



HAL
open science

Evaluation du pouvoir minéralisateur de sols agricoles en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques

Jean-Emmanuel Delphin, Christiane Huck, Jean-Luc Tiquet

► **To cite this version:**

Jean-Emmanuel Delphin, Christiane Huck, Jean-Luc Tiquet. Evaluation du pouvoir minéralisateur de sols agricoles en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques. *Agronomie*, 1986, 6 (5), pp.453-458. hal-00884896

HAL Id: hal-00884896

<https://hal.science/hal-00884896>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation du pouvoir minéralisateur de sols agricoles en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques

Jean-Emmanuel DELPHIN

avec la collaboration technique de Christiane HUCK & Jean-Luc TIQUET

I.N.R.A., Station d'Agronomie, 28, rue de Herrlisheim, F 68021 Colmar

RÉSUMÉ

La minéralisation nette de l'azote de 16 sols agricoles, obtenue après une incubation de 300 j à 20 °C, est confrontée à leurs caractéristiques physico-chimiques. L'azote ainsi produit, pris comme expression du pouvoir minéralisateur, est étroitement dépendant du taux d'azote total des sols ; les corrélations linéaires sont cependant considérablement améliorées lorsque des agents de stabilisation des matières organiques, tels que l'argile et le calcaire, sont pris en compte : la fraction granulométrique 0,2-2 µm (ou 0,2-5 µm) et les teneurs en calcaire de la fraction inférieure à 2 µm, en particulier, sont les variables les plus explicatives. Le modèle statistique linéaire choisi ici s'avère satisfaisant, son utilisation dans la fertilisation azotée des cultures nécessite l'intégration de données agronomiques ultérieures.

Mots clés additionnels : *Minéralisation de l'azote, azote total, fractions granulométriques, calcaire.*

SUMMARY

Estimate of the net nitrogen mineralization of cultivated soils in relation with physical and chemical characteristics.

In a study with 16 soils that differed markedly in organic matter content, texture and carbonate content, soil characteristics were statistically related to net nitrogen mineralization determined over a 300-day incubation at 20 °C. The quantity of soil N mineralized was broadly dependent on total N, but the linear relationship was improved by introduction of clay and carbonate soil contents in the regression : particularly coarse clay after removal of carbonates (0.2-2 µm or 0.2-5 µm) and CaCO₃ of clay fraction (< 2 µm). The application of these regression equations to N fertilization recommendations required additional data on field conditions.

Additional key words : *N-mineralization, total nitrogen, size fractions, limestone.*

I. INTRODUCTION

La fertilisation azotée représente actuellement une part importante des charges des cultures intensives ; on conçoit, de ce fait, l'intérêt d'ajuster au mieux la fourniture d'azote aux besoins des plantes. La rationalisation des apports d'engrais azotés constitue, par ailleurs, un moyen de limiter les risques de pollution des eaux par les nitrates.

Le calcul de la fumure azotée des cultures repose sur l'évaluation des principaux termes du bilan de l'azote minéral des sols (RÉMY & HÉBERT, 1977) et, en particulier, de l'azote produit par la minéralisation de l'humus, terme qui demeure difficile à apprécier. La minéralisation endogène, processus biologique, dépend en effet des aléas climatiques, ce qui limite

d'autant la précision du pronostic. La fourniture d'azote dépend également de caractères physiques et chimiques permanents du sol qui déterminent le pouvoir minéralisateur. Son appréciation est cependant malaisée : les tests d'incubation sont satisfaisants mais fastidieux (STANFORD & SMITH, 1972 ; MARY & RÉMY, 1979), les méthodes d'extraction de l'azote minéralisable s'avèrent généralement peu spécifiques (JUMA & PAUL, 1984).

Les associations organo-minérales sont en grande partie responsables du pouvoir minéralisateur. Dans la plupart des sols, les argiles exercent un rôle essentiel (GREENLAND, 1965). La qualité des liaisons dépend du type d'argile, de la nature des substances organiques impliquées, du mécanisme et des agents de fixation (GREENLAND, 1971 ; ANDREUX, 1981). Dans les

sols calcaires, viennent s'ajouter des processus d'insolubilisation et de stabilisation des substances humiques (JUSTE & DELAS, 1970 ; JUSTE *et al.*, 1975 ; JACQUIN & CHOULIARAS, 1976). Les matières organiques peuvent également être protégées de la biodégradation par une gangue de calcite (MULLER & VEDY, 1978) ; certains auteurs (VAN VEEN & PAUL, 1981) étendent cet effet de protection physique aux agrégats. De ce fait, l'appréciation du pouvoir minéralisateur peut être conçue sur la base d'une analyse statistique des relations entre la minéralisation et les principaux agents responsables des liaisons organo-minérales. Aussi avons-nous essayé, dans cette étude, de dégager et de préciser les facteurs édaphiques impliqués dans l'activité minéralisatrice de sols agricoles et d'en déduire des relations statistiques simples utilisables pour la prévision de la fertilisation azotée.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Choix des sols étudiés

Les teneurs en matières organiques d'un sol agricole dépendent, outre du climat, à la fois de ses caractéristiques physico-chimiques et du régime des restitutions organiques lié lui-même aux systèmes de cultures. Nous avons donc retenu 2 critères d'échantillonnage des sols. En premier lieu, nous avons choisi des échantillons répartis sur un large éventail des formations superficielles de la plaine d'Alsace (tabl. 1). Ces échantillons ont été prélevés début mars dans la couche arable (0-25 cm) sous culture de blé d'hiver ; ils

ont été conservés à 5 °C en l'état (70 à 90 p. 100 environ de l'humidité équivalente) jusqu'au début de l'expérience.

En second lieu, l'échantillonnage porte, d'une part, sur un limon acide de l'essai de longue durée de Montluel où différents systèmes de cultures ont modifié le statut organique (BOIFFIN & SÉBILLOTTE, 1975) et, d'autre part, sur la couche arable et le sous-sol d'un limon loessique (Colmar). Les prélèvements ont été effectués en juillet après un blé d'hiver. Les données d'analyse figurent dans le tableau 1. Dans ce cas, les échantillons ont été immédiatement mis à incuber.

Les rotations mises en place sur les parcelles retenues sont principalement céréalières, sauf cas de prairies temporaires (n° 1 et Montluel 11-2) et permanentes (n° 4), dont le retournement remonte à plus de 2 ans. Pour les parcelles 1, 3, 5, 7, 11, Montluel 8-2 et Colmar, les résidus de récolte de la culture qui précède ont été restitués. Des apports de fumier (30-40 t) ont été effectués sur 3 parcelles, plus d'1 an (n° 7) ou plus de 2 ans (nos 3 et 10) avant les prélèvements. Le choix des parcelles, en dehors des critères d'échantillonnage déjà présentés, vise à limiter les situations du passé cultural immédiat propres à modifier la minéralisation endogène du sol.

B. Conditions d'incubation

Nous appellerons ici « pouvoir minéralisateur » la minéralisation nette intervenant sur un laps de temps donné et pour des conditions de milieu constantes. Pour que la comparaison entre sols puisse être établie, il est nécessaire que les facteurs qui contrôlent l'acti-

TABLEAU 1
Caractéristiques des sols étudiés.
Characteristics of the soils.

	Argile (*) 2 μ ‰	pH eau	Calcaire total ‰	Carbone ‰	Azote Kjeldahl ‰
Alluvions du Rhin					
1	148	8,1	246	13,1	1,59
2	177	8,0	145	19,6	2,47
3	216	8,1	214	24,7	2,45
4	408	7,5	7,5	70,3	8,17
Alluvions de l'Ill					
5	295	6,5		11,2	1,31
6	577	6,6		34,8	4,23
7	247	5,8		11,0	1,29
Alluvions vosgiennes					
8	231	6,7		21,1	2,19
9	209	5,6		18,8	2,05
Limons loessiques					
10	154	8,0	46	9,9	1,26
11	201	7,8	56	8,1	1,01
Montluel (Limon)					
parcelle n° 8-2	73	6,7		9,7	0,87
parcelle n° 11-2	77	6,6		9,8	0,85
parcelle n° 15-2	107	6,4		7,1	0,66
Colmar (Limon calcaire)					
sol	243	8,1	79	13,1	1,54
sous-sol	211	8,3	131	6,6	0,88

(*) Après décarbonatation pour les sols calcaires.

vité microbienne soient à l'optimum ou à un niveau d'égal effet (température, humidité, aération). STANFORD & EPSTEIN (1974) ont montré que la minéralisation est optimale pour des tensions hydriques variant autour de 0,3 bar. Nous avons constaté qu'entre 70 et 80 p. 100 de l'humidité équivalente (1 000 g), la minéralisation des sols étudiés (appréciée par la production de CO₂) demeurerait stable. Par ailleurs, la comparaison de la minéralisation d'un limon peu tassé (densité apparente : 1,1) et modérément tassé (d.a. : 1,4) ne fait pas apparaître de différences significatives.

Les essais d'incubation sont conduits à 20 °C, température correspondant à la moyenne des mois les plus chauds en Alsace, sur des échantillons de terre fraîche (comportant, selon les cas, 2,0 à 2,7 kg de terre sèche, densité apparente 0,9 à 1,2), dans des pots cylindriques de 0,01 m² de section. L'humidité est maintenue à 80 p. 100 de l'humidité équivalente par des apports hebdomadaires d'eau. L'activité minéralisatrice est appréciée par le suivi de l'azote minéral et, pour les sols acides, par des mesures de respirométrie.

Les mesures du dégagement de CO₂ sont réalisées 3 j après la correction d'humidité, par piégeage pendant 24 h dans des coupelles contenant une solution de soude N/2. On détermine le CO₂ total par dosage de la soude non carbonatée en présence de thymolphthaléine après précipitation des carbonates par du chlorure de baryum. L'expérience est conduite avec 3 répétitions. Les valeurs cumulées du dégagement de CO₂ sont calculées en considérant linéaire la variation entre 2 points de mesure. Des pots maintenus dans les mêmes conditions et sacrifiés à des intervalles de temps variables servent au suivi de l'évolution de l'azote minéral. Les déterminations de l'azote nitrique (et ammoniacal en début d'expérience) sont réalisées par ionométrie sur des solutions d'extraction à l'eau (1/2) et au CaCl₂ N (1/20) respectivement. L'azote minéralisé est déduit des courbes moyennes de minéralisation établies à partir de 7 points de mesure répartis sur 350 j d'incubation.

C. Méthodes analytiques

- Azote total : méthode Kjeldahl ;
- Carbone organique : méthode ANNE (1945) ;
- Calcaire (total et des fractions) : mesure de CO₂ sur analyseur de carbone (Servocoulomètre) après attaque acide ;
- Calcaire actif : méthode DROUINEAU (1942) ;
- Fractionnements granulométriques : décantation pour les fractions les plus grossières et centrifugation pour les autres (< 2 µm) après décarbonatation, selon les cas, et destruction des matières organiques par le peroxyde d'hydrogène.

III. RÉSULTATS

Les données relatives au carbone et à l'azote minéralisés entre les 25^e et 300^e j d'incubation sont présentées dans le tableau 2. Nous n'avons pas pris en compte la minéralisation intervenant au cours des 25 premiers jours ; elle peut être, en effet, influencée par une activité microbienne liée au conditionnement des échantillons de sol.

TABLEAU 2

Minéralisation du carbone et de l'azote (mg. kg⁻¹) entre les 25^e et 300^e jours d'incubation.

C and N mineralization (mg. kg⁻¹) between the 25th and 300th day of incubation.

N° du sol	C-CO ₂	N minéral
1	—	37
2	—	62
3	—	40
4	—	110
5	490	35
6	745	54
7	650	40
8	675	44
9	630	40
10	—	46
11	—	36
8-2	750	44
11-2	635	38
15-2	600	32
C sol	—	52
C sous-sol	—	12

— : sols calcaires

L'examen des relations entre la minéralisation et les données d'analyses physico-chimiques courantes porte, dans un premier temps, sur l'azote Kjeldahl, les argiles (particules inférieures à 2 µm) et le calcaire total. Les régressions linéaires multiples sont significatives (tabl. 3) ; cependant, la prise en compte du calcaire total n'améliore pas le coefficient de détermination, ce qui n'est pas conforme aux effets connus de ce constituant sur la stabilité des matières organiques. Aussi avons-nous affiné les mesures d'argile en réalisant des fractionnements granulométriques à 5 µm, 2 µm et 0,2 µm (tabl. 4) et déterminé les teneurs en calcaire dans ces fractions (tabl. 5).

Lorsqu'on remplace l'argile (< 2 µm) par les classes de particules 0,2-2 µm ou 0,2-5 µm, on constate une nette amélioration du pourcentage d'explication, avec un effet significatif important du calcaire (tabl. 3). C'est, en particulier, le calcaire présent dans la fraction granulométrique inférieure à 2 µm qui donne les meilleures régressions. On n'observe que de faibles écarts de R² entre les argiles 0,2-2 µm et la fraction 0,2-5 µm (seules les régressions avec la fraction 0,2-2 µm figurent dans le tableau 3). Les mêmes régressions réalisées avec les fractions argileuses déterminées sans décarbonatation préalable donnent de moins bons résultats ; il est vraisemblable que, dans ce cas, la fraction 0,2-2 µm est contaminée par des éléments plus fins soudés. On peut noter enfin la valeur élevée du terme constant des équations de régression.

Les mesures de CO₂ donnent des résultats qui vont dans le même sens que ceux du suivi de l'azote minéral avec quelques distorsions : à activité respiratoire égale, la minéralisation nette de l'azote peut différer selon les sols. On peut remarquer également que le rapport C/N des produits de minéralisation ((C-CO₂)/N minéralisé), est nettement supérieur à celui de la matière organique totale des sols : il varie de 14 à 19 pour un C/N moyen des sols variant de 8 à 11,5 (tabl. 1 et 2). La réorganisa-

TABLEAU 3

Régression entre la minéralisation nette (25-300 j) et certaines caractéristiques physico-chimiques des sols (16 sols).
Regression between net N mineralization (25-300 d) and some characteristics of the soils (16 soils).

Equations de régression	R ²		Coefficients de régression			
Min = a N tot. + u	0,80	a = 9,9				u = 25,0
Min = a N tot. + b Arg. < 2 + u	0,86*	a = 12,5	b = - 0,056			u = 32,2
Min = a N tot. + b Arg. < 2 + c Calc. tot. + u	0,88	a = 12,5	b = - 0,061	c = - 0,035		u = 35,2
Min = a N tot. + b Arg. < 2 + c Calc. < 2 + u	0,93*	a = 11,6	b = - 0,047	c = - 0,62		u = 34,6
Min = a N tot. + b Arg. 0,2-2 + u	0,86*	a = 11,9	b = - 0,088			u = 31,6
Min = a N tot. + b Arg. 0,2-2 + c Calc. tot. + u	0,88	a = 12,0	b = - 0,100	c = - 0,039		u = 35,1
Min = a N tot. + b Arg. 0,2-2 + c Calc. act. + u	0,89	a = 11,9	b = - 0,101	c = - 0,178		u = 35,7
Min = a N tot. + b Arg. 0,2-2 + c Calc. < 2 + u	0,95*	a = 11,4	b = - 0,092	c = - 0,713		u = 35,8
Min = a N tot. + b Arg. 0,2-2 + c Calc. < 2 + u (14 sols)	0,78	a = 18,7	b = - 0,174	c = - 1,20		u = 34,4
Min = a \sqrt{N} tot. + b Arg. 0,2-2 + c Calc. < 2 + u	0,94	a = 43,6	b = - 0,12	c = - 0,72		u = 4,3

— Min : Minéralisation 25 à 300 jours en mg N . kg⁻¹ sol sec.

— N tot. : Azote Kjeldahl (‰) ; Arg. < 2 : Argiles < 2 µm (‰) ; Arg. 0,2-2 : Argiles 0,2 à 2 µm (‰).

— Calc. tot. : Calcaire total (‰) ; Calc. < 2 : Calcaire de la fraction < 2 µm (‰) ; Calc. act. : Calcaire actif (‰).

— R² : Coefficient de détermination (un R² suivi d'un * est significativement supérieur au seuil 5 % au R² de la même régression comportant une variable de moins).

TABLEAU 4

Fractionnement granulométrique complémentaire après décarbonatation (en ‰).
Particle-size distribution after removal of carbonates (‰).

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	8-2	11-2	15-2	C sol	Cs-sol
< 0,2 µm	52	84	111	224	175	227	147	84	41	66	87	11	16	42	171	102
0,2-2 µm	96	93	105	184	120	350	100	147	168	88	114	62	61	65	72	111
2-5 µm	54	44	42	69	94	133	83	84	98	36	47	13	40	51	52	54
< 5 µm	529	590	475	393	591	233	651	648	660	745	682	898	87	830	604	590

TABLEAU 5

Calcaire dans les fractions granulométriques et calcaire actif (en ‰ de la terre sèche).
CaCO₃ in particle-size class and active CaCO₃ (‰ total dry soil).

Sol n°	1	2	3	4	10	11	C sol	Cs-sol
< 0,2 µm	0,7	0,3	0,9	traces	traces	traces	0,6	3,3
0,2-2 µm	7,8	1,7	14	traces	0,2	0,3	5,4	30,0
2-5 µm	23,8	6,7	9,1	traces	traces	0,3	0,8	14,8
< 5 µm	231,6	134,4	177,3	8,1	28,5	60,6	61,8	90,7
Calcaire actif	56	27	53	0,5	15	18	28	38

tion en est certainement la cause principale. Cet écart peut également être d'origine méthodologique ; la technique de piégeage discontinu du gaz carbonique surestime le dégagement dans la mesure où elle prend en compte le CO₂ présent dans les pores du sol et dans le volume d'air emprisonné en début de mesure.

IV. DISCUSSION

Les résultats mettent nettement en évidence le rôle déterminant qu'exerce la fraction granulométrique 0,2-2 µm ou 0,2-5 µm sur le pouvoir minéralisateur des sols. Ces faits sont à rapprocher des résultats concernant le fractionnement des agrégats organo-minéraux. TRAVNIKOVA & TITOVA (1978) ont montré que

les matières organiques les plus stables étaient en grande partie contenues dans les fractions 0,2-1 µm et 1-5 µm. Des résultats dans le même sens ressortent de l'étude de l'évolution des teneurs en carbone de ces fractions après la mise en culture de terres vierges (TIESSEN & STEWART, 1983). De même, les datations par le radiocarbone montrent que les matières organiques des fractions 0,2-2 µm et 2-5 µm ont un âge moyen plus élevé que celles associées à la fraction inférieure à 0,2 µm (ANDERSON & PAUL, 1984), ces dernières ayant par ailleurs un caractère aliphatique plus prononcé (ANDERSON *et al.*, 1981).

La relation entre la minéralisation et la fraction granulométrique 0,2-2 µm ou 0,2-5 µm est empirique ; on connaît mal actuellement les causes de la stabilisation des matières organiques par cette fraction particulière.

Certains auteurs considèrent que le fractionnement granulométrique des micro-agrégats réalise une séparation minéralogique plus ou moins discriminante de leurs argiles (BRUCKERT *et al.*, 1978 ; TRAVNIKOVA & TITOVA, 1978).

L'insolubilisation des composés humiques par l'ion Ca^{++} et la séquestration des matières organiques plus ou moins transformées dans une gangue de calcite sont directement liées à la solubilité du calcaire (JACQUIN & CHOULIARAS, 1976). C'est ce qui ressort des régressions que nous avons développées ; les corrélations les plus fortes sont en effet obtenues pour le calcaire le plus fin (fraction inférieure à $2\ \mu\text{m}$). Le calcaire actif s'avère, par contre, un moins bon révélateur. Ceci tient vraisemblablement au fait que la sensibilité de ce dosage, effective pour des particules de calcaire supérieures à $2\text{-}20\ \mu\text{m}$, est fortement limitée dans le cas de particules très fines (CALLOT & DUPUIS, 1980).

Le choix des variables semble donc justifié ; il est certain cependant que le domaine d'application de ces équations se limite aux sols pour lesquels les facteurs édaphiques retenus demeurent prédominants. La figure 1 fait apparaître clairement l'importance des éléments extrêmes (échantillons 4 et C sous-sol) dans la régression. Toutefois, lorsqu'on écarte ces points, le coefficient de détermination reste très élevé, sans que les coefficients de régression soient profondément modifiés (tabl. 3), alors que la corrélation simple N minéralisé-N total a un R^2 fortement réduit. Ceci confirme le caractère déterminant des facteurs retenus ici ainsi que la cohérence du modèle statistique. On peut

considérer que la valeur élevée du terme constant des équations de régression traduit une certaine inadéquation du modèle d'ajustement au phénomène étudié. Elle semble due à une augmentation moins que proportionnelle de la minéralisation par rapport aux teneurs en azote total ; on observe, en effet, une très nette réduction du terme constant après transformation du type Ntot^x ($0 < x < 1$). C'est en particulier le cas avec $x = 0,5$ (tabl. 3). Il est peu probable que le caractère non linéaire de cette relation soit fonctionnel ; il pourrait traduire l'effet de facteurs limitants de la minéralisation qui n'ont pas été pris en compte dans le modèle.

Une part de la variabilité des résultats peut provenir du fait que le processus mesuré concerne la minéralisation nette. Les différents passés culturaux immédiats des parcelles, malgré les précautions d'échantillonnage, les variations de qualité des matières organiques liées aux systèmes de cultures peuvent avoir des effets sur la production nette d'azote en modifiant l'équilibre minéralisation-organisation. Les distortions entre la minéralisation de l'azote et l'activité respiratoire sont, à cet égard, révélatrices, de même que le comportement quelque peu divergent des échantillons provenant de l'essai de Montluel (en particulier 8-2 et 11-2).

La substitution des argiles totales par la fraction $0,2\text{-}2\ \mu\text{m}$ améliore les régressions. Cependant, sur un plan pratique, cette fraction n'est pas couramment déterminée dans les analyses de terre classiques. La même remarque vaut pour le calcaire de la fraction inférieure à $2\ \mu\text{m}$.

V. CONCLUSION

Nous avons cherché, dans cette approche statistique de l'appréciation du pouvoir minéralisateur des sols, à élaborer un modèle d'ajustement qui soit représentatif, autant que possible et à notre niveau d'analyse, des facteurs déterminants essentiels de l'activité minéralisatrice.

Les résultats montrent que l'azote produit par différents sols mis à incuber au laboratoire dépend en premier lieu de leur teneur en azote total ; cependant, la prise en compte de la fraction granulométrique $0,2\text{-}2\ \mu\text{m}$ après décarbonatation, et du calcaire de la fraction inférieure à $2\ \mu\text{m}$, améliore nettement les liaisons statistiques. Les argiles (classe inférieure à $2\ \mu\text{m}$), le calcaire total ou le calcaire actif s'avèrent de moins bons révélateurs. Les modèles statistiques tels que ceux développés ici devraient permettre d'affiner l'estimation de la fourniture d'azote minéral par le sol et donc contribuer à un meilleur ajustement de la fertilisation. De plus, l'appréciation du pouvoir minéralisateur, expression de la fertilité organique, peut s'avérer utile au diagnostic des sols agricoles. Les équations que nous avons déterminées ici portent sur un échantillon restreint ; ces résultats devront être confirmés sur un plus large éventail de situations pédo-climatiques et culturales.

Toutefois, le pouvoir minéralisateur ne représente que l'azote minéral produit par le sol dans des conditions définies et différentes de celles qui prévalent sur le terrain. Toute la difficulté, dans un objectif de pré-

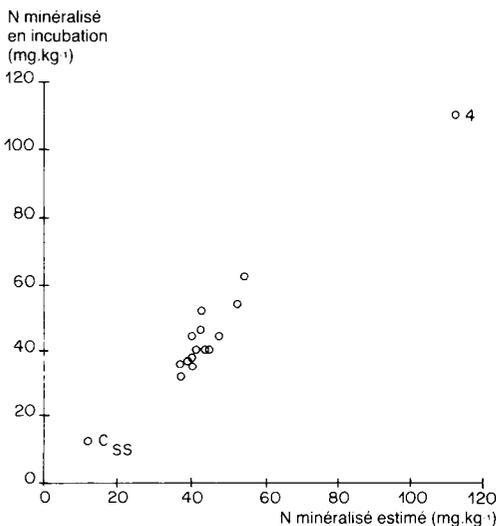


Figure 1

Relation entre l'azote minéralisé en incubation et son estimation par régression multiple (Min).

Relation between nitrogen mineralization during incubation and estimate according to multiple regression (Min).

Min = $11,4 \text{ Ntot} - 0,092 \text{ Arg (0,2-2)} - 0,713 \text{ Calc} < 2 + 35,8$.

Min : Minéralisation 25 à 300 jours (mg.kg^{-1}).

Mineralization over 25-300 days (mg.kg^{-1}).

Ntot : Azote total (‰).

Total nitrogen (‰).

Arg (0,2-2) : Argiles 0,2 à $2\ \mu\text{m}$ (‰).

Clay fraction 0,2-2 μm (‰).

Calc < 2 : Calcaire de la fraction < $2\ \mu\text{m}$ (‰).

CaCO_3 of clay fraction < $2\ \mu\text{m}$ (‰).

vision de fumure azotée, tient dans la conversion du pouvoir minéralisateur en azote effectivement libéré au champ (aspect quantitatif et cinétique). Il est nécessaire également d'estimer la participation de l'azote exogène au bilan de l'azote minéral. Il s'agit enfin d'apprécier les possibilités d'utilisation par la culture de l'azote mis à sa disposition, ce qui implique que l'on tienne compte à la fois de la nature de cette culture, de son stade de développement et des techniques culturales appliquées.

Reçu le 3 septembre 1985.

Accepté le 10 janvier 1986.

REMERCIEMENTS

Nous remercions MM. P. CHASSIN, B. MARY et J. C. MULLER (I.N.R.A. Science du sol Versailles, Agronomie Laon et Science du sol Châlons-sur-Marne respectivement) qui ont accepté de lire cet article relatant une étude entreprise dans le cadre de l'Action Concertée de Recherche « Fertilité et systèmes de production en région de grande culture » et qui y ont apporté des critiques très constructives.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anne P.**, 1945. Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. *Ann. agron.*, **15**, 161-172.
- Anderson D. W., Paul E. A.**, 1984. Organo-mineral complexes and their studies by radiocarbon dating. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 298-301.
- Anderson D. W., Saggart S., Bettany J. R., Stewart J. W. B.**, 1981. Particle size fractions and their use in studies of the soil organic matter : I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 767-772.
- Andreux F.**, 1981. Utilisation de molécules modèles de synthèse dans l'étude des processus d'insolubilisation et de biodégradation des polycondensats humiques. *Bull. Ass. fr. Etud. Sol*, **4**, 271-291.
- Boiffin J., Sébillote M.**, 1975. Influence des conditions écologiques et de l'histoire culturale sur le rendement du maïs-grain. Analyse de 8 campagnes sur un essai de longue durée. *Ann. agron.*, **26** (5), 555-591.
- Bruckert S., Andreux F., Correa A., Ambouta K. J. M.**, 1978. Fractionnement des agrégats appliqués à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols. Note technique n° 22, 14 p.
- Callot G., Dupuis M.**, 1980. Le calcaire actif des sols et sa signification. *Bull. Ass. Fr. Etud. Sol*, **1**, 17-26.
- Drouineau G.**, 1942. Dosage rapide du calcaire actif des sols. *Ann. agron.*, 441-450.
- Greenland D. J.**, 1965. Interaction between clays and organic compounds in soils. *Soils and Fert.*, **28**, 412-425.
- Greenland D. J.**, 1971. Interaction between humic and fulvic acids and clay. *Soil Sci.*, **111** (1), 34-41.
- Jacquin F., Chouliaras N.**, 1976. Evolution de la matière organique dans une rendzine et son interférence sur une classification génétique des humus. *Bull. Ass. Fr. Etud. Sol*, **4**, 241-246.
- Juma N. G., Paul E. A.**, 1984. Mineralizable soil nitrogen : amounts and extractability ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 76-80.
- Juste C., Delas J.**, 1970. Etude de quelques propriétés des complexes formés par les acides humiques et les cations. *Bull. Ass. Fr. Etud. Sol*, **4**, 39-49.
- Juste C., Delas J., Langon M.**, 1975. Comparaison de la stabilité biologique de différents humates métalliques. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, Série D, **281**, 1685-1688.
- Mary B., Rémy J. C.**, 1979. Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de l'azote des sols de grande culture. I. Signification des cinétiques de minéralisation de la matière organique humifiée. *Ann. agron.*, **30** (6), 513-527.
- Muller J. C., Vedy J. C.**, 1978. Morphoscopie et fractionnement des matières organiques des rendzines sur craie. *Bull. Ass. Fr. Etud. Sol*, **2**, 129-144.
- Rémy J. C., Hébert J.**, 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, **163**, 700-714.
- Stanford G., Epstein E.**, 1974. Nitrogen mineralization-water relations in soils. *Soil Soc. Am. Proc.*, **38**, 103-106.
- Stanford G., Smith S. J.**, 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Soc. Am. Proc.*, **36**, 465-472.
- Tiessen H., Stewart W. B.**, 1983. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter : II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **47**, 509-514.
- Travnikova L. S., Titova N. A.**, 1978. Factors controlling the distribution of organic matter in fractions < 5 µm in diameter in soils of a Solonetz complex in the Kalmyk ASSR. *Sov. Soil Sci.*, **10** (6), 695-705.
- Van Veen J. A., Paul E. A.**, 1981. Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background informations and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.*, **61** (2), 185-201.