

## Quantification des mécanismes d'organisation et de minéralisation de l'azote en sols cultivés

JACQUIN F. (\*)

VONG P.C. (\*)

### RÉSUMÉ

Au cours de cette étude, nous avons entrepris de quantifier les processus d'organisation et de minéralisation des composés azotés présents dans les horizons cultivés des quatre principaux types de sols lorrains. Nous avons donc ajouté à ces horizons Ap du sulfate d'ammonium marqué au  $^{15}\text{N}$  accompagné de quantités croissantes de paille d'orge. Ces observations ont été effectuées au cours d'une période d'incubation d'un mois et en absence de culture.

Les valeurs moyennes concernant l'intensité de la minéralisation nette suivent une hiérarchie inverse de celles de l'organisation (tableau II), mais les différences sont atténuées pour le sol brun acide et la rendzine.

Si on observe le devenir de l'engrais apporté (tableau III, figure 1), on constate une corrélation inverse ( $r = 0,829^{***}$ ) entre organisation brute et minéralisation nette pour trois types de sols (sol brun lessivé, sol brun acide et rendzine) ; dans le pélosol, malgré l'importance de l'organisation observée, des apports croissants de paille n'entraîneraient pas d'augmentation sensible de ce processus.

L'apport simultané de sulfate d'ammonium et de doses croissantes de substrat carboné induit une augmentation de la minéralisation brute dans les deux sols bruns ; à l'inverse, ces apports entraînent un effet nul dans le pélosol et légèrement dépressif dans le sol argilo-calcaire superficiel.

Ces résultats montrent bien la spécificité du fonctionnement biochimique observé dans ces quatre horizons cultivés ; néanmoins, ces comportements peuvent être différents sous écosystèmes naturels.

**MOTS-CLÉS** : sol cultivé - azote - isotope - paille - Lorraine.

### THE QUANTIFICATION OF THE MECHANISMS OF IMMOBILIZATION AND MINERALIZATION OF NITROGEN IN CULTIVATED SOILS

*The immobilization and mineralization of nitrogenous compounds were measured for one month period and without culture, in the cultivated horizons of four different soils of Lorraine using  $^{15}\text{N}$ -ammonium sulphate and barley straw.*

*The average values of the intensity of net mineralization and gross immobilization were opposed, however the difference between these values was small in the acid brown soil and in rendzina.*

*The relation established between gross immobilization and net mineralization showed and opposed correlation ( $r = 0,829^{***}$ ) for three types of soils (brown leached soil, brown acid soil and rendzina). In the case of pelosol, the changes in straw level did result of any effect on the immobilization.*

(\*) Institut National Polytechnique de Lorraine - Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires - Service de Pédologie et Chimie agricole, 2, avenue de la Forêt-de-Haye, 54505 Vandœuvre.

*An addition of straw increased the gross mineralization in acid brown soil and leached brown soil ; however, these substances had a little effect on the pelosol and a negative effect on the calcareous shallow soil.*

*The overall of these results demonstrated clearly the specificity of the biochemical functionality of the four cultivated horizons. However, the behaviour of the biochemical functionality in cultivated horizons could be different from that in the natural ecosystems.*

**KEY-WORDS** : cultivated soil - nitrogen - isotope - straw - Lorraine.

## INTRODUCTION

Il nous a paru intéressant, dans le cadre des recherches entreprises sur les relations entre pédogenèses et fonctionnement des sols, de présenter une partie de nos résultats sur l'évolution des composés azotés présents sous agrosystèmes. En effet, dans des conditions pédoclimatiques induisant une limitation fortuite de la production agricole, une fertilisation azotée intensive peut entraîner des perturbations écologiques quant à la teneur en nitrates des nappes aquifères.

De nombreux chercheurs ont étudié les intensités de minéralisation-organisation à l'aide du  $^{15}\text{N}$  apporté sous formes d'engrais minéraux ou de substrats organiques (BROADBENT et TAYLOR, 1962 ; STEWART *et al.*, 1963 ; WESTERMAN et TUCKER, 1974 ; GUIRAUD et FARDEAU, 1977 ; OBRIEN et STOUT, 1978 ; OKAJIMA et KIZO, 1980 ; GUIRAUD, 1984 ; CHOTTE, 1986 ; VONG, 1987 ; RECOUS, 1988). Les cycles minéralisation-organisation correspondent à des processus microbiens se déroulant simultanément suivant des mécanismes complexes ; de ce fait, les mesures de l'azote minéral ou organique (processus nets) ne permettent pas de quantifier les processus bruts, donc les valeurs réelles de transferts entre les différentes formes azotées présentes dans le sol. Les calculs de ces transferts bruts sont rendus possibles grâce à l'emploi du traceur  $^{15}\text{N}$  (KIRKHAM et BARTHOLOMEW, 1954 ; GUIRAUD, 1984).

Nous avons donc entrepris de quantifier ces processus bruts dans quatre sols cultivés de Lorraine. A ces sols, on a ajouté du sulfate d'ammonium marqué au  $^{15}\text{N}$  accompagné de quantités croissantes de paille d'orge ; ensuite, les observations ont été effectuées au cours d'une période limitée d'incubation sous paramètres contrôlés et en absence de culture.

## I. MATÉRIELS

– *Sols* : nous avons prélevé, en avril 1985, des échantillons moyens correspondant aux horizons Ap des quatre types de sols les plus représentatifs des agrosystèmes lorrains. Après séchage à l'air pendant une semaine, les échantillons ont été tamisés à 2 mm. Le tableau I présente les principales caractéristiques analytiques des sols décrits en détail dans "l'Atlas des Sols de Lorraine" (JACQUIN et FLORENTIN, 1988).

– *Paille* : il s'agit de paille d'orge finement coupée puis broyée à l'aide d'un broyeur à billes pendant 20 minutes ; elle présente 49,2% de carbone et 0,95% d'azote, donc un rapport C/N égal à 52.

Tableau I : Caractéristiques analytiques des sols étudiés.

*Analytical characteristics of studied soils.*

Sols*	pH	Granulométrie			C %	N %	C/N
		A %	L %	S %			
Rendzine (RDZ)	7,6	23,9	37,7	19,5	4,14	0,38	11
Sol brun acide (SBA)	5,3	9,6	23,78	65,3	0,69	0,07	9
Sol brun lessivé (SBL)	5,9	29,3	52,6	14,7	1,34	0,18	7
Pélosol (PEL)	7,6	46,4	39,8	7,8	1,7	0,21	8

– Rendzine argilo-calcaire superficielle sur Bajocien (Aingray)

– Sol brun acide sableux (Chenevières)

– Sol brun lessivé sur placage limoneux (Champenois)

– Pélosol sur marnes (Champenois)

\* Les analyses granulométriques ont été effectuées par le laboratoire d'analyses de l'INRA à Arras. Elles portaient sur la fraction fine.

## II. MÉTHODES

### A) INCUBATION

A une quantité de 100 g de sol séché à l'air et tamisé à 2 mm, placée dans un erlenmeyer de 250 ml, nous avons apporté 80 ppm d'azote sous forme de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  présentant un excès isotopique de 50,03%. Afin de faire varier le C/N de l'apport externe, nous avons ajouté à cette quantité constante d'azote (8 mg N pour 100 g de sol), respectivement 162,2 - 325,2 - 487,8 - 650,4 et 813 mg de paille d'orge ; ceci nous conduit à des traitements dont les rapports C/N des substrats sont respectivement de 8,4 - 14,4 - 19 - 22,6 et 25,4 ; le traitement correspondant à l'apport exclusif d'azote minéral a été dénommé arbitrairement C/N = 0. Après humectation à 80% de la capacité au champ, les échantillons de sol correspondant aux différents traitements sont mis à incuber à l'obscurité à une température de  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant 1 mois. Chaque traitement comportait deux répétitions, ce qui représente pour cette étude un nombre total de 48 erlenmeyers. La perte en eau durant l'incubation était négligeable.

### B) ANALYSES

– *Azote minéral* : les formes ammoniacales et nitriques extraites par KCl 1 M ont été dosées par la méthode classique de distillation en présence de MgO et d'alliage de Dewarda. Les ions  $\text{NH}_4^+$  libérés lors de la distillation sont piégés dans  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2N dont l'excès est neutralisé par une solution de NaOH 0,2N.

– *Azote organique et azote total* :

Pour les échantillons de sol, le dosage de l'azote organique a été réalisé sur le culot séché à l'air, obtenu après élimination de N minéral par KCl 1 M. Nous avons utilisé la méthode Kjeldahl classique qui consiste en une minéralisation en milieu sulfurique en présence d'un mélange de sélénium,  $\text{CuSO}_4$  et  $\text{K}_2\text{SO}_4$  dans la proportion 2 - 5 - 10 comme catalyseur.

Par contre, la teneur en azote total présent dans la paille a été dosée selon la méthode proposée par GUIRAUD et FARDEAU (1977) ; cette méthode a l'avantage d'inclure les nitrates contenus dans le végétal après leur réduction préalable en présence de Fe réduit avant de poursuivre une minéralisation classique.

– *Dosage isotopique de l'azote* : les mesures ont été effectuées à l'aide du spectromètre d'émission SOPRA GS 1 après conversion de l'azote ammoniacal en  $N_2$  par la méthode de DUMAS (FIEDLER et PROKSCH, 1975 ; MARTIN *et al.*, 1981).

### C) TERMINOLOGIE ET MÉTHODES DE CALCUL

– *La minéralisation nette (MIN)* correspond à la différence entre les quantités totales d'azote minéral ( $NO_3^- + NH_4^+$ ) mesurées aux temps  $t_2$  et  $t_1$  ; sa valeur est donc positive ou négative.

– *L'organisation brute (OB)* correspond à la différence entre la quantité totale d'azote provenant du compartiment minéral ou fuite ( $O_t$ ) duquel on soustrait celle des pertes par dénitrification et/ou par volatilisation. Nous avons donc :

$$OB = O_t - \text{pertes} \quad (1)$$

Nous nous devons de préciser que cette organisation brute (OB) englobe à la fois les immobilisations par voies microbienne et physico-chimique.

Il faut donc, au préalable, déterminer  $O_t$  ; d'après GUIRAUD (1984), cette valeur est calculée en tenant compte de deux hypothèses :

a) variation linéaire de l'excès isotopique de l'azote minéral en fonction du temps entre deux périodes d'analyse ;

b) reminéralisation négligeable du  $^{15}N$  organique entre ces deux périodes.

Si l'on quantifie la disparition de  $^{15}N$  minéral entre deux intervalles de temps, on peut calculer la quantité "otée" ( $O_t$ ) de ce compartiment de la façon suivante :

$$O_t = [X_o E_o - X E] / [(E_o + E) / 2] \quad (2)$$

$X_o$  et  $X$  : quantités initiales et finales de l'azote minéral.

$E_o$  et  $E$  : excès isotopiques initiaux et finaux de cet azote minéral.

Le calcul de l'organisation brute (OB) nécessite la connaissance de la quantité de  $^{15}N$  réellement immobilisée dans le sol après élimination de  $^{15}N$  minéral par extraction au KCl. En reprenant les deux mêmes hypothèses, on obtient :

$$OB = [Q \text{ } ^{15}N \text{ immobilisé}] / [(E_o + E) / 2] \quad (3)$$

$Q$   $^{15}N$  immobilisé : quantité de  $^{15}N$  immobilisé en fin d'incubation.

A partir de la formule (1), on peut déduire les pertes (P) :  $P = O_t - OB$ . Quant à la minéralisation brute (Mt), elle correspond à l'équation  $Mt = O_t + MIN$ .

## III. RÉSULTATS

Les résultats chiffrés et consignés dans le tableau II sont représentés graphiquement sur la planche 1. La signification des résultats moyens de chaque sol est étudiée comparativement d'après le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% (STATITCF, version 3, 1987).

Planche 1 : Evolution de la minéralisation nette (MIN), d'organisation (OB) et des pertes brutes (P) de l'azote dans quatre sols cultivés après apports de sulfate d'ammonium et des quantités croissantes de paille.

*Evolution of net mineralization (MIN), gross immobilization (OB) and losses of nitrogen after bringing ammonium sulfate and increasing quantities of straw in four cultivated soils.*

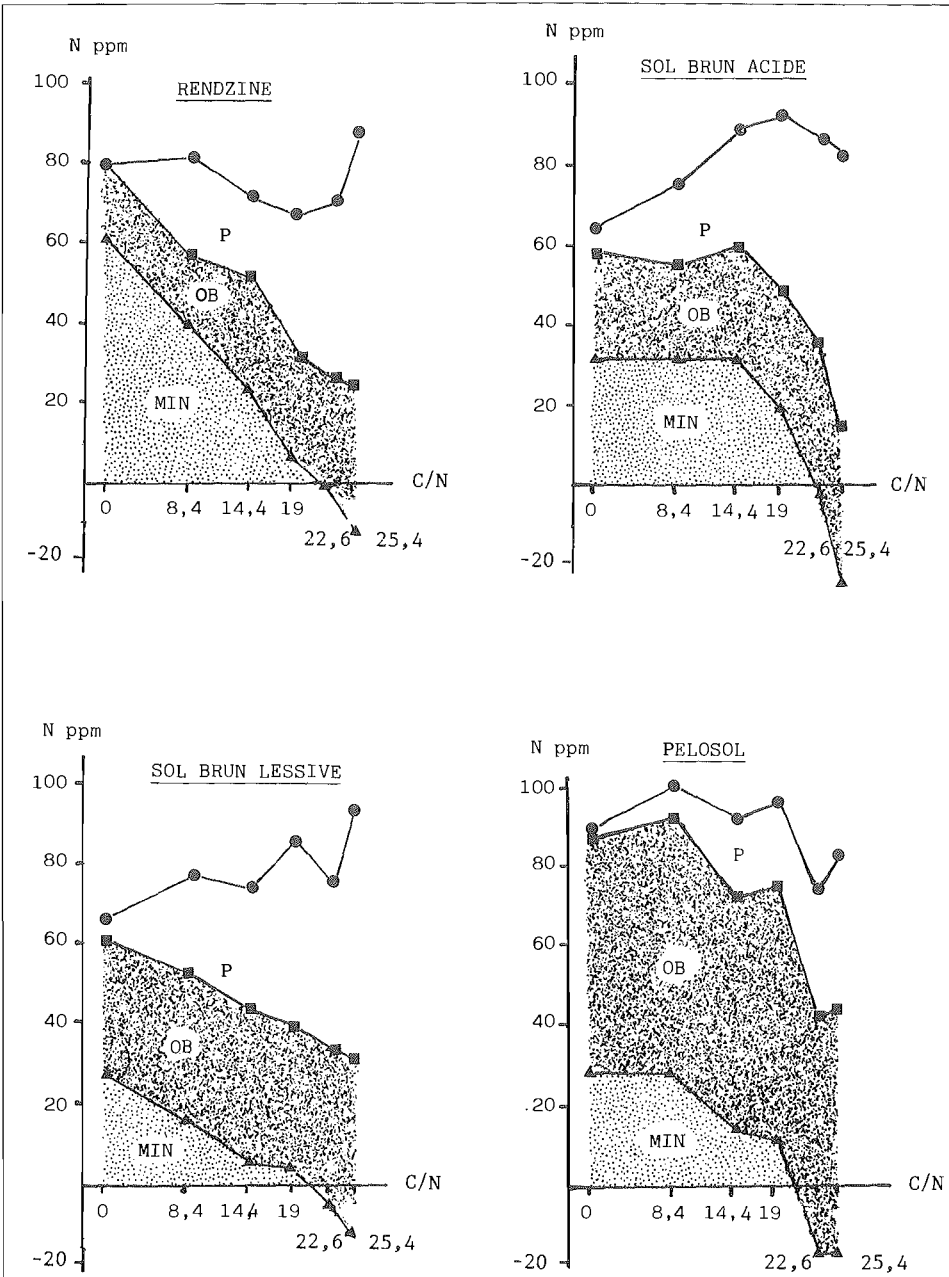


Tableau II : Evolution de la minéralisation nette (MIN), de l'organisation brute (OB) et des pertes (P) de l'azote dans quatre sols cultivés après apports de sulfate d'ammonium et des quantités croissantes de paille.

Rendzine	Valeurs initiales	Valeurs finales pour les différents C/N						Moyenne
		0	8,4	14,4	19	22,6	25,4	
QN min.	92,3	153,4	131,0	114,2	97,4	91,8	80,6	
E %	43,33	22,09	20,14	21,10	20,61	19,44	14,29	
Q <sup>15</sup> N	40,0	33,90	26,39	24,10	20,08	17,85	11,52	
Δ Q <sup>15</sup> N		6,10	13,61	15,90	19,92	22,15	28,48	
E % moyen		32,71	31,73	32,21	31,97	31,38	28,81	
Fuite (Ot)		19	43	49	62	70	99	57 (a)
Q <sup>15</sup> N immobilisé		5,59	5,79	9,47	8,46	8,54	10,54	
OB (org. brute)		17	18	29	26	27	36	25 (c)
MIN (min. nette)		61	39	22	5	-0,5	-12	19
Min. brute (Mt)		80	82	71	67	69,5	87	76 (a)
Pertes (P)		2	25	20	36	43	63	31 (a)

Sol brun lessivé	Valeurs initiales	Valeurs finales pour les différents C/N						Moyenne
		0	8,4	14,4	19	22,6	25,4	
QN min.	81,5	108,6	97,4	86,6	86,2	75,9	69,4	
E %	49,07	23,94	19,70	19,19	15,98	17,41	11,54	
Q <sup>15</sup> N	40	26,0	19,19	16,62	13,78	13,22	8,01	
Δ Q <sup>15</sup> N		14	21	23	26	27	32	
E % moyen		36,50	34,38	34,13	32,52	33,24	30,30	
Fuite (Ot)		38	61	67	80	81	106	72 (a)
Q <sup>15</sup> N immobilisé		12,22	12,51	13,11	11,25	12,83	13,13	
OB (org. brute)		33	36	38	34	38	43	37 (b)
MIN (min. nette)		27	16	5	5	-6	-12	6
Min. brute (Mt)		65	77	72	85	75	94	78 (a)
Pertes (P)		5	25	29	46	43	63	35 (a)

Table II : Evolution of net mineralization (MIN), gross immobilization (OB) and losses of nitrogen after bringing ammonium sulfate and increasing quantities of straw in four cultivated soils.

Sol brun acide	Valeurs initiales	Valeurs finales pour les différents C/N						Moyenne
		0	8,4	14,4	19	22,6	25,4	
QN min.	88,8	119,8	119,8	119,8	108,6	86,2	63,8	
E %	45,04	24,06	21,23	18,29	16,52	15,41	13,69	
Q <sup>15</sup> N	40,0	28,83	25,44	21,91	17,95	13,28	8,74	
Δ Q <sup>15</sup> N		11,17	14,56	18,10	22,05	26,72	31,26	
E % moyen		34,55	33,13	31,66	30,78	30,22	29,36	
Fuite (Ot)		32	44	57	72	88	106	66 (a)
Q <sup>15</sup> N immobilisé		9,21	7,71	8,95	8,81	11,28	11,65	
OB (org. brute)		27	23	28	29	37	40	31 (bc)
MIN (min. nette)		31	31	31	20	-3	-25	14
Min. brute (Mt)		63	75	88	92	85	81	81 (a)
Pertes (P)		5	21	29	43	51	66	36 (a)

Pélosol	Valeurs initiales	Valeurs finales pour les différents C/N						Moyenne
		0	8,4	14,4	19	22,6	25,4	
QN min.	92,3	119,8	119,8	106,2	97,4	75,0	75,0	
E %	43,33	17,92	15,82	15,98	15,57	17,25	14,66	
Q <sup>15</sup> N	40,0	21,48	18,95	16,97	15,17	12,94	11,0	
Δ Q <sup>15</sup> N		18,52	21,05	23,03	24,83	27,06	29,0	
E % moyen		30,62	29,57	29,65	29,45	30,29	28,99	
Fuite (Ot)		60	71	78	84	89	100	80 (a)
Q <sup>15</sup> N immobilisé		17,91	18,80	17,03	18,77	17,40	17,62	
OB (org. brute)		58	63	57	64	57	61	60 (a)
MIN (min. nette)		27	27	15	5	-17	-17	6,5
Min. brute (Mt)		87	98	92	89	72	83	86 (a)
Pertes (P)		2	8	21	20	32	39	20 (a)

## A) MINÉRALISATION NETTE

Rappelons que la minéralisation nette correspond à la différence entre les quantités d'azote minéral présentes dans le sol en fin et au début d'incubation ; ce calcul comptabilise par conséquent l'azote engrais non minéralisé et présent dans le sol.

Une étude comparative des valeurs de cette minéralisation nette dans les sols n'ayant reçu qu'un apport d'engrais minéral ( $C/N = 0$ ) indique une teneur très élevée pour la rendzine (61 ppm). Les valeurs diminuent environ de moitié pour les trois autres types de sols avec une similitude étroite pour le sol brun lessivé et le pélosol (27 ppm).

En présence de paille, les quantités de minéralisation nette fluctuent en fonction du type de sols. Nous constatons que les valeurs moyennes correspondent à un ordre décroissant ; rendzine (19 ppm), sol brun acide (14 ppm), pélosol (6,5 ppm) et sol brun lessivé (6 ppm). Ces résultats confirment un maximum de minéralisation dans la rendzine, sol à structure grumeleuse et à pH basique (7,6). A l'opposé, on rencontre le minimum de minéralisation nette dans le sol brun lessivé à structure dégradée et au pH de 5,9. Toutefois, on note que le pélosol, présentant un pH de 7,6 identique à celui de la rendzine, révèle une minéralisation nette également très faible ; dans ce cas, l'action de la structure conditionnée par une forte teneur en argile correspondrait au paramètre ayant le plus d'influence sur la cinétique de minéralisation.

En examinant les tendances évolutives des valeurs de cette minéralisation nette après apports croissants de paille, on observe pour la rendzine et le sol brun lessivé une réaction rapide liée à l'apport de substrat carboné ; cette réaction se manifeste dans ces deux sols par une chute brutale et presque linéaire de l'azote minéral dès la valeur  $C/N = 8,4$ . La tendance est différente dans le pélosol et surtout dans le sol brun acide où le changement de pente de la minéralisation nette ne commence respectivement qu'à partir des valeurs du rapport  $C/N$  égales à 8,4 et 14,4.

En résumé, l'addition de paille limite la présence d'azote minéral dans le sol ; dans nos conditions expérimentales, les valeurs seuils du rapport  $C/N$  au-dessus desquelles la minéralisation nette devient négative sont comprises entre 20 et 23 et sont conformes à celles trouvées par PARNAS (1975) et GUIRAUD (1984). Toutefois, l'apport de ce substrat carboné pour limiter les risques liés au lessivage d'azote nitrique entraîne des cinétiques d'action différentes liées aux types de sols et aux doses de paille apportées. Nos résultats indiquent une faible minéralisation nette dans les sols à texture limono-argileuse ou argileuse. Par contre, si dans la rendzine l'action dépressive liée à la paille est en relation avec l'intensité de l'apport carboné, la diminution de la teneur en azote minéral n'apparaît, dans le sol sableux acide, que lorsque le  $C/N$  devient supérieur à 14,4.

Il nous faut souligner qu'il s'agit ici des résultats observés après un mois en présence de paille. Néanmoins, il est possible que l'ajout de substrat très biodégradable comme du glucose permette des minéralisations nettes négatives, c'est-à-dire des réorganisations pour des  $C/N < 20$ .

## B) ORGANISATION BRUTE

Rappelons que d'après nos calculs, cette organisation brute prend en compte à la fois l'organisation microbienne et l'adsorption physico-chimique.



Si, de prime abord, nous observons les résultats moyens concernant cette organisation brute, ils indiquent une teneur élevée pour le pélosol (60 ppm) ; cette valeur est significativement différente de celle trouvée dans le sol brun lessivé (37 ppm). De même pour la rendzine, la teneur moyenne est statistiquement plus faible (25 ppm) que celles du sol brun lessivé et du pélosol. Enfin, pour le sol brun acide, la valeur de 31 ppm est non significativement différente de celles du sol brun lessivé et de la rendzine.

La comparaison des valeurs moyennes de l'organisation brute des cinq traitements (C/N = 8,4 à C/N = 25,4) avec celles du traitement C/N = 0 montre que l'apport de paille entraîne une organisation dont l'effet croît avec le niveau de paille apportée dans trois sols et est peu importante quelle que soit la dose de paille dans le cas du pélosol. L'amplitude de ce mécanisme varie selon l'ordre décroissant suivant : rendzine (10 ppm), sol brun lessivé (5 ppm), sol brun acide (4 ppm) et pélosol (2 ppm). Nous constatons donc qu'un apport croissant de paille augmente l'intensité des mécanismes de réorganisation avec une acuité cinq fois plus élevée dans la rendzine que dans le pélosol ; cette simple observation témoignerait donc d'une stimulation biologique très élevée dans les sols argilo-calcaires bien structurés.

### C) MINÉRALISATION BRUTE

La minéralisation brute correspond à la somme de la quantité otée ou "fuite" et de la minéralisation nette ; par rapport à cette dernière, elle nous renseigne sur la quantité d'azote réellement minéralisée. Les valeurs moyennes des quatre types de sols se classent dans l'ordre décroissant : pélosol (86 ppm), sol brun acide (81 ppm), sol brun lessivé (78 ppm) et rendzine (76 ppm) ; elles sont toutefois non significativement différentes.

En ce qui concerne l'action des doses croissantes de paille, la comparaison des résultats moyens de cinq traitements par rapport à l'apport exclusif de sulfate d'ammonium indique une augmentation des processus de minéralisation brute dans le sol brun acide (21 ppm) et dans le sol brun lessivé (16 ppm). La paille a cependant un effet nul dans le pélosol et légèrement dépressif dans la rendzine (- 5 ppm). En effet, en absence de paille, ce dernier sol présente une minéralisation nette très intense.

Pour le sol très argileux, nous avons déjà mentionné la faible action d'un apport de paille sur l'organisation brute ; il nous faut donc admettre avec DUCHAUFOR (1970) que ce substrat serait mieux protégé de la biodégradation du fait de la forte teneur en argiles ; cette dernière freinerait les processus de biodégradation des composés ligno-cellulosiques.

### D) PERTES BRUTES

Les pertes brutes sont calculées par différence entre "fuite" et organisation brute. Pour le C/N = 0, apport exclusif de sulfate d'ammonium, les pertes brutes observées sont relativement faibles ; elles varient entre 2 et 5 ppm pour les quatre sols étudiés. Ces résultats traduisent donc un transfert quasi total de l'azote sorti du compartiment minéral vers les formes organiques. Ce transfert presque intégral de l'engrais effectué dans un intervalle de temps court (un mois d'incubation) met en évidence à la fois l'absence de pertes en absence d'apport organique et la rapidité du mécanisme d'organisation brute.

D'autre part, comme l'incubation a été réalisée sur des sols séchés, il faut souligner, d'après BOTTNER (1985), que la biomasse intra-agrégats subsistante ne rétablirait une

activité biologique normale qu'aux environs de 4 semaines ; comme nos mesures ont été effectuées à ce pas de temps, les baisses de l'excès isotopique seraient considérées comme progressives et donc sensiblement linéaires (GUIRAUD, 1984).

Nos résultats mettent également en évidence que les pertes par dénitrification s'accroissent nettement au détriment de l'organisation brute lorsqu'on augmente les quantités de paille ajoutées. Ces résultats sont en accord avec ceux de REDDY *et al.* (1980), GERMON *et al.* (1981), EL DEMERDASH et OTTOW (1983), BATONDA et WARING (1984), soulignant le rôle amplificateur de substrats carbonés labiles dans la dénitrification.

#### IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

Notre objectif consistait à quantifier dans différents horizons Ap, d'une part l'importance de l'organisation subie par un engrais azoté marqué après incubation de courte durée et sans développement de végétaux, d'autre part les cinétiques de minéralisation nette après ce laps de temps. Nous précisons que le deuxième mécanisme à un instant donné correspond réellement à une quantité d'azote minéral présente sous forme nitrique ou ammoniacale. Par contre, l'organisation englobe à la fois l'adsorption physico-chimique et l'immobilisation biologique.

Le tableau III indique les valeurs moyennes observées pour ces deux mécanismes lors d'une incubation d'un mois sous paramètres contrôlés. Globalement, pour les mêmes quantités de paille apportées, on observe une nette prédominance d'organisation brute dans le pélosol ; l'intensité de ce mécanisme s'abaisse dans le sol brun lessivé, puis le sol

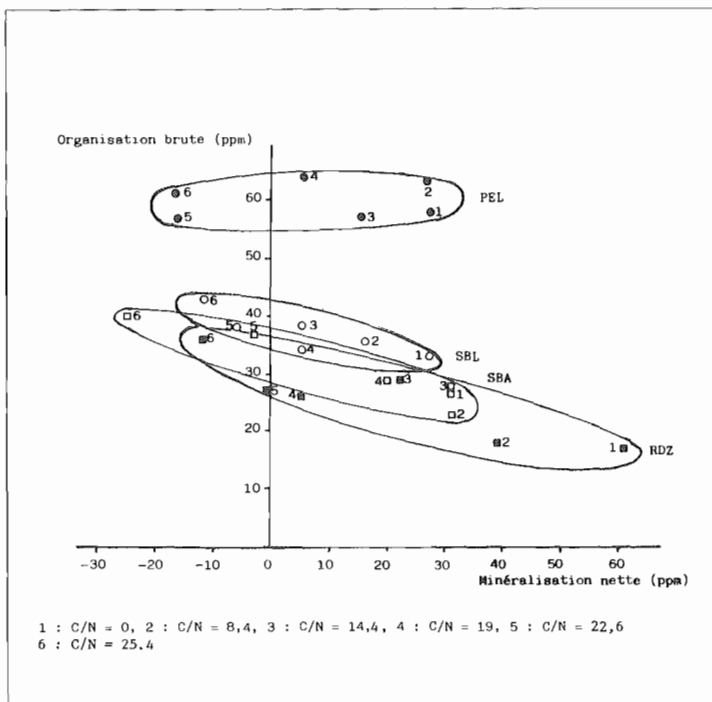


Figure 1 :

Relation entre organisation brute et minéralisation nette de l'azote.

*Relation between gross immobilization and net mineralization of nitrogen*

brun acide, pour présenter un minimum dans la rendzine. Nous constatons donc une relation inverse entre les deux phénomènes, notamment dans les deux sols présentant une architecture très différente : le pélosol et la rendzine.

Tableau III : Valeurs moyennes de l'organisation brute et de la minéralisation nette.

*Average values of gross immobilization and net mineralization.*

	Rendzine	Sol brun acide	Sol brun lessivé	Pélosol
Organisation brute (ppm)	25	31	37	60
Minéralisation nette (ppm)	19	14	6	6,5

Exprimées par la figure 1, les variations d'intensité des mécanismes d'organisation brute et de minéralisation nette en fonction d'apports croissants de paille révèlent un comportement très différent entre le pélosol et les autres types de sols ; en effet, pour ces derniers (sol brun lessivé, sol brun acide, rendzine), nous constatons une nette corrélation inverse entre l'organisation brute et la minéralisation nette ( $r = 0,829^{***}$ ). Dans le pélosol, malgré l'importance de l'organisation observée, les apports croissants de paille n'entraînent pas d'augmentation sensible de l'organisation brute. DUCHAUFOR (1970) avait déjà signalé que, dans ce type de sol, la biodégradation des composés ligno-cellulosiques est largement freinée par une forte teneur en argile. D'autre part, certains chercheurs (SORENSEN, 1967 ; FILIP, 1973 ; MARSHMAN et MARSHALL, 1981 ; CHAUSSOD *et al.*, 1986) ont démontré le rôle dépressif des argiles sur les mécanismes de minéralisation nette.

Par ailleurs, nous avons déterminé le potentiel de minéralisation par la méthode de STANFORD et SMITH (1972) sur les mêmes types de sols (VONG *et al.*, 1989), aussi nous présentons dans le tableau IV les résultats obtenus pour les deux types de sols où les intensités des mécanismes d'organisation brute et de minéralisation nette sont les plus divergentes. Dans les sols argilo-calcaires superficiels, le pouvoir minéralisateur (No) se situe aux environs de 200 ppm (600 kg N/ha) contre seulement 75 ppm pour les pélosols. Ces résultats sont voisins de ceux présentés par MARY et REMY (1979) pour les sols argilo-calcaires. A noter que ces valeurs correspondent respectivement à une minéralisation de 6,5 et 4% des réserves organiques azotées.

Tableau IV : Valeurs moyennes des réserves azotées potentiellement minéralisables (No) (d'après VONG *et al.*, 1989).

*Average values of potentially mineralizable nitrogen (No).*

Horizons Ap	Sols argilo-calcaires	Pélosols
N. Org. (ppm)	3 000	1 860
No (ppm)	197 ± 68	74 ± 36
No en % N. Org.	6,5	4
"Flush" (ppm)	63 ± 37	51 ± 44
"Flush" en % No	32	69

Il nous faut préciser que nos recherches ont été réalisées sur des horizons Ap, ce qui peut expliquer un comportement biochimique différent de celui pouvant être rencontré dans les écosystèmes naturels.

En effet, dans les rendzines forestières, les rythmes de minéralisation des réserves organiques sont fortement ralentis par la présence des reprécipitations de carbonate de calcium ; ce frein serait partiellement inhibé par les techniques culturales, surtout lorsqu'elles interviennent dans un contexte pédoclimatique favorable à la reprise de l'activité biologique ; ce fait est confirmé par les résultats observés au cours du "flush" de minéralisation (tableau IV), obtenus sous paramètres optimisés et à partir d'échantillons de sol séchés et tamisés.

Une autre différence entre horizons cultivés et horizons similaires présents sous écosystèmes naturels correspond aux doses et aux techniques d'apports externes, qu'ils soient carbonés ou azotés. Une fertilisation minérale azotée intensive dans un sol à potentialités agricoles limitées peut modifier complètement les équilibres entre organisation brute et minéralisation nette. Si nous reprenons les cas de nos deux types de sols (argilo-calcaires superficiels et pélosols), il faut admettre que l'influence de la texture, mais surtout de la structure, entraînerait des évolutions très différentes pour plusieurs compartiments organiques azotés. Nos travaux récents (JACQUIN et VONG, 1989) nous ont permis de distinguer la biomasse microbienne libre, ou biomasse inter-agrégats, de la biomasse intra-agrégats et de ses métabolites désignés sous le terme d'humine de néosynthèses microbiennes ; il nous faut souligner que ces deux compartiments correspondent aux formes les plus labiles de la réserve azotée minéralisable et que leurs cinétiques de minéralisation à un instant donné sont étroitement dépendantes, mais à des degrés différents, du pédoclimat et des techniques culturales.

En conclusion, ces études sur le cycle organisation-minéralisation des composés azotés présents dans plusieurs types de sols cultivés sous climat semi-continentale révèlent certaines spécificités du fonctionnement biochimique liées à leur pédogenèse.

Reçu pour publication : Novembre 1989

Accepté pour publication : Décembre 1990

## BIBLIOGRAPHIE

- BATONDA J., WARING S.A., 1984. – Denitrification in relation to soil carbon for soils on the Darling Down, Queensland. *Reviews in Rural Science*, **5**, 231-239.
- BOTTNER P., 1985. – Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with  $^{14}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  labelled plant material. *Soil Biol. Biochem.*, **17**, 329-337.
- BROADBENT F.E. and TAYLOR K.B., 1962. – Laboratory and greenhouse investigations of nitrogen immobilization. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, **26**, 459-462.
- CHAUSSOD R., NICOLARDOT B., CATROUX G. et CHRETIEN J., 1986. – Relation entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du Sol*, **2**, 213-226.
- CHOTTE J.-L., 1986. – *Evolution d'une biomasse racinaire doublement marquée ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ) dans un système sol - plante : étude sur un cycle annuel d'une culture de maïs.* Thèse Doct. de l'Univ. de Nancy I, 116 p.

- DUCHAUFOUR Ph., 1970. – *Précis de Pédologie*. Masson et Cie, 481 p.
- EL DEMERDASH M.E., OTTOW J.C.G., 1983. – Effect of high nitrate application on the kinetics and gaseous composition of denitrification in different soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, **146**, 138-150.
- FIELDER R., PROKRSCH G., 1975. – The determination of nitrogen-15 by emission and mass spectrometry in biochemical analysis. *Analytica Chimica Acta*, **78**, 1-62.
- FILIP Z., 1973. – Clay minerals as a factor influencing the biochemical activity of soil microorganisms. *Folia Microbiologia*, **18**, 56-74.
- GERMON J.C., POCHET M., CHAUSSOD R. et CATROUX G., 1981. – Relations entre l'activité dénitrifiante potentielle et les différentes formes de carbone du sol. C.R. *Colloque Humus et Azote*, 7-10 juillet, Reims, 338-344.
- GUIRAUD G., FARDEAU J.C., 1977. – Organisation et minéralisation de l'azote dans le sol. Etude au moyen de l'azote quinze. *Ann. Agron.*, **28**, 361-378.
- GUIRAUD G., FARDEAU J.C., 1977. – Dosage par la méthode Kjeldahl des nitrates contenus dans le sol et les végétaux. *Ann. Agron.*, **28**, 329-333.
- 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 Doct. d'Etat, Univ. Pierre-et-Marie-Curie, Paris VI, 335 p.
- JACQUIN F., FLORENTIN L., 1988. – *Atlas des sols de Lorraine*. Presse Universitaire de Nancy I, 113 p.
- JACQUIN F. & VONG P.C., 1989. – Incorporation of a nitrogen fertilizer in the humified compounds of a typic hapludalf. *Sci. Total Environ.*, 465-469.
- KIRKHAM D. and BARTHOLOMEW W.V., 1954. – Equations for following nutrient transformations in soil utilizing tracer data. I. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **18**, 33-34.
- MARSHMAN N.A. and MARSHALL K.C., 1981. – Bacterial growth on proteins in the presence of clay minerals. *Soil. Biol. Biochem.*, **13**, 127-134.
- MARTIN F., MAUDINAS B., CHEMARDIN M., GADAL P., 1981. – Preparation of submicrogram nitrogen samples for isotope analysis by the GS I emission spectrometer. *IJARI*, **32**, 215-217.
- MARY B. et REMY J.C., 1979. – Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de l'azote des sols de grande culture. I. Signification de la cinétique de minéralisation de la matière organique humifiée. *Ann. Agron.*, **30**, 513-527.
- OBRIEN B.J. and STOUT J.D., 1978. – Movement and turnover of soil organic matter as indicated by carbon isotope measurements. *Soil. Biol. Biochem.*, **10**, 309-317.
- OKAJIMA H. and KISO S., 1980. – Effect of residual rice roots on the mineralization-immobilization of nitrogen in paddy soils. *Journal of the Science of Soils and Manure*, **51**, 107-112.
- PARNAS H., 1975. – Model for decomposition of organic material by microorganisms. *Soil Biol. Biochem.*, **7**, 161-169.
- RECOUS S., 1988. – *Dynamique de l'azote en sol cultivé : organisation microbienne des formes ammoniacale et nitrique, conséquences sur l'utilisation de l'azote des engrais par une culture de blé*. Thèse Doct. de l'Univ. Claude-Bernard, Lyon I, 189 p.
- REDDY K.R., WHALEEL R.R. and OVERCASH M.R., 1980. – Nitrogen phosphorus and carbon transformations in a coastal plain soil treated with animal wastes. *Agric. Wastes Inst. J.*, **2**, 225-238.
- SORENSEN L.H., 1967. – Duration of amino-acid metabolites formed in soils during decomposition of carbohydrates. *Soil Science*, **104**, 234-241.
- STANFORD G. and SMITH S.J., 1972. – Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **36**, 465-472.

- STEWART B.A., PORTER L.K. and JOHNSON D.D., 1963. – Immobilization and mineralization of nitrogen in several organic fractions of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **27**, 302-304.
- VONG P.C., 1987. – *Contribution à l'étude cinétique des différents compartiments azotés contenus dans des sols cultivés après apports de fertilisants minéraux et organiques.* Thèse Doct. d'Etat, INPL, 217 p.
- VONG P.C., BOUCHAMA J. et JACQUIN F., 1989. – Contribution à l'étude du potentiel de minéralisation de l'azote en sols cultivés lorrains. *Science du Sol*, **27**, 215-226.
- WESTERMAN R.L. and TUCKER T.C., 1974. – Effects of salts and salts plus nitrogen-15 labelled ammonium chloride on mineralization of soil nitrogen, nitrification and immobilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **38**, 602-605.