

Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'ordures ménagères

E. Elherradi^(1, 2), B. Soudi⁽³⁾ et K. Elkacemi⁽¹⁾

(1) Université Mohamed V, faculté des Science, Département de chimie, Rabat, Maroc.

(2) Ecole Normale Supérieure de Takaddoum, Département de Chimie, Rabat, Maroc

(3) Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Département des sciences du sol, Rabat, Maroc.

RÉSUMÉ

Afin d'évaluer l'effet d'amendement organique des sols avec du compost d'ordures ménagères sur l'évolution de l'azote minéral, deux sols contrastés par leurs propriétés physico-chimiques et texturales : un sol sablonneux de la région côtière de Rabat (SRR) et un sol limono-argileux du Gharb (SDG) ont été étudiés.

Des essais d'incubation aérobie pendant 35 jours (5 semaines) ont été conduits au laboratoire sous des conditions contrôlées à une température de 30 °C, optimale pour l'ammonitrification. Les échantillons de sol ont été ajustés à différents niveaux d'humidité 50 %, 80 % et 100 % Hcc en présence de doses croissantes de compost, équivalentes à 0, 10, 20 et 30 tonnes.ha⁻¹.

L'apport du compost a induit une augmentation de la quantité d'azote minéralisé des deux sols. La production d'azote minéral en fonction du temps croît avec la dose du compost apporté. L'allure générale de cette production est comparable pour les différents traitements. Cependant, les quantités d'azote minéralisé diffèrent dans les deux sols utilisés et dépendent de l'humidité. Cette allure est caractérisée pour toutes les doses apportées par une augmentation brutale durant la première semaine d'incubation appelée « effect flush ». Les quantités résultantes de cette surminéralisation varient de 29 à 60 kg N.ha⁻¹ et de 58 à 87 kg N.ha⁻¹ respectivement pour SRR et SDG à 80 % Hcc. La minéralisation est plus intense en SDG que dans le SRR pour les différentes doses du compost. Après 35 jours d'incubation, la quantité d'azote minéralisé est de 139 kg.ha⁻¹ en SDG et de 99 kg.ha⁻¹ en SRR amendés avec 30 tonnes.ha⁻¹ et à 100 % Hcc.

Le taux apparent moyen de minéralisation de l'azote organique du compost est de 8 et 10 % pour SRR et SDG durant la période d'incubation à 100 % Hcc.

Mots clés

Compost, ordures ménagères, incubation aérobie, minéralisation, taux de minéralisation, Maroc.

SUMMARY

EVALUATION OF NITROGEN MINERALIZATION OF TWO SOILS AMENDED WITH MUNICIPAL SOLID WASTE COMPOST

In order to evaluate the effect of organic amendment of soils with municipal solid waste compost on mineral nitrogen evolution, two contrasted soils by their physical and chemical and textural properties from Morocco were studied: a sandy soil of coastal region of Rabat (SRR) and a loam-clay soil of Gharb (SDG) (table 1).

Some testing of aerobic incubation for 35 days (5 weeks) have been conducted in the laboratory under controlled conditions. The temperature of 30 °C, optimal for the ammonitrification has been kept. Samples of soil had been adjusted to different levels of moisture 50 %, 80 % and 100 % of the water holding capacity in the presence of compost to 0, 10, 20 and 30 tonne per hectare (table 2).

The contribution of the compost led an increase of the quantity of mineralized nitrogen of both soils. The production of mineral nitrogen according to time rose with the dose of the brought compost. The general appearance of this production is comparable for the various treatments. However, quantity of mineralized nitrogen differ in both used soils and depend upon the moisture content. This appearance characterized for all the doses brought by an increase rough during the first week of incubation called effect flush. The resultant quantities of this surmineralization vary from 29 to 60 kgN.ha⁻¹ and from 58 to 87 kgN.ha⁻¹ respectively for SRR and SDG in 80 % of Hcc (table 3). The mineralization is more intense in SDG than in SRR for the various doses of the compost. After 35 days of incubation, the quantity of mineralized nitrogen is 139 kgN.ha⁻¹ in SDG and 99 kgN.ha⁻¹ in SRR amended with 30 tonne per hectare and in moisture 100 % of Hcc.

The medium bulk mineralization rate of compost organic nitrogen is 8 and 10 % for SRR and SDG during the period of incubation in moisture 100 % of Hcc.

Key-words

Compost, municipal solid waste, aerobic incubation, mineralization, rate of mineralization, Morocco.

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO DE DOS SUELOS ABONADOS CON UN COMPOST DE BASURAS CASERAS

Para estudiar el efecto de abonos orgánicos de suelos con un compost de basuras caseras sobre la evolución del nitrógeno mineral, se estudió dos suelos contrastados por sus propiedades físico-químicas y texturales, un suelos arenoso de la región costera de Rabat (SRR) y un suelo limono-arcilloso del Gharb (SDG). Ensayos de incubación aeróbica durante 35 días (5 semanas) fueron conducidos al laboratorio bajo condiciones controladas con temperatura de 30 °C, óptima para la amonitrificación. Las muestras de suelos fueron ajustados a diferentes niveles de humedad 50 %, 80 % y 100 % Hcc en presencia de dosis crecientes de compost, equivalentes a 0, 10, 20 y 30 toneladas.ha⁻¹.

El aporte de compost indujo un aumento de la cantidad de nitrógeno mineralizado en los dos suelos. La producción de nitrógeno mineral en función del tiempo aumento con la dosis de compost aportado. La forma general de esta producción es comparable para los diferentes tratamientos. Todavía, las cantidades de nitrógeno mineralizado son diferentes en los dos suelos usados y dependen de la humedad. Esta forma esta caracterizada por todas las dosis aportadas por un aumento brutal durante la primera semana de una incubación llamada « efecto flush ». Las cantidades resultantes de esta sobremineralización varían de 29 a 60 kgN.ha⁻¹ y de 58 a 87 kgN.ha⁻¹ respectivamente por SRR y SDG a 80 % Hcc. La mineralización es más intensa en SDG que en SRR para las diferentes dosis de compost. Después de 35 días de incubación, la cantidad de nitrógeno mineralizado es de 139 kgN.ha⁻¹ en SDG y de 99 kgN.ha⁻¹ en SRR abonados con 30 toneladas.ha⁻¹ y 100 % Hcc.

La tasa aparente media de mineralización del nitrógeno orgánico del compost es de 8 a 10 % para SRR y SDG durante el periodo de incubación a 100 % Hcc.

Palabras clave

Compost, basuras caseras, incubación aeróbica, mineralización, tasa de mineralización, Marruecos

Dans l'agriculture moderne où l'intensification agricole est accrue, les sols manifestent une dégradation à cause de la diminution de leur taux de matière organique. Ce problème est d'autant plus grave que les résidus de cultures ne sont pas restitués aux sols, particulièrement durant les années de sécheresse où ces résidus sont exportés des parcelles pour l'alimentation du bétail. L'exemple de vente sur place des résidus de betterave sucrière (feuilles et collets) est assez démonstratif dans les périmètres irrigués du Maroc (Soudi *et al.*, 2002). En effet, l'exportation des résidus hors du sol, accompagnée d'un labour intensif provoque une détérioration sévère du sol et par la suite une chute de la productivité (Smith et Elliot, 1990; Power, 1990).

La restauration de la fertilité du sol pourrait se faire en apportant des produits d'amendement organique. L'accumulation de la matière organique dans le sol est fonction de la dose et de la fréquence des amendements organiques ajoutés et des résidus de culture retournés au sol. Des travaux effectués par Sommerfeldt *et al.* (1988) montrent une corrélation entre la quantité d'amendement organique appliqué annuellement et l'augmentation de la teneur en matière organique dans le sol. Les produits d'amendements organiques permettent non seulement l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, mais aussi constituent un réservoir important d'éléments nutritifs. Parmi ce pool de nutriments, l'azote constitue l'élément essentiel qui se caractérise par sa dynamique et par la complexité de ses voies de transformation.

Du fait de leur forte teneur en matière organique fermentescible, les ordures ménagères sont potentiellement utilisables après compostage en tant qu'amendement organique des sols. En effet, les déchets ménagers des pays en voie de développement sont constitués à plus de 70 % par de la matière organique (Soudi *et al.*, 1996). La production actuelle des déchets à l'échelle du Maroc s'élève à environ 17 413 tonnes par jour (REEM, 1999). Il peut donc paraître ridicule de priver les sols en cours de dégradation de cette matière organique qui se termine dans les décharges publiques au lieu d'être valorisée après compostage en tant qu'amendement organique.

De nombreux travaux ont été consacrés à l'évaluation du taux de minéralisation annuel du compost. Il a été rapporté que ce dernier, durant la première année, varie de 25 à 55 % selon le type de compost utilisé (Mac Donald, 1953; Pratt, 1973 et Dowdy, 1976 in Soudi *et al.*, 1992).

La présente étude est consacrée à l'évaluation du rythme de minéralisation de l'azote suite aux apports au sol de doses croissantes de compost de déchets ménagers.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a porté sur deux types de sols contrastés du point de vue de la texture. Ce paramètre a une influence significative sur la dynamique de la matière organique étant données les interactions entre

les colloïdes argileux et la matière organique. Les principales caractéristiques physico-chimiques de ces deux sols sont présentées dans le *tableau 1*. Le premier sol, sableux, (SSR) provient des jardins de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat (I.A.V). Il s'agit d'un sol fersiallitique rouge représentatif de la région côtière marocaine. Il est pauvre en matière organique (0,85 %). Les sables fins dominent, ce qui lui confère une capacité de rétention en eau très faible (Hcc = 9 %) et une faible capacité de rétention des cations.

Le deuxième sol provient de la ferme d'application du Gharb (F.A.G) de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. C'est un sol, peu évolué d'apport alluvial connu sous le nom de Dehs, représentatif du périmètre irrigué du Gharb. Il contient 1,93 % de matière organique; sa texture est limoneuse avec 64 % de limon, et une capacité de rétention en eau assez élevée (Hcc = 25 %).

Les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre et tamisés à

Tableau 1 - Principales caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm des deux sols étudiés.

Table 1 - Principal physical and chemical characteristics of the 0-20 cm layer of the two studied soils.

	Sol sableux Rmel de Rabat (SRR)	Sol limono- argileux Dehs léger du Gharb (SDG)
Granulométrie (%)		
Argile	7,1	33,4
Limon fin	9,4	40,2
Limon grossier	1,3	23,8
Sable fin	60,7	2,3
Sable grossier	21,5	0,3
Caractéristiques hydriques		
Hcc (%)	9	25
HpFp (%)	3,3	10
Densité apparente (g.cm ⁻³)	1,2	1,3
Caractéristiques chimiques		
CO (%)	0,49	1,12
MO (%)	0,85	1,93
N total (%)	0,04	0,16
N-NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹)	0,47	2,88
N-NO ₃ ⁻ (mg.kg ⁻¹)	2,35	36,32
C/N	12,25	7,00
pHeau (1:10)	7,20	8,33
C.E (1:10) (mS.cm ⁻¹)	0,11	1,26
Calcaire actif (%)	0,00	6,00
Calcaire total (%)	1,34	12,70
P ₂ O ₅ assimilable (mg.kg ⁻¹)	13,60	32,87
K ₂ O assimilable (mg.kg ⁻¹)	75,07	149,17

2 mm. Des prises d'essai de 50 g sont placées dans des gobelets en plastique et amendés avec un compost d'ordures ménagères provenant de l'Unité de Tri et de Compostage (UTC) de Salé bab Lamrisa. Les ordures ménagères mises en compostage ont été collectées dans le quartier Hay Enahda de la ville de Salé. La matière fermentescible représente entre 50 à 70 % du poids des ordures. Les ordures ménagères préalablement triées pour limiter les risques d'accumulation de métaux lourds ont été compostées par la méthode de mise en andains retournés (Mustin, 1987 ; Soudi, 2001) ; elle consiste à mélanger les ordures et à les disposer en tas qu'on retourne de manière périodique pour assurer une aération et donc une fermentation aérobie et pour que toutes les parties du tas soient exposées aux hautes températures (60 - 65 °C), ce qui assure leur pasteurisation. Un ajustement de l'humidité est effectué au besoin par arrosage.

Le compost utilisé est mûr à 10 mois. Ses caractéristiques chimiques sont rapportées dans le *tableau 2*. Le faible rapport C/N témoigne d'une tendance vers la minéralisation et non vers l'immobilisation et d'une susceptibilité de la matière organique incorporée à une décomposition rapide.

Le compost, broyé à 0,5 mm, a été intimement mélangé au sol. Les gobelets ont été fermés hermétiquement et placés dans l'incubateur à une température de 30 °C après avoir ajusté l'humidité à des niveaux différents exprimés en pourcentage de l'humidité à la capacité au champ.

Dans cette expérimentation, 4 traitements ont été appliqués pour chaque sol ; 3 traitements à base de compost et un témoin où le sol n'a reçu aucun apport. Les traitements à base de compost ont reçu des doses croissantes équivalentes à 10, 20 et 30 tonnes par hectare.

Sur la base des caractéristiques des sols (densité apparente) et la profondeur utilisée (20 cm), les quantités de compost ont été les suivantes :

	10t ha ⁻¹	20t ha ⁻¹	30t ha ⁻¹
	mg de compost.kg ⁻¹ de sol		
SRR	4167	8334	12501
SDG	3846	7692	11538

Pour chaque traitement, trois niveaux d'humidité, 50 %, 80 % et 100 % de l'humidité à la capacité au champ ont été maintenues. Ces traitements ont été répétés 3 fois.

Au total, 4 traitements x 3 humidités x 3 répétitions = 36 échantillons pour chaque période d'incubation et pour chaque sol.

L'azote minéral a été suivi sur une période de 5 semaines (35 jours) d'incubation avec 2 dosages par semaine. La première semaine 4 dosages ont été réalisés pour pouvoir examiner les réactions biologiques du sol immédiatement après amendement organique et humectation.

L'extraction de l'azote minéral, sous ses deux formes ammonia-

Tableau 2 - Caractéristiques chimiques du compost utilisé

Table 2 - Chemical characteristics of the compost used

CO (%)	12,62
MO (%)	21,76
N total (%)	1,26
C/N	10,02
N minéral (mg.kg ⁻¹)	100,00
C.E 1/10 (mS.cm ⁻¹)	4,43
pH eau	8,75
P ₂ O ₅ total (mg.kg ⁻¹)	6 178
K ₂ O total (mg.kg ⁻¹)	980

cale et nitrique, a été faite par une solution de CaCl₂ 0,01 M (Keeney et Nelson, 1982) et le dosage a été effectué par distillation par entraînement à la vapeur en présence de MgO pour l'azote ammoniacal et de MgO et l'alliage de Deverda pour l'azote nitrique.

L'incubation aérobie présente des difficultés de maintien d'une humidité constante durant la période d'incubation. Pour minimiser les pertes d'eau par évaporation, des bassins d'eau ont été placés à l'intérieur de l'incubateur. Les flacons sont aérés tous les 3 jours pendant environ 5 minutes. L'eau qui est perdue par les échantillons est évaluée par pesée et renouvelée.

Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet avec 3 répétitions et 4 traitements. Trois facteurs sont étudiés : le type de sol, l'apport d'amendement organique et le pourcentage d'humidité par rapport à l'humidité à la capacité au champ.

Le logiciel STATITCF a été utilisé pour les analyses de la variance et les comparaisons multiples des moyennes. Les régressions ont été établies à l'aide du logiciel EXCEL.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'examen des courbes de production d'azote minéral au cours de l'incubation montre que les quantités d'azote ammoniacal sont faibles tout au long de l'incubation. Elles restent inférieures à 5 mg kg⁻¹ de sol sec (*figures 1, 2*).

On remarque que pour les 4 traitements et pour les différents niveaux d'humidité, l'azote ammoniacal varie de façon similaire au cours du temps dans le SRR. Le maximum de production est atteint après 3 jours d'incubation seulement suite certainement à une réhumectation. L'importance de ce maximum augmente avec l'augmentation de la dose du compost.

Après ce pic, la quantité d'azote ammoniacal produite baisse le 4^e jour et suit une évolution fluctuante au cours du temps pour l'humidité 50 % de Hcc. Ces fluctuations assez légères, peuvent être attribuées aux ajustements d'humidité. Pour l'humidité 80 % et

Figure 1 - Evolution de l'azote ammoniacal au cours du temps d'incubation à 30 °C et aux trois niveaux d'humidité pour des amendements avec le compost du sol Rmel de Rabat (SRR)

Figure 1 - Evolution of ammonium nitrogen of the SRR + organic amendment mixtures during incubation (30 °C) at various moisture content

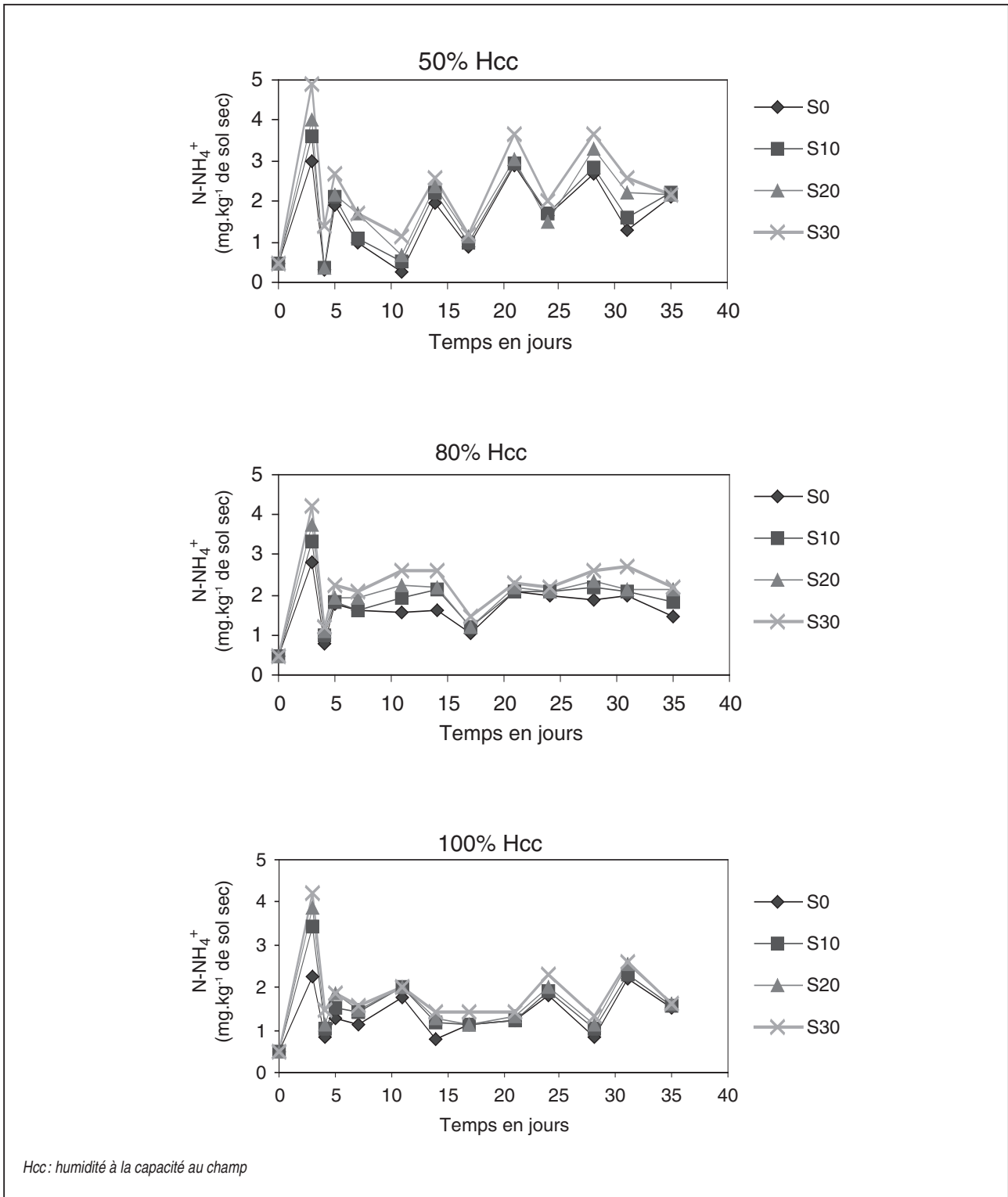
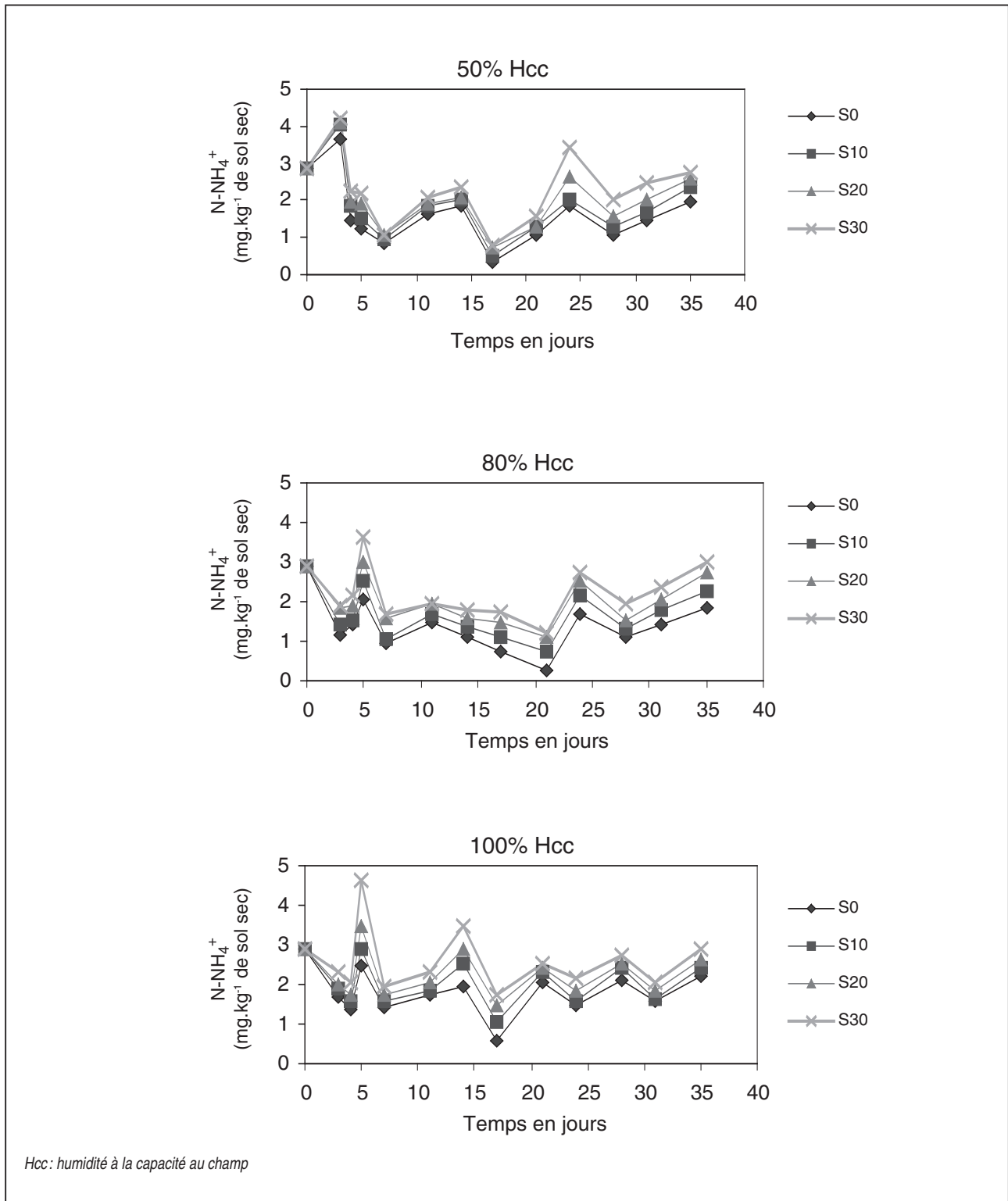


Figure 2 - Evolution de l'azote ammoniacal au cours du temps d'incubation à 30 °C et aux trois niveaux d'humidité pour des amendements avec le compost du Dehs léger du Gharb (SDG)

Figure 2 - Evolution of ammonium nitrogen of the SDG + organic amendment mixtures during incubation (30 °C) at various moisture content



100 % de Hcc, après le 4^e jour d'incubation le rythme d'accumulation d'ammonium demeure constant. Cela pourrait être attribué au fait que chaque ammonium produit est nitrifié étant donné les conditions optimales d'humidité et de température. Par contre, dans le SDG, le maximum de production est observé le 3^e jour d'incubation pour l'humidité 50 % de Hcc et le 5^e jour pour l'humidité 80 % et 100 % de Hcc. Après ce pic, la quantité d'azote ammoniacal produite suit une évolution fluctuante similaire à celle observée pour le SRR et qui diffère pour les 3 niveaux d'humidité.

La quantité d'azote nitrique (figures 3, 4) produite au cours de l'incubation, pour tous les traitements et pour les différents niveaux d'humidité, est plus élevée dans le SDG. A 80 % de Hcc par exemple, elle se situe entre 2,82 et 31,44 mg N kg⁻¹ de sol sec pour le SRR alors qu'elle se situe entre 39,2 et 74,63 mg N kg⁻¹ de sol sec pour le SDG. Cette quantité augmente avec la dose de compost apporté. En effet, le rapport C/N du compost témoigne d'une tendance vers la minéralisation et non vers la réorganisation de l'azote nitrique. Ceci indique que l'application de ce produit ne risquerait pas d'induire un effet dépressif.

La production de l'azote nitrique suit la même évolution pour les 4 traitements et les 3 niveaux d'humidité. Le rythme de nitrification démarre rapidement au début et devient relativement constant après le 11^e jour.

Pour le SDG, la nitrification atteint un maximum au 7^e jour puis diminue pour subir une augmentation à vitesse constante à partir du 14^e jour. Alors que pour le SRR, un pic dû à la réhumectation est observé le 3^e jour d'incubation. La valeur atteinte par ces pics augmente avec les doses de compost apporté.

En comparaison avec l'azote minéral initial du sol, l'azote minéralisé total après 35 jours d'incubation est supérieur dans tous les traitements (figures 5, 6). La quantité d'azote minéral produite au cours de l'incubation est plus élevée dans le SDG.

Du fait du niveau bas d'azote ammoniacal, enregistré durant toute la période d'incubation à cause de son oxydation en nitrate, l'azote minéral total a montré des variations similaires à celles de l'azote nitrique. Sa fourniture par le SRR et par le SDG au cours de l'incubation varie d'une manière parallèle à celle des nitrates.

On note que les courbes d'évolution d'azote minéral possèdent la même allure. En effet, elles se caractérisent par une augmentation de la quantité d'azote minéral produit au cours de toute la période d'incubation avec un pic le 3^e jour pour le SRR, le 7^e jour pour le SDG et une minéralisation à vitesse constante après le 11^e jour d'incubation pour le SRR et le 14^e jour pour le SDG.

Ces résultats montrent que l'azote des sols et celui des mélanges sol - compost sont constitués d'au moins deux pools qui n'ont pas la même aptitude à la minéralisation. Un premier pool très labile où une fraction d'azote facilement minéralisable génère le « flush » de minéralisation (tableau 3) et un second pool, plus récalcitrant. En effet, et comme l'avaient indiqué Mary et Remy (1979), sous l'effet d'une réhumectation des sols après séchage, il se produit un « flush » de minéralisation considérable entre 0

et 14 jours après leur incubation, après quoi la vitesse de minéralisation diminue. Selon Jenkinson (1966) et Bottner (1985) ce « flush » correspond essentiellement à la biomasse microbienne détruite en partie par séchage ou à une matière organique très labile susceptible d'être minéralisée rapidement.

Le « flush » de minéralisation (tableau 3) diffère de manière significative d'un sol à l'autre et d'un traitement à l'autre. Il est plus important dans le SDG. Il augmente de façon croissante avec l'apport de doses de compost dans les deux sols. Le niveau le plus faible est enregistré dans l'échantillon témoin S0 qui représente le sol dépourvu de tout traitement et le niveau maximum est enregistré dans l'échantillon S30 qui représente le sol amendé avec 30 tonnes par hectare de compost.

Les valeurs maximales sont observées pour l'humidité 80 % de Hcc, suivies de celle de 100 % puis de 50 % de Hcc pour le SRR. Le « flush » de minéralisation, similaire pour les humidités 50 % et 80 % de Hcc, est plus faible à 100 % de Hcc pour le SDG.

L'analyse globale de la variance a montré que pour toute humidité, traitements confondus, le type de sol a un effet très hautement significatif sur le « flush » de minéralisation. Ainsi, la moyenne est de 28,12 et 16,84 respectivement pour le SDG et le SRR à l'humidité 50 % de Hcc. Elle est de 27,97 et 18,85 à l'humidité 80 % de Hcc et de 25,06 et 17,51 à l'humidité 100 % de Hcc.

Dans une étude menée par Vong (1987) sur 16 sols appartenant à des classes différentes, il a été montré que les tailles du pool du « flush » de minéralisation présentent autant de variations entre les différentes classes du sol qu'à l'intérieur de la même classe, ce qui l'amène à conclure, qu'en plus des facteurs physico-chimiques, l'influence d'autres paramètres propres aux agrosystèmes pouvant agir sur la dynamique biologique des sols ne peut être exclue. Ceci pourrait être attribué probablement à l'histoire culturale différente qui se traduit par une quantité et une qualité différentes des résidus de récolte.

Ce « flush » est provoqué principalement par la minéralisation de la biomasse détruite partiellement par le séchage des sols et aussi par les effets physiques résultant de la réhumectation des échantillons du sol (Bottner, 1985 ; Soudi, 1982 ; Soudi, 1988). Une humectation aura pour conséquence d'intensifier l'activité métabolique des micro-organismes qui auront à leur disposition une matière organique labile facilement biodégradable. D'autre part, le gonflement des argiles lors de la réhumectation des échantillons du sol augmenterait la surface de contact entre biomasse vivante et composés organiques et favoriserait ainsi une biodégradation plus intense (Bottner, 1985). En effet, ce « flush » est de 63 % et de 40 % de l'azote minéralisé après 35 jours d'incubation pour l'humidité 80 % de Hcc, respectivement pour le SDG et le SRR sans amendement. La quantité produite est respectivement de 58 kg.ha⁻¹ et 29 kg.ha⁻¹. Ces résultats confirment bien l'influence de la texture sur les intensités de « flush » de minéralisation lorsque les matériaux sont soumis à la réhumectation.

Soudi *et al.*, (1990) ont constaté une surminéralisation dans

Figure 3 - Evolution de l'azote nitrique au cours du temps d'incubation à 30 °C et aux trois niveaux d'humidité pour des amendements avec le compost du sol Rmel de Rabat (SRR)

Figure 3 - Evolution of nitrate nitrogen of the SRR + organic amendment mixtures during incubation (30 °C) at various moisture content

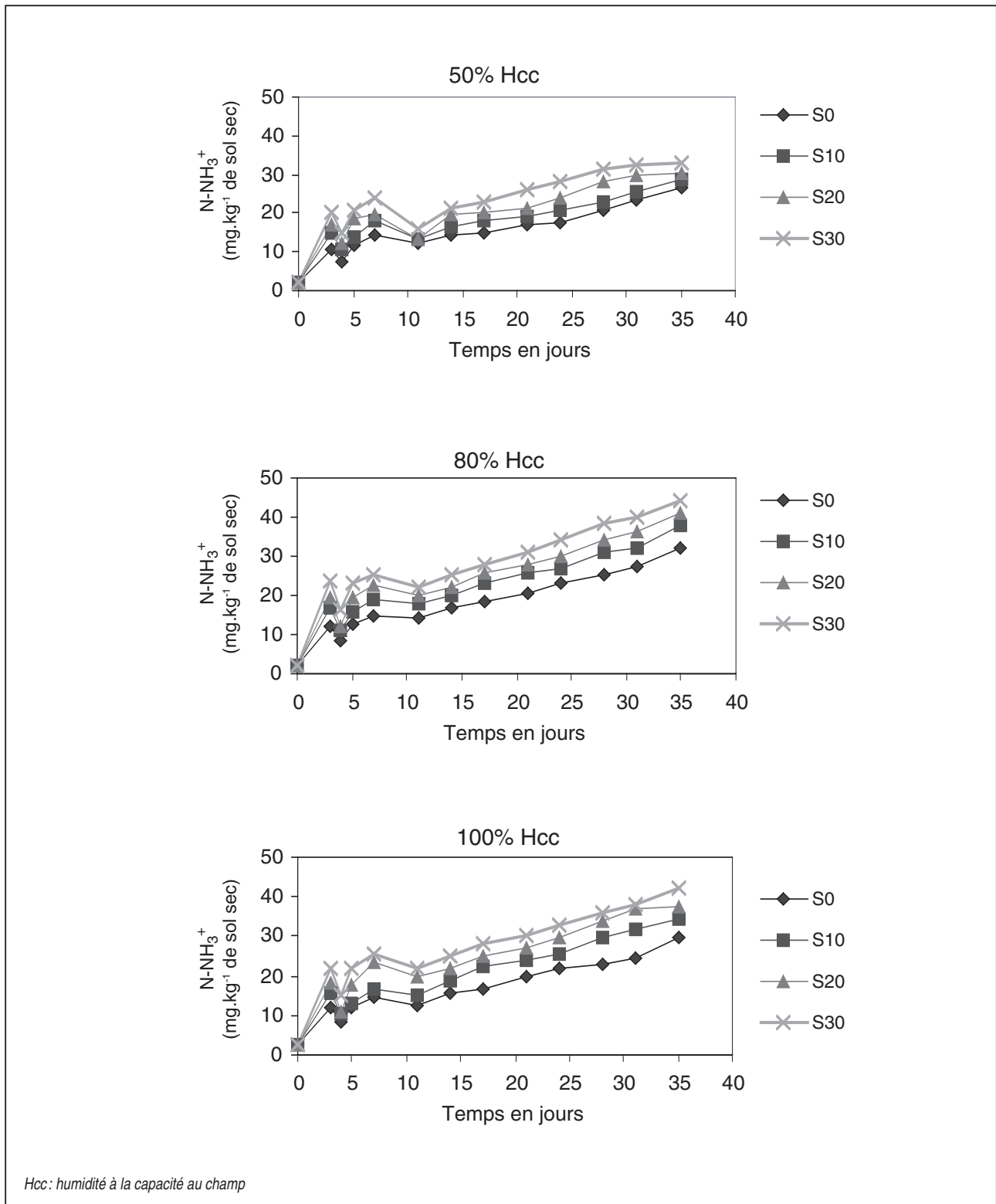


Figure 4 - Evolution de l'azote nitrique au cours du temps d'incubation à 30 °C et aux trois niveaux d'humidité pour des amendements avec le compost du Dehs léger du Gharb (SDG)

Figure 4 - Evolution of nitrate nitrogen of the SDG + organic amendment mixtures during incubation (30 °C) at various moisture content

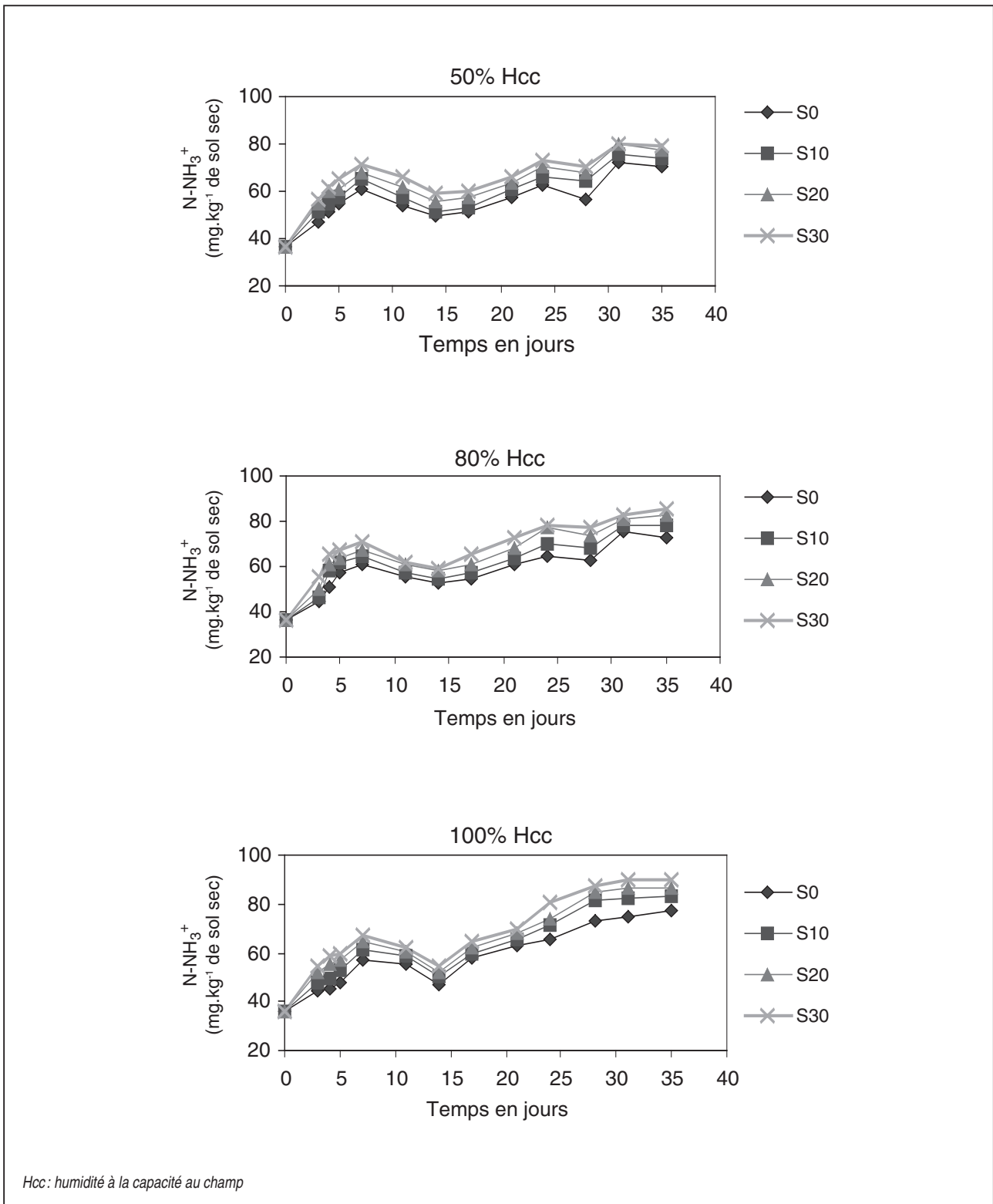


Figure 5 - Evolution de l'azote minéral au cours du temps d'incubation à 30 °C et aux trois niveaux d'humidité pour des amendements avec le compost du sol Rmel de Rabat (SRR)

Figure 5 - Evolution of mineral nitrogen of the SRR + organic amendment mixtures during incubation (30 °C) at various moisture content

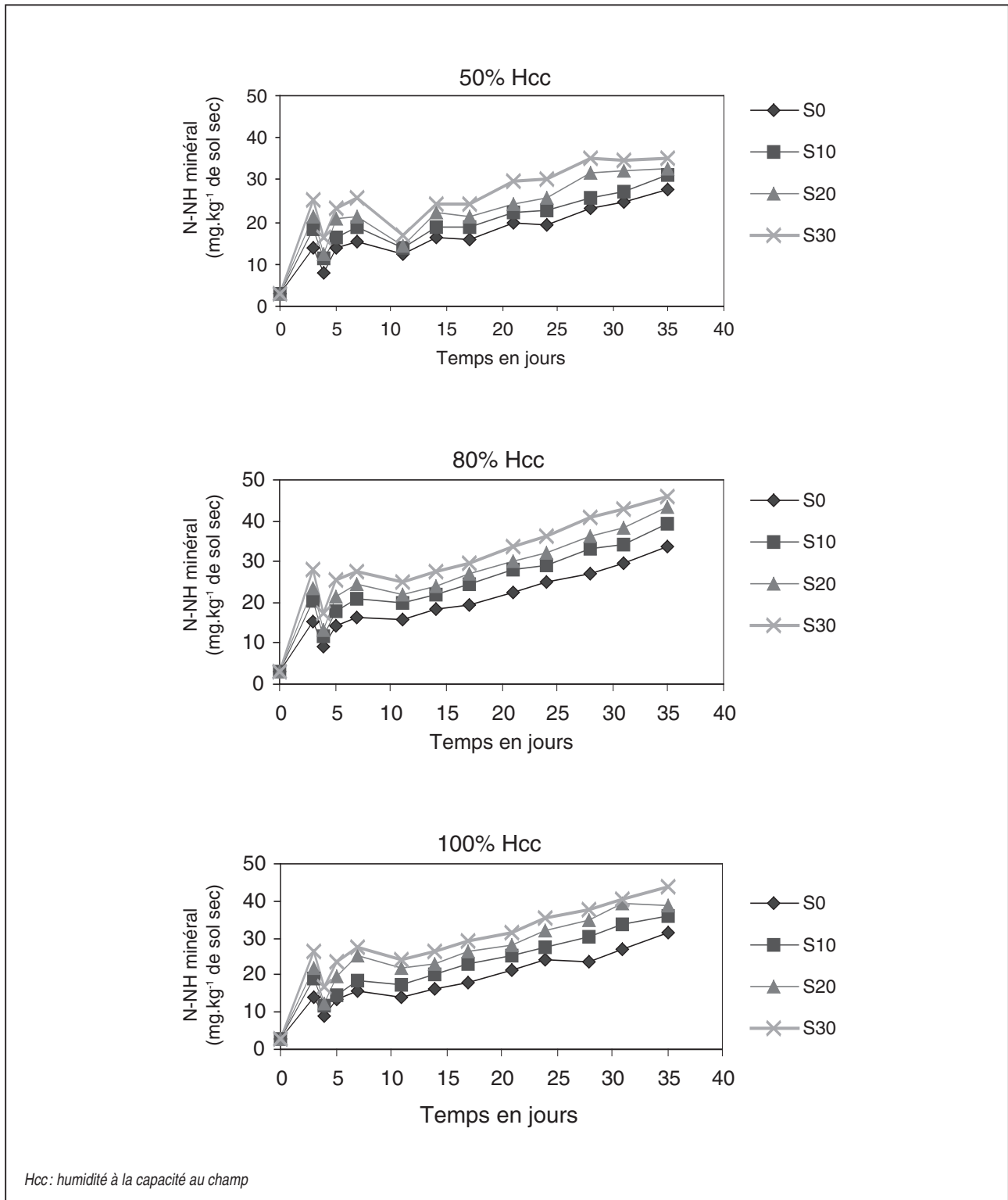


Figure 6 - Evolution de l'azote minéral au cours du temps d'incubation à 30 °C et aux trois niveaux d'humidité pour des amendements avec le compost du Dehs léger du Gharb (SDG)

Figure 6 - Evolution of mineral nitrogen of the SDG + organic amendment mixtures during incubation (30 °C) at various moisture content

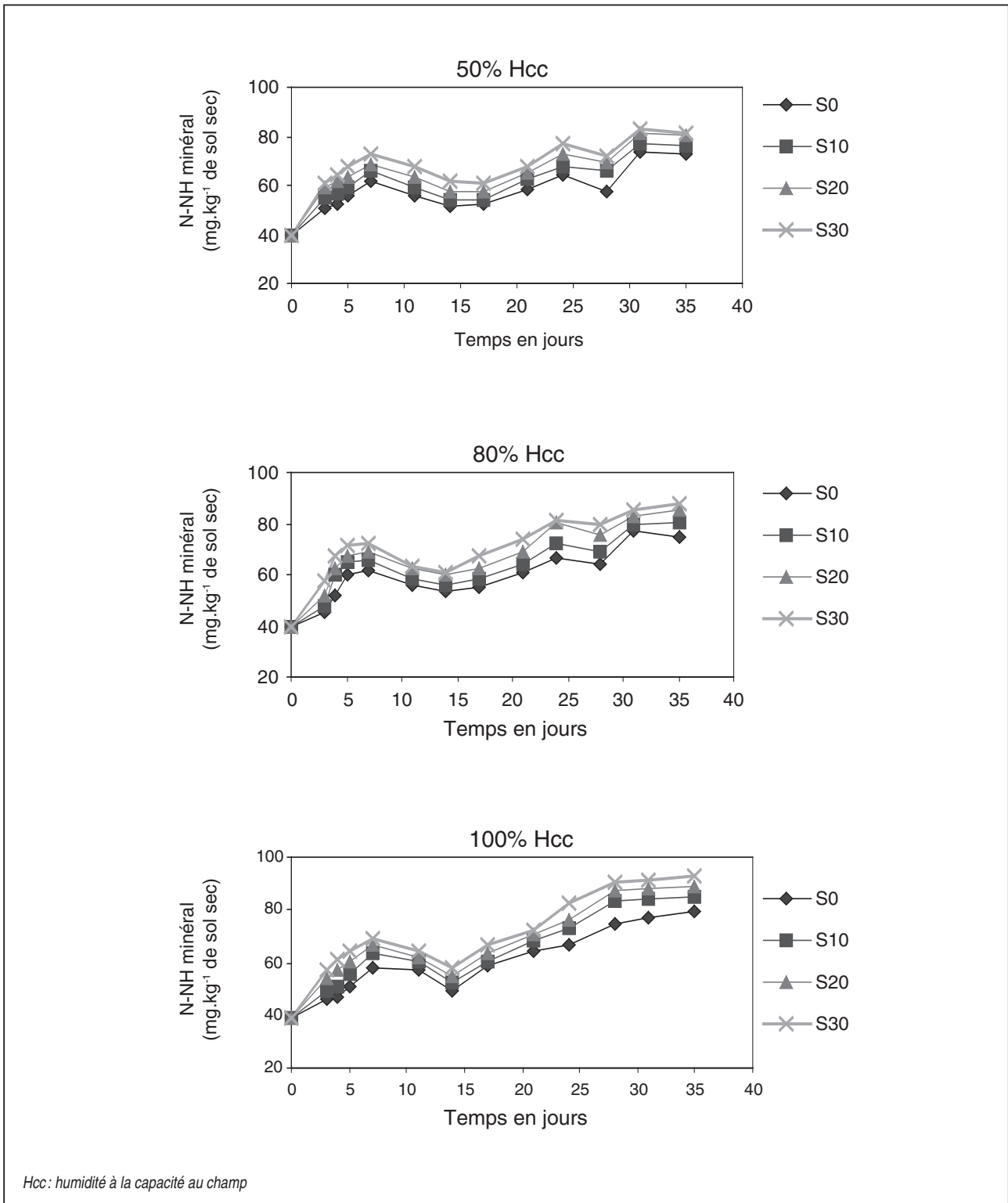


Tableau 3 - «Flush» de minéralisation (mg.kg⁻¹ de sol sec)**Table 3** - Flush of mineralization (mg.kg⁻¹ of dry soil)

	50 % Hcc		80 % Hcc		100 % Hcc	
	SRR	SDG	SRR	SDG	SRR	SDG
S0	10,99 (44 %) d	22,91 (69 %) d	12,24 (40 %) d	22,45 (63 %) d	11,32 (40 %) d	18,98 (47 %) d
S10	15,68 (56 %) c	26,95 (72 %) c	17,41 (47 %) c	26,57 (64 %) c	16,12 (49 %) c	24,01 (52 %) c
S20	18,33 (61 %) b	29,32 (72 %) b	20,65 (51 %) b	29,59 (64 %) b	19,13 (53 %) b	27,38 (55 %) b
S30	22,35 (69 %) a	33,31 (78 %) a	25,11 (58 %) a	33,28 (68 %) a	23,46 (57 %) a	29,86 (56 %) a

Les valeurs entre parenthèses représentent les proportions du «flush» de minéralisation en % par rapport à N minéralisé après 35 jours d'incubation. a, b, c, d les valeurs suivies par la même lettre au sein de la même colonne ne se différencient pas significativement au seuil de probabilité de 5 %.

des sols de la Chaouia (Maroc) après les premières pluies automnales, analogue à celle constatée en conditions de laboratoire. Les quantités résultantes de cette surminéralisation ont varié de 30 à 70 kg d'azote par hectare. Ce même phénomène a été constaté par Laudelout *et al.* (1978) avec la différence que la surminéralisation surgit après le froid hivernal. L'explication commune de ce phénomène qui a été avancée par de nombreux auteurs réside dans le fait qu'une dessiccation estivale ou le gel dû à un froid hivernal provoquent un effet de stérilisation partielle.

Le « flush » de minéralisation est plus important dans les échantillons amendés et croît avec les doses de compost. Ce qui montre que le « flush » n'est pas dû seulement à la minéralisation de la biomasse mais aussi à la minéralisation de la matière organique labile du compost. Il est de 68 % de l'azote minéralisé après 35 jours d'incubation à 80 % de Hcc du sol Dehs léger du Gharb (SDG) amendé avec 30 tonnes de compost par hectare. Pour le sol Rmel de Rabat (SRR), il n'est que de 58 %.

Du point de vue agricole, ce « flush » de minéralisation pourrait être un facteur de mise à la disponibilité des cultures de teneurs importantes en N minéral. Son évaluation est recommandée pour déterminer l'azote susceptible d'être minéralisé au début de la campagne agricole.

L'azote minéral enregistré correspond à la résultante de toutes

L'azote minéral enregistré correspond à la résultante de toutes les réactions du cycle de l'azote pouvant être des réactions de minéralisation ou de réorganisation. Après réhumectation des sols, les phénomènes de minéralisation reprennent de façon intense, surtout en présence d'une fraction facilement minéralisable. En présence d'apports exogènes, surtout de matériaux facilement biodégradables comme le compost mûr utilisé, la minéralisation devient plus importante et caractérise une production graduelle de N-minéral à partir d'une fraction de N-organique plus ou moins humifiée.

La quantité d'azote minéralisée à la fin de l'incubation montre une différence nette entre les échantillons enrichis par le compost et entre les différents niveaux d'humidité (tableau 4). Elle augmente avec la dose de compost. Elle est maximale à l'humidité 80 % de Hcc pour le SRR et à l'humidité 100 % de Hcc pour le SDG.

L'analyse globale de la variance a montré que pour toute humidité, traitements confondus, le type de sol a un effet très hautement significatif sur l'azote produit après 35 jours d'incubation. Ainsi, la moyenne est de 38,50 et 28,79 respectivement pour le SDG et le SRR à l'humidité 50 % de Hcc. Elle est de 42,93 et 37,79 à l'humidité 80 % de Hcc et de 47,40 et 34,76 à l'humidité 100 % de Hcc.

Au terme de 35 jours d'incubation, l'azote minéral dans le sol amendé est nettement supérieur à celui existant à l'état initial. La différence est de 77, 104 et 99 kg⁻¹ dans le SRR amendé avec 30

Tableau 4 - N-minéral produit après 35 jours d'incubation (mg.kg⁻¹ de sol sec)**Table 4** - Mineral nitrogen produced after 35 days of incubation (mg.kg⁻¹ of dry soil)

	50 % Hcc		80 % Hcc		100 % Hcc	
	SRR	SDG	SRR	SDG	SRR	SDG
S0	24,86 c	33,44 c	30,65 d	35,43 d	28,62 d	40,31 d
S10	28,22 b	37,21 b	36,68 c	41,35 c	33,13 c	45,97 c
S20	29,91 a	40,89 a	40,51 b	46,04 b	36,16 b	49,77 b
S30	32,18 a	42,46 a	43,34 a	48,91 a	41,13 a	53,55 a

a, b, c, d les valeurs suivies par la même lettre au sein de la même colonne ne se différencient pas significativement au seuil de probabilité de 5 %.

Tableau 5 - Valeurs du T.A.M en % de l'azote du compost dans les deux sols à différentes humidités**Table 5** - Bulk mineralization rate (%) of compost nitrogen in the two soil types at various moisture content

	50 % Hcc		80 % Hcc		100 % Hcc	
	SRR	SDG	SRR	SDG	SRR	SDG
S10	6,40	7,78	11,48	12,22	8,59	11,68
S20	4,81	7,69	9,39	10,95	7,18	9,76
S30	4,65	6,20	8,06	9,27	7,94	9,11

et 100 % de Hcc. Cette différence est de 110, 127 et 139 kg⁻¹ dans le SDG au même traitement et pour les mêmes niveaux d'humidité. Un tel résultat montre qu'une fraction de l'azote organique du compost a été minéralisée.

La détermination du taux apparent de minéralisation de l'azote du compost a été faite selon la formule :

$$\text{T.A.M} = \frac{\text{Nse} - \text{Ns}}{\text{Nc}} \times 100$$

T.A.M: Taux apparent de minéralisation

Nse: Quantité d'azote minéralisée dans le sol enrichi avec le compost (mg N.kg⁻¹)

Ns: Quantité d'azote minéralisée dans le sol non enrichi (mg N.kg⁻¹)

Nc: Quantité d'azote apportée par le compost (mg N.kg⁻¹)

Les valeurs des taux apparents de minéralisation regroupées dans le *tableau 5* ont été calculées sur une période d'incubation de 35 jours (5 semaines).

Le résultat le plus frappant dans ce tableau est que le taux de minéralisation de l'azote apporté par le compost est nettement supérieur dans le SDG que dans le SRR.

Les travaux effectués par Presson (1981) sur des essais de longue durée, entrepris depuis 1956 sur un sol dont la teneur en argile est de 35 %, ont montré la formation de liaisons chimiques entre les composés humiques riches en azote et les argiles par l'intermédiaire des oxydes de fer, mais ceci n'entraîne pas, d'après cet auteur, un sensible ralentissement de la rapidité du « turnover » d'azote.

Pour Rutherford et Juma (1992), la minéralisation du carbone et de l'azote est plus importante en texture sableuse qu'en texture fine. Chaussod *et al.*, (1986) ont également trouvé que les sols sableux et limoneux ont des respirations spécifiques et des taux de minéralisation supérieurs aux sols argileux et que, plus le rapport sables/limons (S/L) est élevé, plus la respiration spécifique est importante.

Le calcul de ce rapport pour le cas de nos sols donne les valeurs S/L de 7,68 et 0,04 respectivement pour le SRR et pour le SDG. Ceci montre qu'il existe d'autres facteurs qui influencent

l'intensité de minéralisation de l'azote ; puisque SDG présente le taux de minéralisation le plus élevé. Il faut souligner que le SDG présente une teneur en calcaire total de 12,7 % contre seulement 1,34 % pour le SRR. Ceci explique le rôle important du calcaire qui, dans nos conditions, pourrait stimuler la minéralisation de l'azote organique du sol. Souli *et al.*, (1990) ont expérimentalement montré que certains sols calcaires au Maroc minéralisent des quantités importantes d'azote comparativement aux Vertisols fersialitiques et isohumiques.

En ce qui concerne l'effet humidité, on remarque que les taux apparents de minéralisation de l'azote du compost dans les deux sols sont classés comme suit :

$$80 \% \text{ Hcc} > 100 \% \text{ Hcc} > \text{Hcc} 50 \%$$

La modélisation de la cinétique de l'azote facilement minéralisable nous permet de quantifier les paramètres qui régissent cette cinétique.

Pour mettre en évidence la minéralisation de l'azote du compost, nous avons calculé les taux de minéralisation (TM) qui représentent les vitesses de minéralisation de l'azote après le 11^e jour d'incubation pour le SSR et après le 14^e jour d'incubation pour le SDG. Elles correspondent à des réactions qui ont une cinétique d'ordre zéro. Ces taux sont donnés par les pentes des équations de droite reliant les valeurs de l'azote minéral produit et le temps d'incubation.

Si on suppose que la cinétique de la minéralisation de l'azote est régie par une cinétique d'ordre zéro, on peut écrire :

$$dN/dt = a$$

L'intégration de cette formule donne :

$$N = a t + b$$

avec N: Quantité d'azote minéral

t: Temps d'incubation

a, b: Constantes

Pour établir l'équation $N = f(t)$ qui caractérise chacun des sols étudiés, nous avons calculé les constantes a et b par le programme de calcul basé sur la méthode de la régression linéaire. Chaque couple de valeurs de ces constantes ainsi déterminées est caractérisé par un coefficient de corrélation R.

Les valeurs des paramètres de la régression linéaire relatifs au modèle linéaire simple pour les deux sols pour différents traitements sont présentées dans le *tableau 6* avec leurs coefficients de

Tableau 6 - Paramètres de régression relatifs au modèle $N = at + b$ après le 11^e jour d'incubation pour le SRR après le 14^e jour d'incubation pour le SDG

Table 6 - Linear regression parameters relative to $N = at + b$ model after 11th day of incubation for the SRR and after 14th day of incubation for the SDG

Sols	Traitement	50 % Hcc			80 % Hcc			100 % Hcc		
		a	b	R	a	b	R	a	b	R
Rmel de Rabat (SRR)	S0	0,60	6,42	0,97	0,71	7,77	0,99	0,67	6,65	0,97
	S10	0,64	8,16	0,96	0,78	11,23	0,99	0,77	9,41	0,99
	S20	0,73	9,01	0,92	0,87	12,09	1	0,80	12,37	0,98
	S30	0,73	12,22	0,90	0,91	14,67	1	0,82	14,93	1
Dehs léger du Gharb (SDG)	S0	1,09	34,89	0,80	1,10	37,70	0,89	1,39	33,38	0,95
	S10	1,20	36,15	0,90	1,23	39,41	0,92	1,63	32,74	0,94
	S20	1,22	39,58	0,88	1,27	43,17	0,83	1,71	33,97	0,94
	S30	1,09	45,59	0,86	1,26	45,98	0,93	1,75	36,81	0,93

a : Taux de minéralisation en mg de N/kg de sol sec x jour

b : Constante positive en mg de N/kg de sol sec

R : Coefficient de détermination

corrélation R tous significatifs.

On constate que le SDG possède les taux de minéralisation les plus importantes comparés à ceux du SRR.

Ces taux de minéralisation exprimés en mg de N kg⁻¹ de sol sec x Nombre jours varie d'un sol à l'autre et augmente avec la dose de compost (figures 7 et 8).

En ce qui concerne l'effet de l'humidité, on remarque que le taux de minéralisation de l'azote est classé comme suit :

80 % Hcc > 100 % > Hcc 50 % Hcc pour le SRR

100 % Hcc > 80 % > Hcc 50 % Hcc pour le SDG

Il augmente avec l'humidité et présente un maximum à 100 % Hcc dans le SDG alors que dans le SRR, son maximum est donné à 80 % Hcc.

Les coefficients de corrélation R des régressions des courbes de l'évolution du taux de minéralisation donnent tous la valeur 1.

CONCLUSION

Les résultats présentés ont montré qu'il y a une variabilité de la minéralisation de l'azote du compost d'ordures ménagères à travers les deux sols. L'incubation aérobie a montré que l'incorporation au sol de compost broyé a provoqué une augmentation de la quantité d'azote minéralisée. La quantité libérée après 35 jours d'incubation a été de 45,97 mg ha⁻¹ (soit 119 kg ha⁻¹) pour le SDG et de 33,13 mg kg ha⁻¹ (soit 80 kg ha⁻¹) pour le SRR à l'humidité 100 % Hcc et pour le sol amendé avec 10 tonnes par hectare. La différence entre ces

deux quantités a été enregistrée dès la première semaine d'incubation.

Les quantités d'azote minéralisées étaient d'autant plus importantes que les doses de compost augmentaient. Ceci s'explique par le fait que les résidus organiques à faible rapport C/N sont facilement minéralisables par la microflore du sol et libèrent des quantités appréciables d'azote minéral.

Les taux apparents de minéralisation de l'azote du compost les plus élevés ont été enregistrés pour le SDG. Ces taux apparents restent sous la dépendance étroite de l'humidité. Ils sont supérieurs pour l'humidité 80 % de Hcc pour les deux sols.

La minéralisation de l'azote du compost est corollaire de la minéralisation de la matière organique. Elle varie considérablement à travers les types de sols. En effet, les sols étudiés présentent des taux de minéralisation différents. Ces différences sont attribuées au fonctionnement de la biomasse, lequel est influencé par les caractéristiques granulométriques et chimiques de chaque sol.

Le compost d'ordures ménagères constitue donc une source non négligeable en azote organique facilement minéralisable. Ceci a un impact positif quant à son utilisation dans les sols soumis à une intensification agricole et à des conditions de température favorisant la biodégradation de la matière organique, d'où une perte potentielle du capital organique du sol.

Figure 7 - Evolution du taux de minéralisation avec l'humidité dans le SRR

Figure 7 - Evolution of mineralization rate with moisture content in the SRR

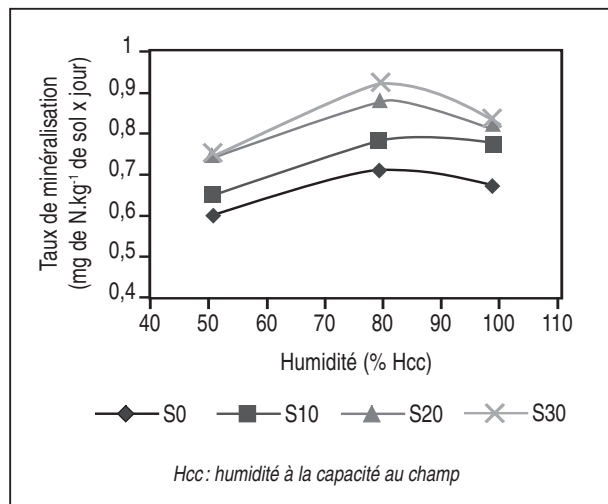
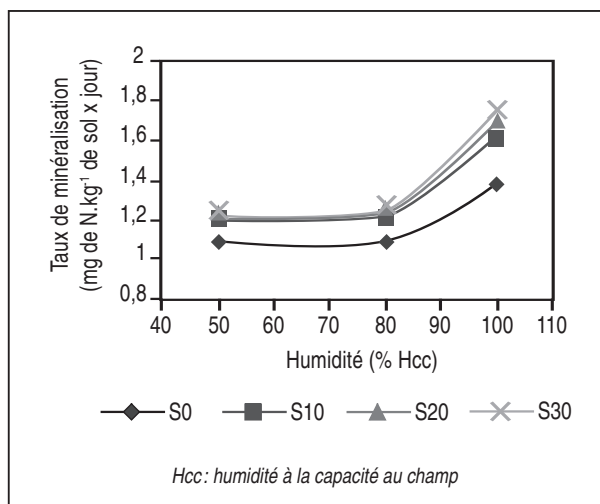


Figure 8 - Evolution du taux de minéralisation avec l'humidité dans le SDG

Figure 8 - Evolution of mineralization rate with moisture content in the SDG



BIBLIOGRAPHIE

- Bottner P., 1985 - Reponse of microbial biomass to alternante moist and dry conditions in a soil incubated with 14C and 14N labelled plant material. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 17 (3). pp: 299-337.
- Chaussod R., Nialardot.B. et Catroux G., 1986 - Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Sci. du sol* (2). pp: 213-226.
- Jenkinson D.S., 1966 - Studies on the decomposition of plant material in soil. partial sterilization of soil and the biomass. *J. soil Sci.* 17 (2). pp: 280-300.
- Keeney D.R. et Nelson D.W., 1982 - Nitrogen inorganics forms. In « Methods of Soil Analysis ». Part 2. Madison, Wisconsin: Am. Soc. Agron. pp: 643-709.
- Laudelout H., Lambert R. et Pham M.L., 1978 - Variations saisonnières de la population microbienne du sol. *Rev. Ecol. Biol. Sol* (15). pp: 147-158.
- Mary B et Remy J.C., 1979 - Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de la matière organique humifiée. *Ann. Agron.* 30 (6). pp: 513-527
- Mustin M., 1987 - Le compost: Gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc, Paris. 954 p.
- Persson J., 1981 - Influence of mineral and organic fertilizers on the humus balance and humus formation. C. R. Colloque « Humus Azote ». 7-10 juillet. Reims. pp: 82-87.
- Power J.F., 1990 - Fertility management and nutrient cycling. In *Advances in soil science.* Vol. 13. pp: 69-85
- REEM (Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc), 1999 - Projet SIDE. Secrétariat d'Etat à l'Environnement.
- Rutherford P.M et Juma N.G., 1992 - Influence of soil texture on protozoa-induced mineralization of bacterial carbon and nitrogen. *Can. j. soil. Sci.* 72(3). pp: 183-200
- Smith J.L. et Elliot L.F., 1990. - Tillage and residue management effects on soil organic matter dynamics in semi arid regions. In *Advances in soil science.* Vol. 13. pp: 69-85
- Sommerfeldt T.G., Chang C. et Entz T., 1988 - Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen, and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52. pp: 1668-1672.
- Soudi B., 1982 - Evaluation de l'azote potentiellement minéralisable. Influence de l'humidité et de la température. Tentative de prédiction. Mémoire de 3ème cycle I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc.
- Soudi B., 1988 - Etude de la dynamique de l'azote dans les sols marocains: caractéristiques et pouvoir minéralisateur. Thèse de doctorat Es-Sciences Agronomiques. I.A.V Hassan II. Rabat, Maroc.
- Soudi B., Chiang C.N. et Zeraoui M., 1990 - Variations saisonnières de l'azote minéral et effet combiné de la température et de l'humidité du sol sur la minéralisation. *Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc)* Vol 10 (1). pp: 29-38.
- Soudi B., Chiang C.N., Stitou M., Hachouma S.A. et Sbaï A., 1992 - Evaluation de la valeur fertilisante azotée des fumiers de ferme et des composts industriels. *Actes Inst. Agron. vét. (Maroc)* Vol 12 (3). pp: 5-15.
- Soudi B., Jemali B. et Lhadi E.K., 1996 - Contrôle des paramètres de compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de Rabat-Salé. In *Actes Inst. Agro. Vet. (Maroc)* Vol 16 (2). pp: 43-50.
- Soudi B., 2001 - Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost. Cas des petites et moyennes communes au Maroc. Ed. Actes Editions, Maroc. 104 p.
- Soudi B., Chiang C.N., Berdai H. et Naaman F., 2002 - Statut du cycle de l'azote et de la matière organique en zones semi-arides irriguées et d'agriculture pluviale. Séminaire "Equilibre Agriculture/ Environnement: enjeux, outils et perspectives du conseil agricole". 6-7 mai, Meknes, Maroc. pp: 8-17.
- Stanford G. et Smith S.J., 1972 - Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36. pp: 465-472.
- Vong P.C., 1987 - Contribution à l'étude cinétique des différents fertilisants minéraux et organiques. Thèse de Docteur Es-Sciences de L'INPL. Nancy, France. 217 p.

