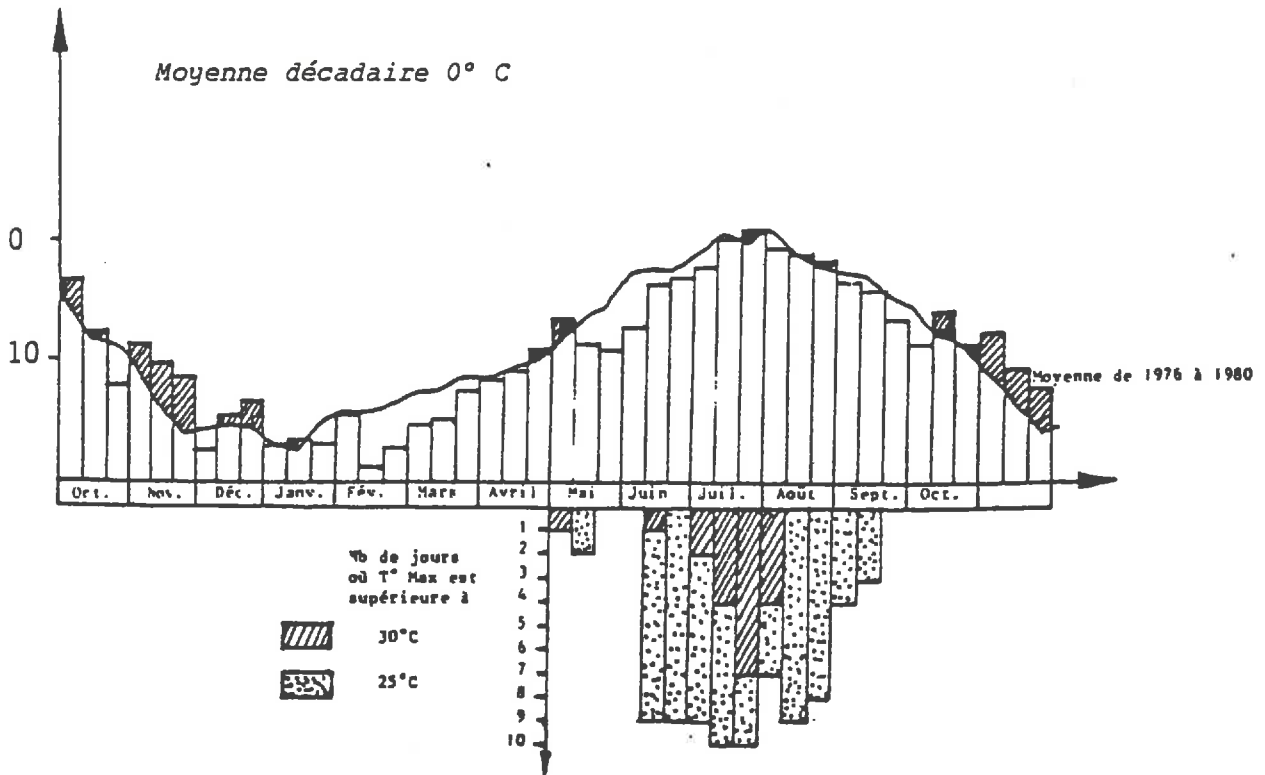
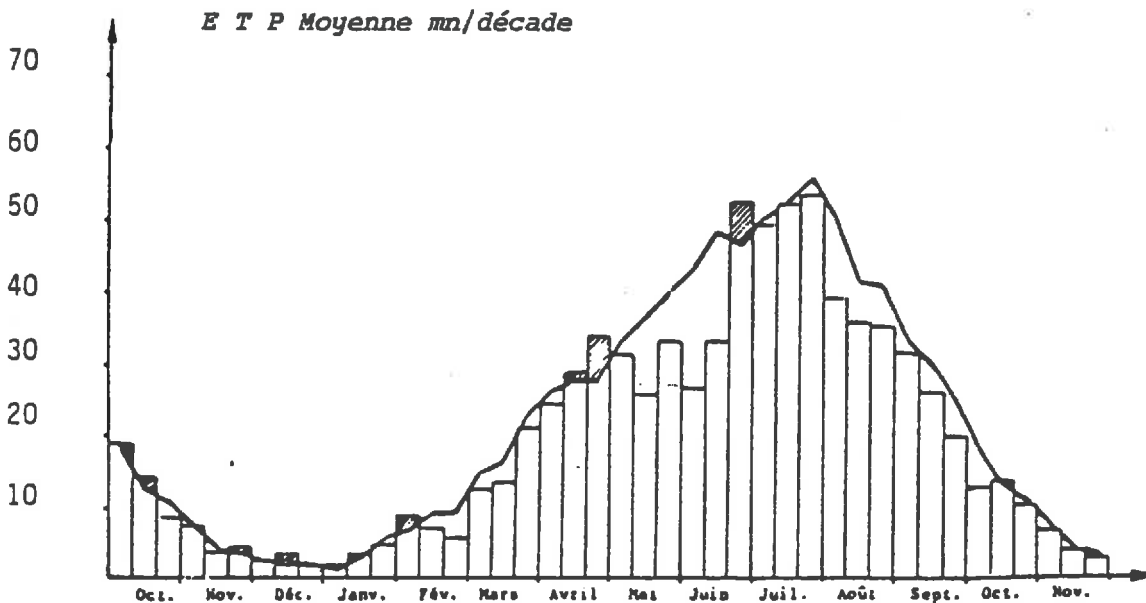


FIGURE 3 - E.T.P. PENMAN DECADAIRE DE LA STATION DE GREOUX  
1983 - 1984

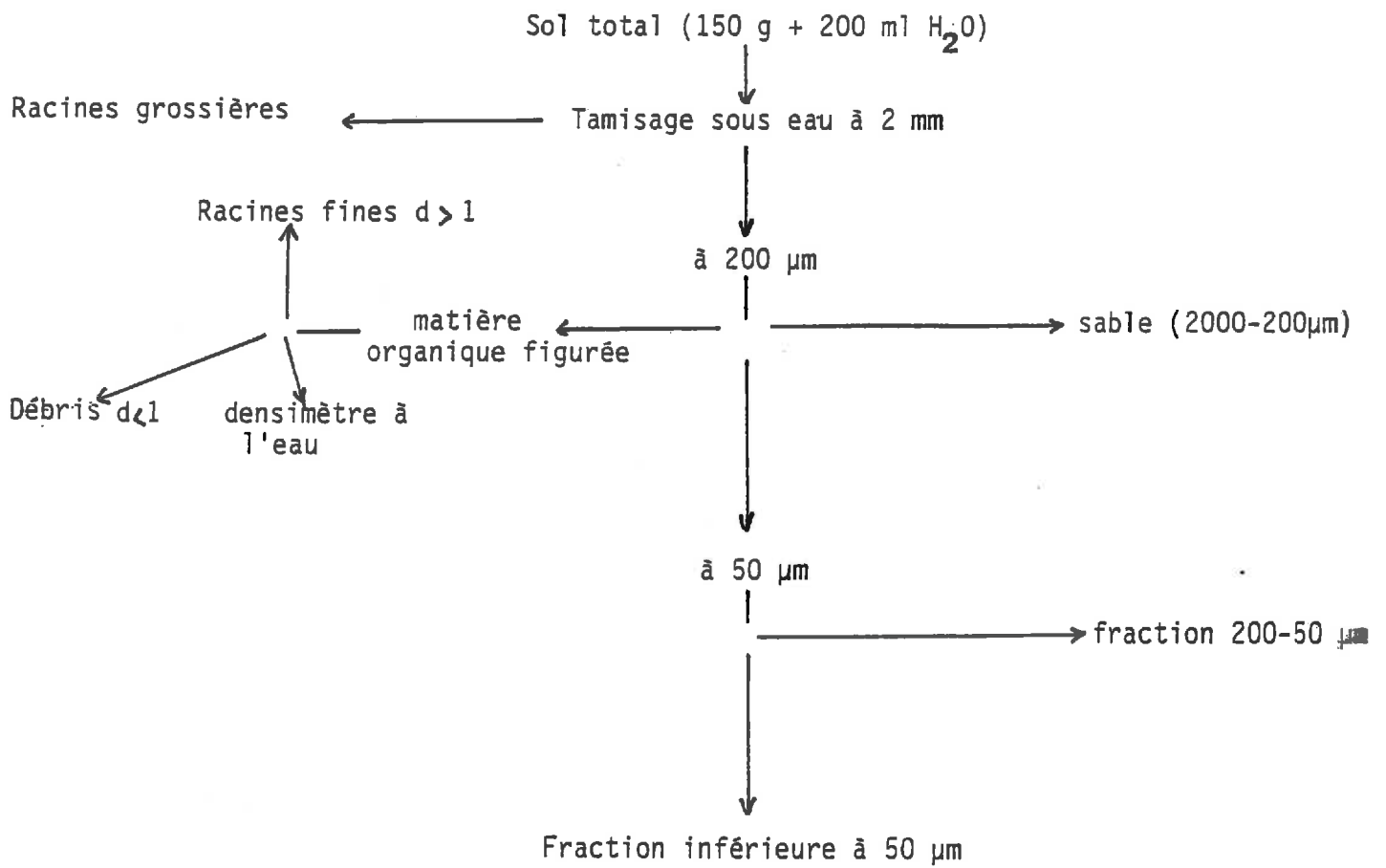
COMPARAISON AVEC LA MOYENNE DE 76 à 80



ANNEXE M 4

ORGANIGRAMME

du Fractionnement granulométrique



## ANNEXE M 5

### EXTRACTION KCl

On met à agiter, environ 1h 30' , 80 g. de sol sec dans 150 ml de KCl 1N le tout contenu dans un flacon. Après centrifugation, le filtrat est séparé du culot qui sera rincé trois fois à l'aide de 50 ml de KCl 1N.

A la fin de l'opération, le culot ainsi débarrassé de son azote minéral est mis à sécher à l'étuve à 60°C.

On réalise trois répétitions pour chaque traitement.

## ANNEXE M 6

### HYDROLYSE ACIDE

La technique d'hydrolyse acide est inspirée de celle proposée par STEWART et al. (1963).

Sur 10 g de sol débarrassé, par extraction KCl, de son azote minéral, on ajoute lentement 60 ml de HCl (12N) et on agite, après cessation d'un éventuel dégagement de CO<sub>2</sub> (sol calcaire), pendant 48 heures. On porte ensuite à ébullition à reflux, après addition de 60 ml de H<sub>2</sub>O, pendant 16 h. Par centrifugation, en rinçant deux fois avec 50 ml de HCl (0, 1N), on sépare deux fractions :

- un résidu solide
- et une solution amenée à un volume connu (500ml)

Une partie aliquote (100 ml) est minéralisée pour obtenir la fraction azote total soluble dans l'acide Nsa, l'autre fraction est directement distillée en présence de NaOH (10N) pour déterminer la fraction soluble dans l'acide et distillable "Nsad". Par différence on trouve la fraction soluble dans l'acide et non distillable "Nsand". Un dosage classique Kjeldahl, sur le résidu solide mesure la fraction insoluble dans l'acide "Nia". Sur toutes ces fractions, les analyses isotopiques sont faites.

## ANNEXE M 7

### CULTURE AU CHAMP

#### Protocoles des essais mis en place sur la station expérimental de Gréoux les Bains

Nous avons mis en place, sur une parcelle emblavée (maïs variété Brio) de la station expérimentale de Gréoux les Bains (sol brun acide décrit en annexe M3), les protocoles suivants :

1°) Evaluation des pertes par lixiviation et des cycles  
organisation - minéralisation de l'azote apporté.

Dans ce protocole, qui peut être divisé en deux, nous avons effectué un apport unique, au semis, d'une solution de nitrate de calcium (140 KgN/ha).

##### 1.1. - Sur une case lysimétrique.

Nous avons mélangé la solution fertilisante, d'excès isotopique de 11,22 % , à l'horizon 0-10 cm de la case lysimétrique (diamètre: 3 m et profondeur 1 m).

Les percolats ont été analysés au fur et à mesure de leurs collectes.

##### 1.2. - Sur une parcelle de plein champ, dite parcelle 20%.

La solution fertilisante, d'excès isotopique 18,50 %, a été apportée localement à l'aide d'un dispositif permettant sa répartition dans l'horizon 0-20 cm.

Nous avons réalisé, sur les trois couches 0-20, 20-40, 40-60cm des prélèvements de sol effectués aux dates suivantes :

25/04/84 - 13/06/84 - 09/07/84 - 21/08/84 - 01/10/84

12/12/84 - 24/01/85 et 26/03/85,

des dosages d'azote minéral (N total et  $^{15}\text{N}$ ). Ceux-ci ont été établis à partir de trois répétitions.

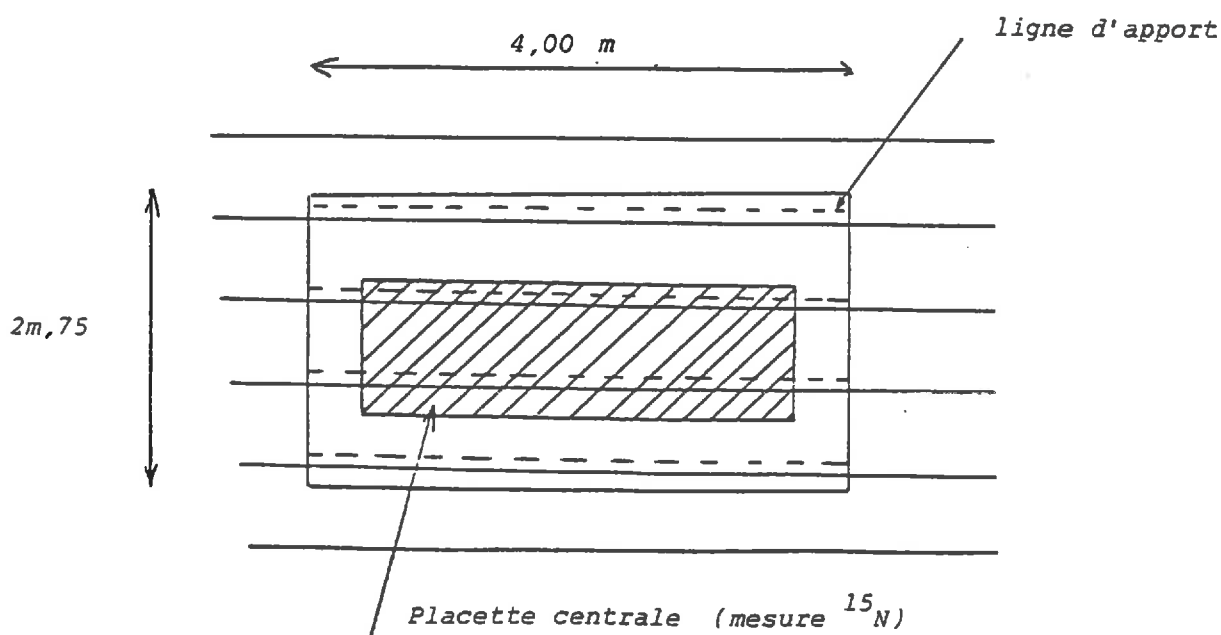
Le bilan de l'azote exporté par la culture a été dressé au terme de la croissance du maïs.

2°) Fraction de l'azote de l'engrais utilisé par la plante: quantité d'azote exportée par la plante au cours de différents stades de sa croissance.

Nous avons effectué un apport fractionné et localisé d'une solution de nitrate d'ammonium, enrichie en  $^{15}\text{N}$  alternativement sur l'ion nitrate ou sur l'ion ammonium (E % = 1 %). La dose totale de l'apport est de 140 Kg N/ha, dont 1/3 a été amenée au semis et le reste après un mois de culture. Nous avons mis en place quatre répétitions de chacun des traitements, soit un total de 16 parcelles.

Afin de suivre l'évolution des valeurs du C.R.U. au cours de la culture, nous avons prélevé deux pieds de maïs aux dates suivantes: 13/06/84 - 12/07/84 - 24/08/84 et à la récolte le 01/10/84.

Figure : Schéma d'une parcelle de Gréoux les Bains.



## A N N E X E M 8

### CULTURE EN SERRE

#### Culture de maïs en pot

Nous avons placé 20 kg du sol Brun acide de la colonne n° 5 dans un pot de 30 litres (figure n°1). Ce sol a séjourné, après avoir été utilisé lors de la culture effectuée en conditions contrôlées (Annexe M2), 58 mois en chambre froide (+ 4°C).

Nous avons aménagé, dans ce pot de culture, un double fond qui a permis d'éviter un engorgement de la partie inférieure du sol.

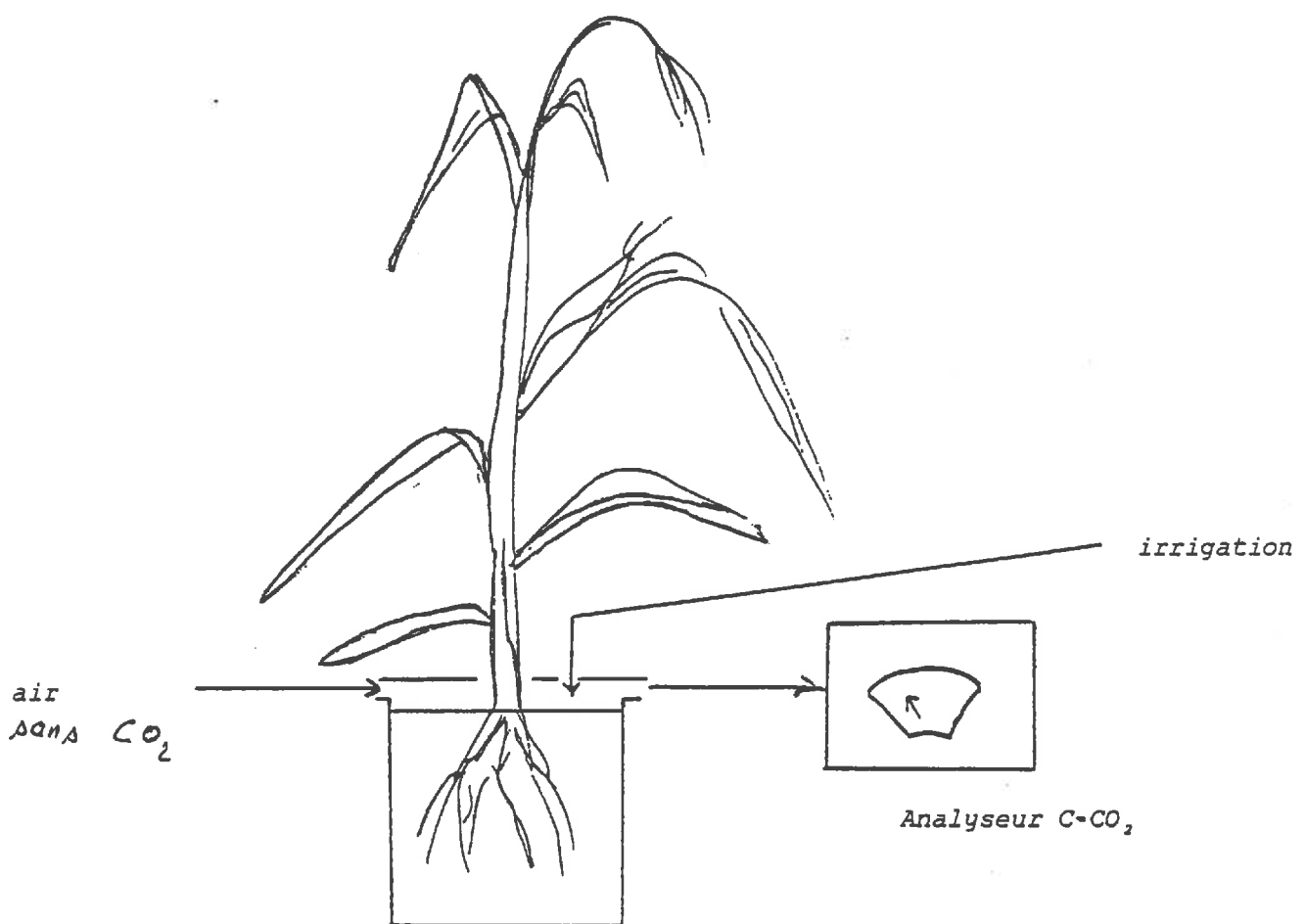
De plus, le système sol-racines a été isolé des parties aériennes, à l'aide d'un couvercle. L'étanchéité recherchée a été assurée, au niveau de la tige, par un joint plastique dont l'élasticité a par ailleurs, permis la croissance normale du maïs.

Un tel dispositif nous a permis de piéger et de doser : (C total et la R.A.S.) le C-CO<sub>2</sub> respiré par le système sol-racines au cours de la culture.

Le sol a été maintenu à l'humidité équivalente par un dispositif comprenant deux tensiomètres actionnant l'irrigation.

La croissance du maïs a été conduite jusqu'à maturité, soit durant 92 Jours.

Figure 1 - Schéma du dispositif de la culture de maïs en pot.



## A N N E X E M 8 bis

### CULTURE EN SERRE

#### Culture de maïs en colonne de verre

Nous avons utilisé, dans cette culture, des colonnes de verre de 35 cm de long, et de 5 cm de diamètre (Figure n°1). Chacun de ces tubes a été divisé en deux parties :

- une partie supérieure qui a été remplie, dans chacun des traitements, de sable calibré (supérieur à 2 mm).
- une partie inférieure, remplie d'un matériau dont la nature est fonction du traitement considéré (Tableau n° 1).

La séparation de ces deux parties a été assurée par de la toile à bluter, dont les mailles, d'un diamètre suffisant, ont permis le passage des racines en cours de croissance.

L'orifice inférieur de chaque colonne a été obturé par un bouchon. Celui-ci percé en son centre, a rendu possible, d'une part l'évacuation du trop plein d'eau, et d'autre part l'aspiration de l'atmosphère interne de la colonne. Cette aspiration n'a cependant été réalisée qu'une partie de la journée.

Chacun des substrats utilisés a été maintenu à l'humidité équivalente par l'apport d'une solution nutritive dépourvue d'azote dont la composition apparaît sur le tableau n° 2.

L'apport hebdomadaire d'azote a été réalisé sous la forme d'une solution de nitrate.

Au cours de cette culture, nous avons récolté les quatre premières feuilles de chacun des pieds de maïs (noté 1° FEUILLES).

A la récolte, après 42 jours de croissance, nous avons recueilli le reste des parties aériennes (noté TIGES + FEUILLES).

Caractéristiques

ÉLÉMENTS	NATURE DU MATÉRIAU PRÉSENT DANS LA PARTIE INFÉRIEURE DE LA COLONNE	poids g	%N	QN mg	E%	15		R.A.S	14		SOLUTION FERTILISANTE
						Q N ug	%C		Q C	KBq	
TEMOIN	SABLE.....	250,00	0,00	0,00	/	/	0,00	0,00	/		NITRATE DE CALCIUM 15N E%=2,18%
											QN intro. 4,00 mg
S+R GA	SABLE.....	250,00	0,00	0,00	/	/	0,00	0,00	/		NITRATE DE CALCIUM NON MARQUE
	RACINES 15N.....	1,50	0,77	11,55	6,51	751,90	40,00	0,00	0,00		QN intro. 8,00mg
R 14C 15N	SABLE.....	250,00	0,00	0,00			0,00	0,00			NITRATE DE CALCIUM NON MARQUE
	RACINES 14C 15N.....	1,50	0,74	11,10	17,14	1902,50	33,00	2520,00	1247,40		QN intro. 8,00mg
SOL	FRACTION INF à 200u du SOL..... de la col. 4	175,00	0,18	315,00	0,055	173,30	2,05	11,00	39,46		NITRATE DE CALCIUM NON MARQUE QN intro. 8,00mg
SOL+R	FRACTION INF à 200u du SOL..... de la col. 4	175,00	0,18	315,00	0,055	173,30	2,05	11,00	39,46		NITRATE DE CALCIUM NON MARQUE
	RACINES 14C 15N.....	1,50	1,18	17,70	12,340	2184,20	31,00	2845,00	1322,93		QN intro. 8,00mg

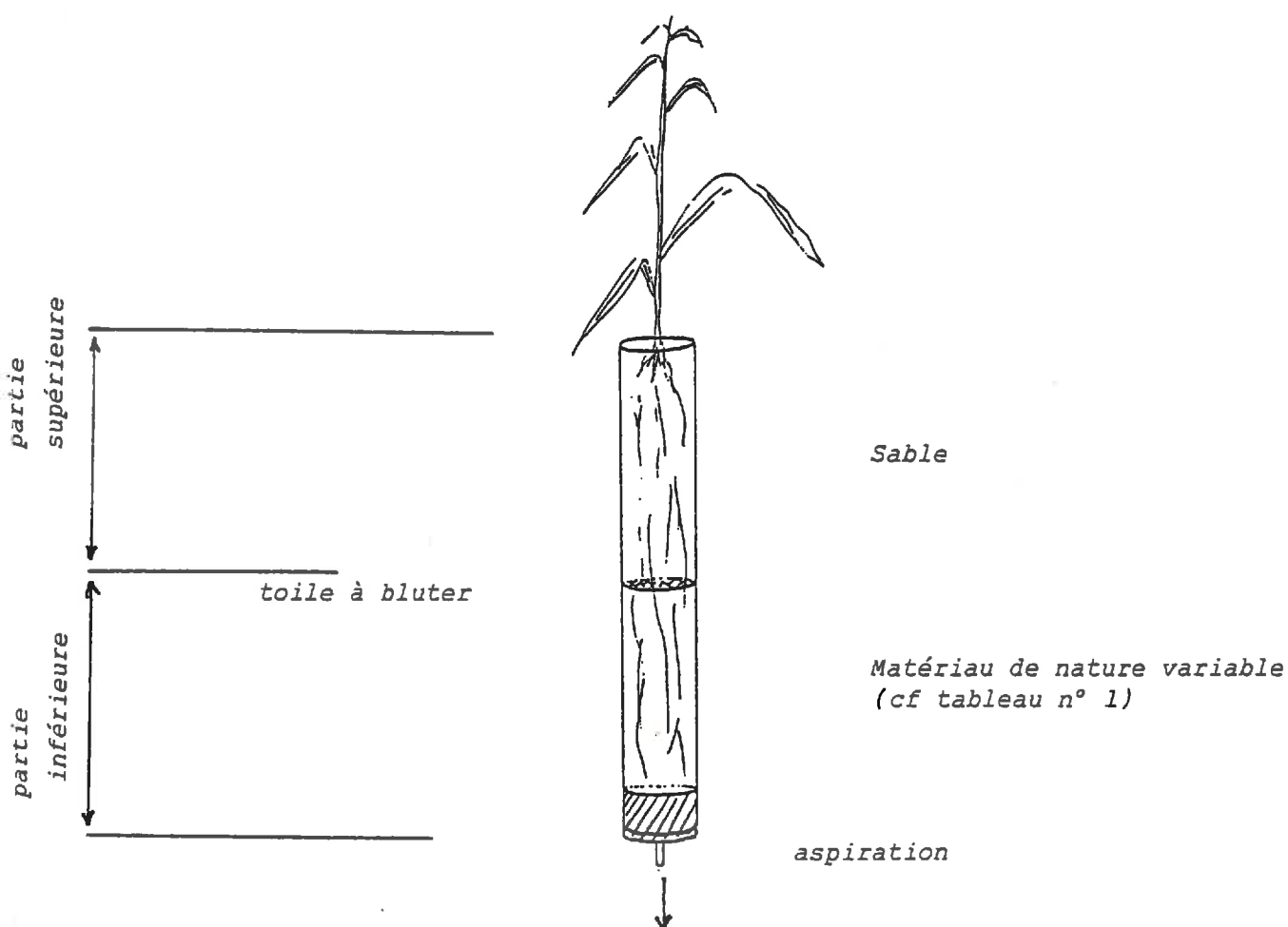
SOLUTIONS MERES	CONCENTRATION (g/l)	SOLUTION NUTRITIVE CONCENTRATION (ml/l)	SOLUTION NITRATE (ml/l)
SULFATES : HNO3 pur Mg SO4 7H2O FeSO4 7H2O	6 ml 247 10	2	
OLIGO-ELEMENTS Na2MgO4 2H2O MnSO4 H2O ZnSO4 7H2O H3 BO3 CuSO4 5H2O	0,13 3,08 4,41 2,86 0,98	0,2	
PHOSPHATES KH2PO4	68,5	2	
NITRATES KNO3 Ca(NO3)2	164 164		4

Les racines ont été divisées en deux lots :

- celles ayant crues dans la partie supérieure de la colonne. (Noté RACINES HAUTES).
- celles de la partie inférieure (noté RACINES BASSES).

Il est important de signaler que nous avons attaché un soin tout particulier au lavage (à l'eau) de ces racines, afin d'éliminer les éventuels débris organiques absorbés à leur périphérie.

Figure n° 1 - Schéma du dispositif de la culture de maïs en colonne de verre.



## A N N E X E M 8 Ter

### CULTURE EN SERRE

#### Culture de Ray-Grass

Nous avons réparti le matériel de la colonne n° 5, en 18 pots de 200 g. La moitié d'entre eux est cultivée dans les mêmes conditions que la culture de maïs, sans apport d'engrais minéral (traitement T) les autres ont reçu un apport supplémentaire d'azote nitrique (50 p.p.m. - traitement F). La récolte des parties aériennes et la séparation des racines ont été pratiquées après 3, 6 et 9 semaines de cultures et sur trois répétitions. Cependant, devant l'impossibilité de piéger le CO<sub>2</sub> dégagé, nous n'avons pas effectué le bilan du carbone.

## ANNEXE M 9

### INCUBATION - FUMIGATION

Quatre répétitions ont été faites par traitement. Chaque répétition est représentée par un poids de sol sec de 40 g placé dans un bécher de 100 ml. Ceux-ci ont été placés dans une étuve à vide de 50 litres, en présence de 150 ml de chloroforme débarrassé de la plus grande partie de son éthanol. Cette fumigation réalisée sous vide a duré 16 h à la température du laboratoire. Les bécjers contenant la série de sols témoins non fumigés étaient recouverts d'une feuille d'aluminium et abandonnés à la température du laboratoire, pendant le même intervalle de temps.

Après 16 h, l'atmosphère de l'étuve a été rincée 4 fois par des successions de mise sous vide et de mise à la pression atmosphérique.

### INCUBATION

Après le rinçage, le contenu de chaque bécher est transféré dans une fiole à plasma. L'humidité du sol est maintenue à une valeur voisine de la capacité de rétention. Une fiole plastique, contenant 10 ml de soude 0,2N est placée dans chaque fiole afin de piéger le gaz carbonique formé. Les fioles, hermétiquement bouchées, ont été mises à incuber à 28° C, pendant 28 jours ; deux dates intermédiaires de prélèvements ont été choisies : 7 et 14 Jours.

### ANALYSES CHIMIQUES

\* CO<sub>2</sub> total dégagé : le CO<sub>2</sub> piégé lors de l'incubation est dégagé par acidification de la soude et mis au contact d'un tampon

carbonate-bicarbonate coloré par la phénolphtaléine. Selon la concentration en  $\text{CO}_2$ , le déplacement de l'équilibre carbonate-bicarbonate se traduit par une décoloration plus ou moins importante qui est enregistrée par colorimétrie à 570 nm.

\*  $\text{CO}_2$  marqué au carbone 14 : 1 ml de la soude ayant piégée le  $\text{CO}_2$  est placé dans une fiole à scintillation avec 10 ml de mélange scintillant. La radioactivité de ce mélange est alors mesurée avec un scintillateur PACKARD.

\* Azote minéral : l'azote minéral de chaque fiole d'incubation est extrait par 200 ml de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  1N lors d'une agitation pendant 1 heure. Une fraction de cete solution a été filtrée puis analysée.

- nitrates : une fraction de la solution de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  est incorporée dans une solution de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Les nitrates sont alors réduits en nitrites par passage dans une colonne de cadmium cuivré. Ceux-ci forment un composé coloré rose pourpre qui est dosé par colorimétrie à 520 nm.

- amonium : l'amonium contenu dans une fraction de la solution de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  est dosé par colorimétrie à 625 nm.

## A N N E X E M 9 bis

### TRAITEMENTS INCUBATION-FUMIGATION MIS EN PLACE

Nous avons appliqué la technique incubation-fumigation décrite en annexe M9, sur les échantillons suivants :

#### 1) Matériel de la colonne n° 5

Il s'agit donc des deux répétitions de la culture effectuée, sur le sol brun acide ( annexe M1) en chambre de végétation (annexe M 2).

Après la période de conservation, l'ensemble du système sol-racines, dont le détail des caractéristiques apparaît au tableau IV I 2, contient 2,26 ppm d'azote  $^{15}$ N, dont 1/3 se localise au niveau des racines, d'excès isotopique de 6,64 %. Le carbone de ces racines possède une radioactivité spécifique de 1636 kBq/gC.

#### 2) Matériel de la colonne n° 4 :

Il s'agit de l'autre répétition de la culture effectuée en chambre de végétation (annexe M2).

##### a) Le système sol-racines (tableau IV I 3).

Après la période de conservation, l'ensemble du système sol-racines contient 1,77 mg  $^{15}$ N/Kg de sol dont 30 % se localise au niveau des racines. Leur carbone possède une radioactivité spécifique de 2845 k Bq/ g de C.

##### b) Le système sol (tableau IV I)

Après avoir tamisé le système sol-racines à 2 mm, nous obtenons le sol débarrassé des racines grossières.

##### c) La fraction de sol inférieure à 200 $\mu$ m

Cette fraction a été obtenue après un tamisage sous eau à 200  $\mu$ m du système sol.

L'azote essentiellement organique, contenu dans cete fraction possède un excès isotopique de 0,055 %.

*Ces incubations ont été réalisées à l'INRA de DIJON par M. B. Nicolardot auquel je tiens à renouveler mes remerciements.*

## A N N E X E M 10

### DOSAGE CHIMIQUE DE L'AZOTE

#### Dosage des formes minérales $\text{NH}_4^+$ et $\text{NO}_3^-$

Le dosage des formes ammoniacales et nitriques des extraits KCl ont été dosés par les techniques décrites par Bremmer (1965). L'azote ammoniacal puis nitrique après réduction en ammonium par l'alliage de DEWARDA, ont été distillés successivement par entraînement à la vapeur en présence de magnésie. Les distillats sont recueillis dans  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1N. par suite de la présence de quantités importantes de carbonates dans la magnésie, les distillats ont été systématiquement redistillés après remontée de leur pH en milieu basique. L'ammonium recueilli dans  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a été ensuite dosé en retour avec NaOH 0,1N.

#### Dosage de l'azote total du sol.

L'azote total a été dosé par la méthode Kjeldahl-Olsen (GUIRAUD et FARGEAU 1977) ; après réduction à chaud des nitrates en milieu acide par du fer réduit, l'azote organique est minéralisé par un catalyseur (Se,  $\text{CuSO}_4$ ,  $5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  dans la proportion 4/10/20) en présence  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentré.

Après minéralisation, l'échantillon est distillé par entraînement de vapeur, en milieu basique. L'ammonium recueilli dans  $\text{H}_2\text{SO}_4$  est dosé comme précédemment.

# **ANNEXES**

## **TABLEAUX**

TABLEAU N°: III.II.1

EVOLUTION DE L'AZOTE MINERAL DU SOL AU COURS DE LA CULTURE.  
(résultats exprimés à l'hectare.)

	25/04/84 SEMIS			13/06/84			09/07/84			21/08/84			RECOLTE		
	QN Kg/ha.	E% 15	Q N Kg/ha.	QN Kg/ha.	E% 15	Q N Kg/ha.	QN Kg/ha.	E% 15	Q N Kg/ha.	QN Kg/ha.	E% 15	Q N Kg/ha.	QN Kg/ha.	E% 15	Q N Kg/ha.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>															
3	apport 140,00	18,50	24,030												
	29,00		26,40	3,90	1,030	9,60	2,70	0,260	9,60	0,650	0,040	32,10	0,820	0,260	
20-40cm	30,00		44,10	8,50	3,750	4,90	2,50	0,170	10,80	1,70	0,180	20,10	1,63	0,330	
40-60cm	30,30		47,40	11,00	5,210	39,00	10,50	4,100	14,40	9,80	1,410	31,20	6,17	1,930	
Tot. NITRA	229,30	11,35%	24,030	117,90	8,47%	9,990	55,50	8,16%	4,530	34,80	4,74%	1,650	83,40	3,02%	2,520
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>															
4	0,00		0,000	0,00	0,000	0,00	0,400	0,100	16,50	0,400	0,080	20,70	0,400	0,180	
Tot. N min	229,30	11,35%	24,030	117,90	8,47%	9,990	72,00	6,43%	4,630	55,50	3,12%	1,730	105,90	2,55%	2,700

TABLEAU N° III. II. 2

CALCULS DES VALEURS DE OB (r et m) POUR LES PRELEVEMENTS INTERMEDIARES.  
(résultats exprimés en Kg N/ha.)

	SEMIS 25/04/84	13/06/84	09/07/84	21/08/84	RECOLTE 1/10/84
<b>N minéral</b>					
0-60cm					
15 g N Kg/ha.	26,00	10,00	4,50	1,70	2,50
E%	11,35	8,47	6,43	3,12	2,55
E% Moy.		9,91	7,45	4,78	2,83
<b>Composante de T.O</b>					
OB (r et m)					
15 Kg /ha. g N	0,00	1,18	3,15	3,66	5,50
15 delta g N		1,18	1,97	0,51	1,84
OB (r et m)		11,9	26,4	10,7	65,0

TABLEAU N° III.II.3

CALCULS DES VALEURS DE P.B POUR LES PRELEVEMENTS INTERMEDIARES.  
(résultats exprimés en kg N/ha.).

	SEMIS 25/04/84	13/06/84	09/07/84	21/08/84	RECOLTE 1/10/84
<hr/>					
N minéral					
0-60cm					
15					
Q N	26,00	10,00	4,50	1,70	2,50
Kg/ha.					
EX	11,35	8,47	6,43	3,12	2,55
EX Moy.		9,91	7,45	4,78	2,83
<hr/>					
Composante de T.D					
P.B					
N minéral 60-100					
15					
Q N	0,00	14,22	9,57	11,34	3,71
15					
delta Q N	14,22	-4,65	1,77	-7,63	
P.B	143,50	-62,40	37,00	-269,60	
1					
N minéral lixivié					
15					
Q N	0,00	0,03	0,10	0,10	0,16
15					
delta Q N	0,03	0,07	0,00	0,06	
P.B	0,30	1,00	0,00	2,00	
2					
<hr/>					
P.B	143,80	-61,40	37,00	-267,60	

TABLEAU N° III.11.4

EVOLUTION DE L'AZOTE MINERAL DU SOL AU COURS DE L'HIVER SUIVANT LA RECOLTE  
(résultats exprimés à l'hectare.)

	01/10/84 RECOLTE			12/12/84			24/01/85			26/03/85		
	QN Kg/ha.	EX %	15 Q N Kg/ha.	QN Kg/ha.	EX %	15 Q N Kg/ha.	QN Kg/ha.	EX %	15 Q N Kg/ha.	QN Kg/ha.	EX %	15 Q N Kg/ha.
<sup>NO</sup> <sub>3</sub>												
0-20cm	32,10	0,820	0,260	24,60	0,140	0,030	22,50	0,300	0,070	10,50	0,290	0,030
20-40cm	20,10	1,63	0,330	23,10	0,180	0,040	19,50	0,400	0,080	10,50	0,270	0,030
40-60cm	31,20	6,17	1,930	22,80	0,510	0,120	18,00	1,00	0,180	9,90	0,300	0,030
Tot. NITRA	83,40	3,02%	2,520	70,50	0,270%	0,190	60,00	0,550%	0,330	30,90	0,290%	0,090
<sup>NH</sup> <sub>4</sub>												
0-60cm	22,50	0,780	0,180	21,80	0,250	0,050	0,00	0,000	0,000	16,20	0,160	0,030
Tot. N min	105,90	2,55%	2,700	92,30	0,260%	0,240	60,00	0,550%	0,330	47,10	0,250%	0,120

TABLEAU N°III.II.5

CINETIQUE DE L'AZOTE MINERAL LIXIVIE AU COURS DE L'HIVER  
 SUIVANT LA RECOLTE .  
 (résultats exprimés pour 1000g de sol).

DATE	Q N kg	E%	15 Q N kg	% Engrais
06/11/84	27,60	4,43	1,22	4,70%
08/11/84	13,80	4,33	0,60	2,30%
12/12/84	28,50	4,93	1,41	5,40%
24/01/85	6,24	4,23	0,26	1,00%
26/03/85	22,40	3,71	0,83	3,20%
TOTAL	98,54	4,40%	4,32	16,60%

TABLEAU N° III.II.6

: EVOLUTION DU STOCK D'EAU  
 DURANT L'HIVER SUIVANT LA RECOLTE.  
 (résultats exprimés en mm/m<sup>2</sup>).

	RECOLTE			
	01/10/84	12/12/84	24/01/85	26/03/85
<b>ENTREES</b>				
Pluie		227,10	52,50	159,00
Irrigation		0,00	0,00	0,00
<b>SORTIES</b>				
E.T.P		60,00	0,00	0,00
Drainage		105,00	17,00	72,00
<b>STOCK EAU</b>				
0-20cm	47,10	50,00	53,10	59,40
20-40cm	43,50	50,00	51,00	57,90
40-60cm	35,00	50,00	50,70	57,30
-----				
TOTAL 0-60cm	125,60	150,00	154,80	174,60
-----				
60-100cm	50,70	88,40	119,10	186,30
	*	*	*	*

(Les chiffres avec une \* sont calculés.)

TABLEAU N° IV.1.1

14 15 14 12  
 BILAN N, N et C, C DU SYSTEME SOL PLANTE (colonne N°5)  
 APRES LA CULTURE EN CONDITIONS CONTROLEES  
 (resultats pour 1000g de sol)

	QN mg	E%	15 Q N mg	% Apport 15 N	QC g	R.A.S KBq/g C	14 Q C KBq	C/N
PARTIES AERIENNES	129,30	16,60	21,50	80,20	4,61	249,40	1151	36
RACINES	19,10	11,20	2,10	8,90	0,81	2330,00	1880	42
SOL SEUL	1623,00	0,090	1,46	6,10				
TOTAL SOL RACINES	1642,10	0,220	3,56	15,00				

TABLEAU N° IV.1.2

14 15 12 14  
 BILAN N, N et C, C DU SYSTEME SOL RACINES (colonne N°5)  
 APRES LA PERIODE DE CONSERVATION: SOL INITIAL CULTURE EN SERRE  
 (résultats exprimés pour 1000g de sol)

	POIDS g	%N	GN mg	EX	15 Q N ug	%C	QC g	R.A.S KBq/g C	14 Q C KBq
SOL TOTAL	1000,00	0,17	1700,00	0,133	2261	1,60	16,000	42,00	672
FRACTIONS									
RACINES identifiables	1,18	1,10	13,00	6,64	863	27,10%	0,320	1636,00	524
DEBRIS	0,68	1,03	7,00	3,84	269	30,90%	0,210	571,00	120
Hydrosoluble			75,00	0,420	315	N-D	N-D	N-D	N-D
SOL débarrassé des racines et des débris	998,14	0,157	1567,10	0,064	1003	1,60%	16,000	1,20	19
BILAN	1000,00		1642,10		2450		16,530		663
			98%		108%		103%		99%

TABLEAU N° IV.1.3

14 15 12 14  
 BILAN N, N et C, C DU SYSTEME SOL RACINES (colonne N°4)  
 APRES LA PERIODE DE CONSERVATION (sans horizon 0-20 cm)  
 (résultats exprimés pour 1000g de sol)

	POIDS g	%N	QN mg	EX	15 Q N ug	%C	OC g	R.A.S KBq/g C	14 Q C KBq
SOL TOTAL	1000,00	0,15	1500,00	0,118	1770	1,35	13,500	45,60	616
<b>FRACTIONS</b>									
1) RACINES identifiables	0,340	1,18	4,00	12,34	494	31,00	0,110	2845,00	313
2) SOL débarrass des racines et des débris									
* N minéral + NH 4			9,70	1,32	128				
NO 3			20,70	1,23	255				
* N organique	998,00	0,15	1497,00	0,061	913	1,34	13,370	23,60	316
<b>BILAN</b>	<b>998,340</b>		<b>1531,40</b>		<b>1790,00</b>		<b>13,480</b>		<b>629</b>
	<b>99,80%</b>		<b>102,10%</b>		<b>101,10%</b>		<b>99,90%</b>		<b>102,10%</b>

TABLEAU N° IV.1.4

: CARACTERISTIQUE DE LA FRACTION INF. A 200 um  
DU SOL DE LA COLONNE N° 4.

	POIDS g	%N	QN mg	E%	15 Q N ug
SOL INF 200um	1000	0,18	1800,00	0,055	990,000
N mineral (KCl)					
+					
NH <sub>4</sub>			0,017	0,940	0,160
-					
NO <sub>3</sub>			0,004	0,080	0,003
N organ.			1799,98	0,055%	989,837

TABLEAU N° IV.1.5

BILAN DE L'HYDROLYSE ACIDE DE LA FRACTION INF. A 50u  
(resultats pour 1000 g de la fraction)

	%N	QN g	E% %	15 Q N mg
fraction de depart	0,15	1,500	0,044	0,660
-----				
fractions de l'hydrolyse				
N.S.T		1,000	0,044	0,440
N.S.A.D		0,400	0,031	0,124
N.S.A.N.D (calcule)		0,600	0,053%	0,316
N.I.A		0,500	0,013	0,065
<hr/>				
BILAN		1,500		0,505
		100,00%		76,50%

TABLEAU N°IV.II.2

CO DEGAGE DURANT L'INCUBATION DU SYSTEME SOL-RACINES DE LA COLONNE N°5  
2

## APRES LA FUMIGATION

TEMPS J	FUMIG.									
	3	7	10	15	15+3	15+7	15+10	15+14	15+21	15+28
mgC-CO <sub>2</sub> /Kg sol (cumulé)	27,10	46,30	68,40	91,90	157,90	191,70	210,02	233,32	274,32	307,62
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	343150	756191	1053107	1422732	2656965	3078932	3292465	3548932	3947298	4579266
Bq/mg C-CO <sub>2</sub> (cumulé)	211,00	272,20	256,60	258,00	280,40	267,70	261,30	253,50	239,80	248,10
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	5,70	12,60	17,60	23,70	44,30	51,30	54,90	59,10	65,80	76,30
<sup>14</sup> % Q C intro.	0,80%	1,90%	2,60%	3,50%	6,60%	7,60%	8,20%	8,80%	9,80%	11,40%

## SANS FUMIGATION

TEMPS J	SANS FUMIGATION									
	3	7	10	15	15+3	15+7	15+10	15+14	15+21	15+28
mgC-CO <sub>2</sub> /Kg sol (cumulé)	27,10	46,30	68,40	91,90	108,98	129,40	145,30	167,30	209,80	247,20
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	343150	756191	1053107	1422732	1648965	1950965	2149765	2386865	2792065	3156132
Bq/mg C-CO <sub>2</sub> (cumulé)	211,00	272,20	256,60	258,00	252,20	251,30	246,60	237,80	221,80	212,80
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	5,70	12,60	17,60	23,70	27,50	32,50	35,80	39,80	46,50	52,60
<sup>14</sup> % Q C intro.	0,80%	1,90%	2,60%	3,50%	4,10%	4,80%	5,30%	5,90%	6,90%	7,80%

TABLEAU N° IV.11.3

AZOTE MINERALISE DURANT L'INCUBATION DU SYSTEME  
SOL-RACINES DE LA COLONNE N°5.  
(résultats exprimés pour 1000g de sol)

SANS FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	QN mg	EX	15 Q N mg	QN mg	EX	15 Q N mg	QN mg	EX	15 Q N mg
-24	11,93	0,190	0,020	89,61	0,430	0,390	101,54	0,400%	0,410
0	15,33	0,290	0,040	92,61	0,420	0,390	107,94	0,400%	0,430
+7	13,73	0,270	0,040	92,01	0,480	0,440	105,74	0,450%	0,480
+14	13,97	0,170	0,020	95,01	0,480	0,460	108,98	0,440%	0,480
+28	9,43	0,440	0,040	90,17	0,490	0,440	99,60	0,480%	0,480

## N ORGANIQUE K2S04

Temps d'incubation en jours	QN mg	EX	15 Q N mg
-24	51,46	0,190	0,100
0	43,06	0,220	0,090
+7	70,86	0,170	0,120
+14	49,02	0,150	0,070
+28	96,40	0,270	0,260

APRES LA FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	QN mg	EX	15 Q N mg	QN mg	EX	15 Q N mg	QN mg	EX	15 Q N mg
-24	11,93	0,190	0,020	89,61	0,430	0,390	101,54	0,400%	0,410
FUMIGATION 0	15,33	0,290	0,040	92,61	0,420	0,390	107,94	0,400%	0,430
+7	25,68	0,530	0,140	87,34	0,470	0,410	113,02	0,490%	0,550
+14	28,37	0,540	0,150	88,37	0,450	0,400	116,74	0,470%	0,550
+28	26,93	0,690	0,190	87,30	0,470	0,410	114,23	0,530%	0,600

## N ORGANIQUE K2S04

Temps d'incubation en jours	QN mg	EX	15 Q N mg
-24	51,46	0,190	0,100
FUMIGATION 0	43,06	0,220	0,090
+7	93,59	0,280	0,260
+14	55,26	0,150	0,080
+28	89,17	0,270	0,240

TABLEAU N° IV. II. 4

CALCUL DES INDICES I : SYSTEME SOL-RACINES DE LA COLONNE N° 4  
C

(sol contenant les racines.)

	3	7	10	14	17	21	24	24+3	24+7	24+10	24+14	24+21	24+28
INCUBATION													
C-CO <sub>2</sub>	820%	860%	940%	990%	700%	790%	560%	910%	810%	730%	700%	660%	490%
FUMIGATION													
								FUMI.					
C-CO <sub>2</sub>	820%	860%	940%	990%	700%	790%	560%	960%	590%	680%	580%	560%	440%

TABLEAU N°IV.II.5

CO DEGAGE DURANT L'INCUBATION DU SYSTEME SOL-RACINES DE LA COLONNE N°4.

2

SANS FUMIGATION

TEMPS J	3	7	10	14	17	21	24	24+3	24+7	24+10	24+14	24+21	24+28
mgC-CO2/kg sol (cumulé)	91,40	161,50	197,10	231,80	263,10	294,50	320,00	336,20	355,90	370,70	389,20	419,00	452,70
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	2060798	3714514	4630173	5566420	6168408	6848606	7237690	7638912	8074194	8370957	8726755	9264944	9715754
Bq/mg C-CO2 (cumulé)	375,80	383,30	391,50	400,20	390,80	387,60	377,00	378,70	378,10	376,40	373,70	368,50	357,78
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	34,30	61,90	77,20	92,80	102,80	114,10	120,60	127,30	134,60	139,50	145,40	154,40	161,98
<sup>14</sup> % Q C intro.	5,60%	10,00%	12,50%	15,10%	16,70%	18,50%	19,60%	20,70%	21,90%	22,60%	23,60%	25,10%	26,30%

APRES LA FUMIGATION

TEMPS J	FUMI.												
	3	7	10	14	17	21	24	24+3	24+7	24+10	24+14	24+21	24+28
mgC-CO2/Kg sol (cumulé)	91,40	161,50	197,10	231,80	263,10	294,50	320,00	371,40	401,50	416,20	435,10	462,40	490,00
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	2060798	3714514	4630173	5566420	6168408	6848606	7237690	8586715	9068942	9344065	9643999	10062698	10397815
Bq/mg C-CO2 (cumulé)	375,80	383,30	391,50	400,20	390,80	387,60	377,00	385,30	376,50	374,20	369,40	362,70	353,70
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	34,30	61,90	77,20	92,80	102,80	114,10	120,60	143,10	151,20	155,70	160,70	167,70	173,30
<sup>14</sup> % Q C intro.	5,60%	10,00%	12,50%	15,10%	16,70%	18,50%	19,60%	23,20%	24,50%	25,30%	26,10%	27,20%	28,10%

TABLEAU N° IV. II. 6

AZOTE MINERALISE DURANT L'INCUBATION DU SYSTEME  
SOL-RACINES DE LA COLONNE N°4.  
(résultats exprimés pour 1000g de sol)

SANS FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	QN	EX	15	QN	EX	15	QN	EX	15
	mg		Q N	mg		Q N	mg		Q N
-24	15,66	0,470	0,100	8,66	1,070	0,090	24,32	0,780%	0,190
0	23,40	0,560	0,130	20,76	1,070	0,220	44,16	0,790%	0,350
+7	16,30	0,470	0,080	26,86	1,040	0,280	43,16	0,830%	0,360
+14	9,53	0,610	0,060	29,83	1,070	0,320	39,36	0,970%	0,380
+28	6,20	0,490	0,030	34,00	0,960	0,330	40,20	0,900%	0,360

N ORGANIQUE K2S04

Temps d'incubation en jours	QN	EX	15
	mg		Q N
-24	45,04	0,050	0,020
0	47,04	0,220	0,100
+7	58,51	0,250	0,150
+14	56,20	0,250	0,140
+28	58,20	0,260	0,150

APRES LA FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	QN	EX	15	QN	EX	15	QN	EX	15
	mg		Q N	mg		Q N	mg		Q N
-24	15,66	0,470	0,100	8,66	1,070	0,090	24,32	0,780%	0,190
FUMIGATION 0	23,40	0,560	0,130	20,70	1,070	0,220	44,10	0,790%	0,350
+7	30,54	0,580	0,180	24,23	1,040	0,250	54,77	0,790%	0,430
+14	26,46	0,690	0,180	23,83	1,070	0,250	50,29	0,860%	0,430
+28	30,61	0,610	0,190	21,76	1,020	0,220	52,37	0,780%	0,410

N ORGANIQUE K2S04

Temps d'incubation en jours	QN	EX	15
	mg		Q N
-24	45,04	0,050	0,020
FUMIGATION 0	47,04	0,220	0,100
+7	54,23	0,250	0,140
+14	59,68	0,160	0,100
+28	58,63	0,290	0,170

TABLEAU N° IV.11.7

CALCUL DES INDICES I<sub>C</sub> : SYSTEME SOL DE LA COLONNE N°4

(sol sans les racines.)

	3	7	10	14	17	21	24	24+3	24+7	24+10	24+14	24+21	24+28
INCUBATION													
C-CO <sub>2</sub>	1300%	1200%	1180%	1080%	870%	740%	740%	990%	800%	840%	690%	760%	620%
FUMIGATION													
C-CO <sub>2</sub>	1300%	1200%	1180%	1080%	870%	740%	740%	1420%	700%	760%	650%	670%	490%

TABLEAU N° IV.11.8

CO DEGAGE DURANT L'INCUBATION DU SYSTEME SOL (sans racines) DE LA COLONNE N° 4.  
2

## SANS FUMIGATION

TEMPS J	3	7	10	14	17	21	24	24+3	24+7	24+10	24+14	24+21	24+28
mgC-CO <sub>2</sub> /kg sol (cumulé)	80,60	140,70	170,30	203,20	229,00	260,70	280,00	295,30	315,00	328,00	345,90	372,70	400,80
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	1486263	2505073	2999304	3503294	3819408	4151294	4354386	4569648	4793500	4947977	5123860	5413157	5660299
Bq/mg C-CO <sub>2</sub> (cumulé)	307,30	296,70	293,50	287,30	278,00	265,40	259,20	257,90	253,60	251,40	246,90	242,10	235,40
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	24,80	41,70	50,00	58,40	63,70	69,20	72,60	76,20	79,90	82,50	85,40	90,20	94,30
<sup>14</sup> % Q C intro.	7,80%	13,20%	15,80%	18,50%	20,20%	21,90%	23,00%	24,10%	25,30%	26,10%	27,00%	28,50%	29,80%

## APRES FUMIGATION

FUMI.

TEMPS J	3	7	10	14	17	21	24	24+3	24+7	24+10	24+14	24+21	24+28
mgC-CO <sub>2</sub> /kg sol (cumulé)	80,60	140,70	170,30	203,20	229,00	260,70	280,00	324,60	353,70	368,30	386,00	410,30	437,30
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	1486263	2505073	2999304	3503294	3819408	4151294	4354386	5251049	5538198	5695185	5858218	6087256	6274136
Bq/mg C-CO <sub>2</sub> (cumulé)	307,30	296,70	293,50	287,30	278,00	265,40	259,20	269,60	261,00	257,70	252,90	247,30	239,10
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	24,80	41,70	50,00	58,40	63,70	69,20	72,60	87,50	92,30	94,90	97,60	101,50	104,60
<sup>14</sup> % Q C intro.	7,80%	13,20%	15,80%	18,50%	20,20%	21,90%	23,00%	27,70%	29,20%	30,00%	30,90%	32,10%	33,10%

TABLEAU N° IV.11.9

AZOTE MINERALISE DURANT L'INCUBATION DU SYSTEME  
SOL (sans racines) DE LA COLONNE N°4.  
(résultats exprimés pour 1000g de sol)

SANS FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	GN mg	E%	15 Q N mg	GN mg	E%	15 Q N mg	GN mg	E%	15 Q N mg
-24	15,66	0,670	0,100	8,66	1,070	0,090	24,32	0,780%	0,190
0	23,80	0,540	0,130	22,33	1,060	0,240	46,13	0,800%	0,370
+7	18,76	0,410	0,080	31,90	0,950	0,300	50,66	0,750%	0,380
+14	9,33	0,460	0,040	31,16	0,980	0,310	40,49	0,860%	0,350
+28	9,20	0,460	0,040	36,76	0,920	0,340	45,96	0,830%	0,380

N ORGANIQUE K2SO4

Temps d'incubation en jours	GN mg	E%	15 Q N mg
-24	45,04	0,050	0,020
0	47,00	0,150	0,070
+7	49,30	0,120	0,060
+14	48,91	0,150	0,070
+28	52,90	0,160	0,080

APRES LA FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	GN mg	E%	15 Q N mg	GN mg	E%	15 Q N mg	GN mg	E%	15 Q N mg
-24	15,66	0,670	0,100	8,66	1,070	0,090	24,32	0,780%	0,190
FUMIGATION 0	23,80	0,540	0,130	22,33	1,060	0,240	46,13	0,800%	0,370
+7	29,90	0,490	0,150	27,70	0,980	0,270	57,60	0,730%	0,420
+14	26,83	0,580	0,160	26,40	0,930	0,250	53,23	0,770%	0,410
+28	31,90	0,540	0,170	25,25	0,950	0,240	57,15	0,720%	0,410

N ORGANIQUE K2SO4

Temps d'incubation en jours	GN mg	E%	15 Q N mg
-24	45,04	0,050	0,020
FUMIGATION 0	47,00	0,150	0,070
+7	47,90	0,190	0,090
+14	54,27	0,180	0,100

TABLEAU N° IV. II. 10

CO DEGAGE DURANT L'INCUBATION DE LA FRACTION  
2  
INFERIEURE à 200 µm DU SOL DE LA COLONNE N° 4.

SANS FUMIGATION						
TEMPS J	3	7	10	14	21	28
mgC-CO <sub>2</sub> /Kg sol (cumulé)	64,30	124,20	156,50	185,90	256,80	307,90
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	750633	1390367	1698733	2014067	2417900	2701300
Bq/mg C-CO <sub>2</sub> (cumulé)	194,60	185,20	179,80	180,60	156,90	146,20
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	12,50	23,00	28,10	33,60	40,30	45,00
<sup>14</sup> % Q C intro.	7,20%	13,30%	16,20%	19,40%	23,30%	26,00%
APRES FUMIGATION						
TEMPS J	FUMI. 3	7	10	14	21	28
mgC-CO <sub>2</sub> /Kg sol (cumulé)	103,60	171,90	207,00	240,10	303,30	352,80
R.A.S D.P.M/Kg sol (cumulé)	1618267	2355933	2685567	3003067	3376833	3634200
Bq/mg C-CO <sub>2</sub> (cumulé)	260,30	228,40	216,20	208,50	185,60	171,70
<sup>14</sup> Q C respire KBq/Kg sol	27,00	39,30	44,80	50,10	56,30	60,60
<sup>14</sup> % Q C intro.	15,60%	22,70%	25,90%	29,00%	32,50%	35,00%

TABLEAU N°IV.II.11

CALCUL DES INDICES I :

FRACTION INFERIEURE <sup>C</sup> à 200 um DU SOL  
DE LA COLONNE N°4.

	3	7	10	14	21	28
INCUBATION						
C-CO 2	1760%	1460%	1330%	1540%	790%	770%
FUMIGATION						
C-CO 2	1760%	1500%	1300%	1330%	820%	720%

TABLEAU N° IV.11.12

AZOTE MINERALISE DURANT L'INCUBATION DE LA FRACTION  
 INFÉRIEURE à 200 µm DU SOL DE LA COLONNE N°4.  
 (résultats exprimés pour 1000g de sol).

APRES FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	QN	E%	15 Q N	QN	E%	15 Q N	QN	E%	15 Q N
	mg		mg	mg		mg	mg		mg
-24	14,00	0,940	0,130	0,00	0,000	0,000	14,00	0,930%	0,130
FUMIGATION 0	30,10	0,560	0,170	7,03	0,360	0,030	37,13	0,540%	0,200
+7	50,50	0,490	0,250	5,28	0,420	0,020	55,78	0,480%	0,270
+14	62,00	0,450	0,280	6,36	0,420	0,030	68,36	0,450%	0,310
+28	63,10	0,480	0,300	6,56	0,420	0,030	69,66	0,470%	0,330

N ORGANIQUE K2SO4

Temps d'incubation en jours	QN	E%	15 Q N
	mg		mg
-24	0,00	0,000	0,000
FUMIGATION 0	57,10	0,110	0,060
+7	62,12	0,080	0,050
+14	44,24	0,020	0,010
+28	59,24	0,070	0,040

SANS FUMIGATION

Temps d'incubation en jours	AMMONIUM			NITRATE			TOTAL AZOTE MINERAL		
	QN	E%	15 Q N	QN	E%	15 Q N	QN	E%	15 Q N
	mg		mg	mg		mg	mg		mg
-24	14,00	0,940	0,130	0,00	0,000	0,000	14,00	0,930%	0,130
0	30,10	0,560	0,170	7,03	0,360	0,030	37,13	0,540%	0,200
+7	32,80	0,480	0,160	10,80	0,590	0,060	43,60	0,500%	0,220
+14	27,90	0,380	0,110	16,80	0,540	0,090	44,70	0,450%	0,200
+28	17,80	0,360	0,060	30,60	0,590	0,180	48,40	0,500%	0,240

N ORGANIQUE K2SO4

Temps d'incubation en jours	QN	E%	15 Q N
	mg		mg
-24	0,00	0,000	0,000
0	57,10	0,110	0,060
+7	71,40	0,100	0,070
+14	58,30	0,280	0,160
+28	57,20	0,070	0,040

TABLEAU N° IV. III. 1

REPARTITION DU CARBONE(14C,12C) ET DE L'AZOTE(15N,14N)  
DANS LES PARTIES AERIENNES AU COURS DE LA CULTURE DE MAIS EN POT.  
(resultats exprimes pour 1000g de sol)

	POIDS g	%N	QN mg	E%	15 Q N ug	C.R.U	%C	QC mg	R.A.S KBq/g C	14 Q C Bq	14 %Q C depart	C/N
SOL TOTAL DEPART	1000,00	0,17	1700,00	0,133	2261	100,00%	1,60	16000,00	42,00	672000	100,00%	9,4
<hr/>												
PARTIES AERIENNES DU MAIS												
panicule	0,255	1,04	2,70	0,450	12,20	0,50%	39,00	99,50	/			36,9
feuilles hautes	0,763	0,91	6,90	0,450	31,10	1,40%	40,00	305,20	/			44,2
tige haute	0,422	0,36	1,50	0,434	6,50	0,30%	42,00	177,20	0,108	19	0,00%	118,1
spathes	0,656	0,64	4,20	0,460	19,30	0,90%	41,00	269,00	0,142	38	0,01%	64,0
rafle	0,525	0,40	2,10	0,360	7,60	0,30%	44,00	231,00	0,081	19	0,00%	110,8
grains	3,264	1,40	45,70	0,470	214,80	9,50%	41,00	1338,20	0,230	308	0,05%	29,3
tige basse	0,794	0,25	2,00	0,410	8,20	0,40%	42,00	333,50	0,465	155	0,02%	166,8
feuilles basses	0,902	0,71	6,40	0,440	28,20	1,20%	39,00	351,80	0,221	78	0,01%	55,0
collet	0,159	0,29	0,50	0,430	2,20	0,10%	44,00	70,00	0,834	58	0,01%	140,8
<hr/>												
TOTAL P.A	7,740	0,93%	72,00	0,460%	330,10	14,60%	41,00%	3175,40	0,213	675	0,10%	44,1
<hr/>												
RACINES	1,340	1,02	13,90	3,820	531,00	23,50%	29,00	394,40	751,600	296431	44,11%	28,4
RACINES HORS SOL	0,120	0,92	1,10	0,400	4,40	0,20%	25,00	30,00	41,200	1236	0,18%	27,3

TABLEAU N° IV.III.2

REPARTITION DU 15N DANS LE MAIS EN FONCTION DES TRAITEMENTS  
(partie inférieure de la colonne contenant du sable)

TRAITEMENT	QUANTITE INTRODUITE	PARTIE DE LA PLANTE ETUDIEE	POIDS(g) MATIERE SECHE		%N		GN mg	E%		15 Q N C.R.U	
			moyenne	C.V(%)	moyenne	C.V(%)		moyenne	C.V(%)		
TEMOIN		T+F	0,46	15	1,04	5	4,80	1,30	15	62	71,30%
SABLE	E% 2,18	1ère F	0,10	8	1,00	10	1,00	0,50	40	5	5,70%
/SABLE	15	R htes	0,19	16	0,77	12	1,50	0,92	9	14	16,10%
Q N 87		R bses	0,11	36	1,10	18	1,20	1,01	8	12	13,80%
		TOTAL	0,86				8,50			93	106,90%
SABLE + RACINES (stockées en cham. froide)	E% 17,14 15 Q N 1902,5	T+F	0,50	15	1,00	5	5,00	0,21	15	11	0,60%
		1ère F	0,09	8	1,00	10	0,90	0,03	40	0	0,00%
		R htes	0,19	16	0,70	12	1,30	0,18	9	2	0,10%
		R bses	0,08	36	1,20	18	1,00	1,41	8	14	0,70%
		TOTAL	0,86				8,20			27	1,40%
SABLE + RACINES GX	E% 6,51 15 Q N 751,9	T+F	0,49	10	0,94	5	4,60	1,00	15	46	26,50%
		1ère F	0,08	38	0,94	10	0,80	0,25	40	2	1,20%
		R htes	0,23	4	0,63	12	1,40	0,80	9	11	6,30%
		R bses	0,06	10	0,90	18	0,50	1,47	8	7	4,00%
		TOTAL	0,86				7,30			66	38,10%

TABLEAU N° IV.III.3

REPARTITION DU 15N DANS LE MAIS EN FONCTION DES TRAITEMENTS  
(partie inférieure de la colonne contenant du sol)

TRAITEMENT	QUANTITE INTRODUITE	PARTIE DE LA PLANTE ETUDIEE	POIDS(g) MATIERE SECHE		%N		QN mg	E%		15 Q N C.R.U	
			moyenne	C.V(%)	moyenne	C.V(%)		moyenne	C.V(%)		
SOL	E% 0,055 15 Q N 173,3	T+F	1,50	8	1,00	33	15,00	0,24	3	36	20,80%
		lère F	0,11	18	1,40	36	1,50	0,14	7	2	1,20%
		R htes	0,14	21	0,45	5	0,90	0,14	1	1	0,40%
		R bses	0,37	5	0,92	8	3,40	0,24	8	8	4,60%
		TOTAL	2,12				20,80				47
SOL + RACINES!	E% / 14 15 C N 15 Q N 2357,5	T+F	1,40	21	0,92	7	12,90	1,06	7	137	5,80%
		lère F	0,11	18	0,92	0	1,00	0,61	11	6	0,30%
		R htes	0,12	17	0,60	/	0,70	0,59	3	4	0,20%
		R bses	0,30	33	0,80	25	2,40	1,40	7	34	1,40%
		TOTAL	1,93				17,00				181

TABLEAU N° IV. III. 4

## REPARTITION DU 14C DANS LE MAIS EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS

TRAITEMENT	QUANTITE INTRODUITE	PARTIE DE LA PLANTE ETUDIEE	POIDS(g) MATIERE SECHE		%C		QC mg	R.A.S(KBq/g)		14 Q C KBq
			moyenne	C.V(%)	moyenne	C.V(%)		moyenne	C.V(%)	
S+RACINES	RAS (KBq/g) 2520  14 Q C 1247,4	T+F	0,50	15	41,00	2	205,00	1,00	14	0,205
		lère F	0,09	8	39,00	7	35,10	2,00	12	0,070
		R htes	0,19	16	27,00	30	51,30	3,00	27	0,154
		R bses	0,08	36	34,50		27,60	n.d		
		TOTAL	0,86				319,00			

TRAITEMENT	QUANTITE INTRODUITE	PARTIE DE LA PLANTE ETUDIEE	POIDS(g) MATIERE SECHE		%C		QC mg	RAS(KBq/g)		14 Q C KBq
			moyenne	C.V(%)	moyenne	C.V(%)		moyenne	C.V(%)	
SOL	RAS (KBq/g) 11  14 Q C 39,46	T+F	1,50	8	41,00	33	615,00	0,12	58	0,074
		lère F	0,11	18	39,00	36	42,90	0,24	17	0,010
		R htes	0,14	21	34,00	5	47,60	0,17	47	0,008
		R bses	0,37	5	34,00	8	125,80	0,70	14	0,088
		TOTAL	2,12				831,30			0,180

TRAITEMENT	QUANTITE INTRODUITE	PARTIE DE LA PLANTE ETUDIEE	POIDS(g) MATIERE SECHE		%C		QC mg	RAS		14 Q C KBq
			moyenne	C.V(%)	moyenne	C.V(%)		moyenne	C.V(%)	
SOL+RACINE: 14C 15N	RAS /  14 Q C 1362,39	T+F	1,40	21	42,00	2	588,00	1,00	33	0,588
		lère F	0,11	18	39,00	3	42,90	3,00	10	0,129
		R htes	0,12	17	37,00	14	44,40	2,40	30	0,107
		R bses	0,30	33	39,00	8	117,00	15,00	20	1,755
		TOTAL	1,93				792,30			2,578

TABLEAU N°IV.III.5

BILAN DES COUPES INTERMEDIARES DE LA CULTURE DE RAY-GRASS  
(résultats exprimés pour 1000g de sol).

	TRAITEMENT T					TRAITEMENT F				
	%N	GN	EX	15 g N	C.R.U	%N	GN	EX	15 g N	C.R.U
		mg		ug	%		mg		ug	%
QUANTITE INTRODUITE		1700,00		2260			1750,00		2260	
<hr/>										
1ère COUPE										
P.A	3,5	63,00	0,43	271	12,00%	4,0	81,00	0,31	251	11,10%
RACINES	n.d	23,00	1,81	416	18,40%	n.d	30,00	1,55	465	20,60%
total plante.....		86,00	0,80%	687	30,40%	.....	111,00	0,65%	716	31,70%
SOL		1600,00	0,08	1280			1650,00	0,08	1320	
<hr/>										
2ème COUPE										
P.A	1,6	14,00	0,44	62	2,70%	1,5	20,00	0,33	66	2,90%
RACINES	n.d	24,00	2,26	542	24,00%	n.d	24,00	2,09	502	22,20%
total plante.....		38,00	1,59%	604	26,70%	.....	44,00	1,29%	568	25,10%
SOL		1600,00	0,08	1280			1650,00	0,08	1320	
<hr/>										
3ème COUPE										
P.A	1,6	7,00	0,40%	28	1,20%	1,5	7,00	0,26%	18	0,80%
RACINES	n.d	40,00	1,33	532	23,50%	n.d	38,00	1,40	532	23,50%
total plante.....		47,00	1,19%	560	24,80%	.....	45,00	1,22%	550	24,30%
SOL		1600,00	0,08	1280			1650,00	0,08	1320	