L'ammoniac NH3, une clé pour comprendre l'efficacité des supergranules d'urée en sols de rizières

Rémi Gaudin

▶ **To cite this version:**

Rémi Gaudin. L'ammoniac NH3, une clé pour comprendre l'efficacité des supergranules d'urée en sols de rizières. Agronomie Tropicale, 1988, 43 (1), pp.30-36. hal-02725776

HAL Id: hal-02725776
https://hal.inrae.fr/hal-02725776

Submitted on 2 Jun 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.

L'ammoniac NH_3, une clé pour comprendre l'efficacité des supergranules d'urée en riziculture irriguée

R. GAUDIN (1)

RÉSUMÉ — Une petite bougie en céramique poreuse, placée au contact d'un supergranule d'urée de 2 g et utilisée comme préleveur, a permis de montrer que, quatre jours après le placement de l'engrais azoté, il reste dans la solution du sol seulement 180 mg · l^{-1} d'azote uréique contre 4 000 mg · l^{-1} d'azote ammoniacal. Cette hydrolyse très rapide se traduit par une augmentation du pH, qui atteint presque la valeur du tampon NH_4^+/NH_3 (9,25). L'analyse de l'évolution de la concentration en ammoniaque met en évidence la contribution de deux phénomènes, la diffusion et le prélèvement racinaire, qui se succèdent à cause d'une toxicité de l'ammoniac au-dessus d'un seuil critique correspondant à une concentration en solution d'environ 6 mg · l^{-1}. L'absorption de l'azote de l'engrais est ainsi régulée par l'ammoniac NH_3 pour des raisons tenant à la fois de la géométrie (apport ponctuel dans la couche réduite du sol, symétrie sphérique), de la nature chimique de l'engrais (urée) et de la physiologie du riz irrigué (niveau de toxicité de NH_3). L'absorption d'ammoniac NH_3 précède celle de l'ammonium NH_4^+.

Mots clés : Oryza sp., riz irrigué, supergranule d'urée, toxicité ammoniacale, ammoniaque, diffusion, bougie poreuse.

Le placement d'un supergranule d'urée en profondeur (10 cm) entre quatre touffes de riz irrigué évite en grande partie les processus de perte de l'azote (entraînement superficiel, volatilisation ammoniacale, nitrification-dénitrification) et permet ainsi d'obtenir de bons rendements en paddy dans de nombreuses situations (SAVANT *et al.*, 1983 ; D'ONOFRIO *et al.*, 1985).

La géométrie du placement joue un rôle important, dans la mesure où de l'urée strictement localisée dans un « plan » à 10 cm de profondeur est moins bien utilisée que l'urée en supergranules (CAO *et al.*, 1984), qui correspond à un apport quasi ponctuel. Un effet spécifique au supergranule, à relier à une éventuelle toxicité de l'ammonium, semble donc en cause (SAVANT et DE DATTA, 1980 ; GAUDIN *et al.*, 1987).

(1) Université de Madagascar, laboratoire des radioisotopes, service de radioagronomie, BP 3383, Antananarivo, Madagascar.

Ce travail a été effectué dans le cadre du projet « Bilan hydrique et minéral d'un bas-fond sur les hautes terres de Madagascar » de l'action thématique programmée « Influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux des sols », cofinancée par le CIRAD, l'ORSTOM, l'INRA et le CNRS.

Les résultats présentés ici renseignent sur les mécanismes responsables de la réponse du riz irrigué aux supergranules d'urée.

Matériel et méthodes

L'essai

L'essai est situé dans la plaine alluviale jouxtant le bas-fond d'Ambohitrakoho, à quelque 30 km au nord de Tananarive, sur les Hauts-Plateaux de Madagascar, plaine et bas-fond se distinguant par la présence ou l'absence d'un drain central permanent (RAUNET, 1985). Le sol est formé d'alluvions récentes, qui recouvrent un limon tourbeux ou un anmoor. La densité apparente du sol sec est voisine de 1,0 et sa porosité de 0,60 (mesures en saison sèche).

Le dispositif comporte seulement deux traitements : un témoin « paysan » (sans engrais) et un traitement fertilisé (58, 90, 45) avec apport de l'azote sous forme de supergranules d'urée à raison d'une unité de 2 g placée à 10 cm de profondeur entre quatre touffes de riz au moment du repiquage. Le phosphore (Hyper-Reno) et la potasse (chorure) ont été épandus à la mise en boue. La variété utilisée est la « 1632 », de type *japonica*. L'essai comporte quatre répétitions.

Les prélèvements

Sur chacune des répétitions du traitement fertilisé, nous avons disposé une bougie en céramique poreuse au contact d'un supergranule d'urée. Les deux éléments ont été placés en même temps :

– la bougie est à fond plat de 12 mm de diamètre ; sa longueur active est de 15 mm ; elle est en position horizontale ; le tube de nylon préleveur (dont l'extrémité taillée en biseau permet le prélèvement de la totalité de la solution contenue dans la bougie) est rattaché sur la diguette à un support en bois ;

– le supergranule d'urée pèse 2 g ± 0,01 g et a un diamètre de 14 mm.

Le protocole de prélèvement comporte le tirage d'un premier volume de quelques millilitres, qui est éliminé (solution provenant du corps de la bougie), puis d'un second volume de 5 à 10 ml, récupéré dans un flacon à antibiotique. Le colmatage a rendu de plus en plus longue

l'obtention de ce second volume, qui sert aux diffférents dosages.

Les dosages

A une date donnée, l'azote uréique et l'azote ammoniacal ont été dosés sur chacune des solutions prélevées ; le pH, l'azote nitrique et le potassium l'ont été sur un échantillon moyen.

Les ions NO_3^- ont été analysés à l'électrode spécifique (électrode Orion, modèle 93-07 associée à une électrode de référence 90-02). L'urée et l'ammoniaque ont été dosées colorimétriquement, respectivement par la diacétylmonoxime associée à la thiosemicarbazide et par la réaction du bleu d'indophénol. Le potassium a été analysé par spectrométrie de flamme.

Résultats

Les résultats sont présentés dans les figures 1 (azote uréique), 2 (azote ammoniacal et pH) et 3 (potassium) et précisés par le tableau I. La courbe portée dans les fi-

Tableau I Concentration en urée, ammoniaque, nitrate, potassium, et pH de la solution du sol à proximité du point d'apport du supergranule d'urée.

Date	Temps (j)	Répétitions	N-CO $(NH_2)_2$ ($mg \cdot l^{-1}$)	N-NH_3 + NH_4^+ ($mg \cdot l^{-1}$)	pH	K^+ ($mg \cdot l^{-1}$)	N-NO_3^- ($mg \cdot l^{-1}$)
15-12-1986	4	a	144	3 393	8,98	28,2	12,7
		b	176	5 173			
		c	166	4 279			
		d	241	3 352			
22-12-1986	11	a	45,0	1 172	8,35	20,7	3,5
		b	64,0	1 736			
		c	63,1	1 512			
		d	57,1	1 369			
31-12-1986	20	a	19,0	433	8,16	13,1	2,4
		b	35,2	815			
		c	30,8	675			
		d	24,8	586			
12-01-1987	32	a	10,4	228	v.i.	10,8	3,0
		b	20,0	423			
		c	v.i.	477			
		d	16,0	358			
26-01-1987	46	a		109	7,85	7,4	3,0
		b		231			
		c		151			
		d		162			
09-02-1987	60	a	4,4*	4,9	6,89	0,,8	1,7
		b		21,9			
		c		23,0			
		d		11,1			
23-02-1987	74	a		3,7	6,50	0,6	1,5
		b		1,3			
		c		1,5			
		d		1,5			
06-03-1987	85	a		0,2	6,38	–	2,2
		b		0,6			
		c		0,1			
		d		0,1			
19-03-1987	98	a		0,3	6,53	0,4	2,0
		b		b.c.			
		c		0,5			
		d		0,7			

**: Mesure sur un échantillon moyen.* *v.i. : volume insuffisant.* *b.c. : bougie colmatée.*

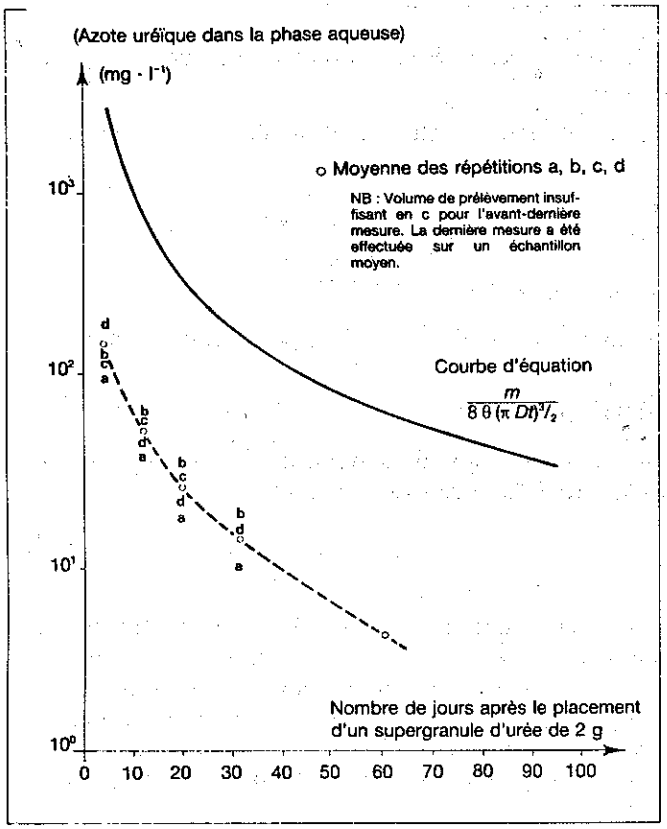

Figure 1 : Évolution de la concentration en azote uréique au voisinage du point d'apport des supergranules.

gures 1 et 2 entre dans le cadre d'une représentation théorique du processus de diffusion de l'ammoniaque qui sera développée dans la discussion.

Nous avons observé, en début de cycle, une coloration jaune safran des solutions, ainsi qu'une forte odeur d'ammoniac à la première mesure de pH.

Le nombre moyen de talles a été de 7,1 par touffe dans le traitement témoin et de 11,4 par touffe dans le

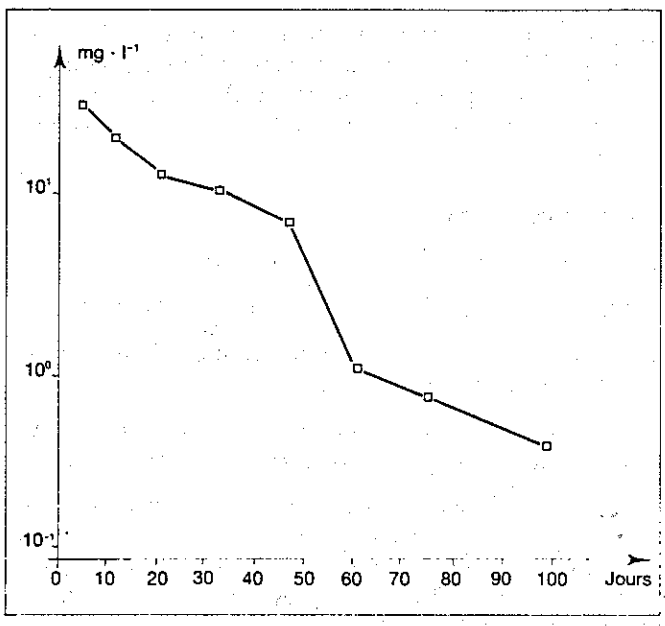

Figure 3 : Evolution de la concentration en potassium.

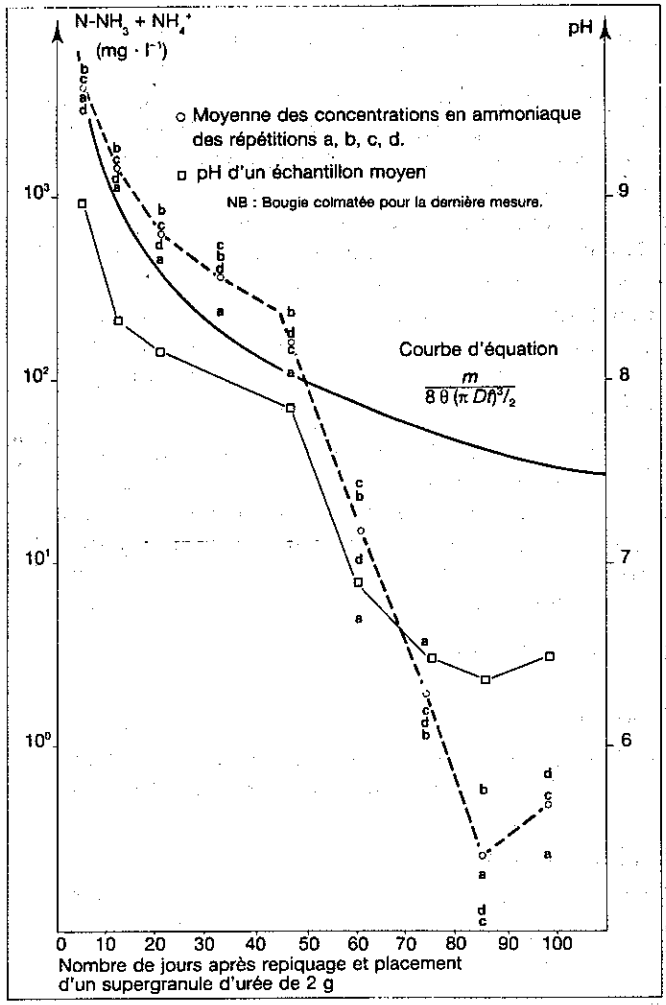

Figure 2 : Évolution de la concentration en ammoniaque et du pH de la phase aqueuse au voisinage du point d'apport des supergranules.

traitement fertilisé. Le rendement en paddy du témoin est estimé à 2,5 t · ha^{-1} et celui du traitement fertilisé à 4 t · ha^{-1}.

Discussion

Couleur

La couleur jaune safran des solutions est vraisemblablement liée à la solubilisation de composés carbonés suivant l'attaque de la matière organique par la base NH_3. Un tel phénomène a déjà été signalé par MONREAL *et al.* (1986) après un apport localisé d'urée.

Urée

L'hydrolyse de l'urée est très rapide puisque, au bout de 4 jours, le rapport urée/ammoniaque est de 0,044. Toutefois, ce rapport varie peu dans les 40 jours qui suivent. Ce phénomène ne peut s'expliquer simplement par une inhibition de l'uréase par l'urée ou l'ammoniaque (KISTIAKOWSKY et SHAW, 1953).

Différentes indications bibliographiques (RACHHPAL-SINGH et NYE, 1984) et diverses données expérimentales (GAUDIN, 1987) nous ont amené à faire l'hypothèse que l'urée à haute concentration serait bloquée en solution par des molécules organiques et ainsi en partie soustraite à l'hydrolyse mais non au processus de diffusion qui affecte l'ensemble de l'azote provenant du supergranule. Ceci expliquerait l'allure identique de la courbe d'évolution de la concentration en urée et de celle théorique de l'ammoniaque (cf. infra). L'on peut d'ailleurs se demander si ces molécules organiques ne seraient pas celles libérées lors de l'attaque de la matière organique par la base NH_3.

Une autre interprétation, non exclusive de la précédente, serait que l'on dose aussi une partie de ces molécules organiques. Leur origine étant liée à l'ammoniac, donc circonscrite au voisinage du point d'apport du supergranule, il serait logique qu'elles diffusent aussi avec l'ensemble de l'azote.

Ammoniaque et pH

Diffusion

Les différents processus physiques intervenant dans la dispersion de l'ammoniaque provenant du supergranule sont les suivants :

- la diffusion dans la solution du sol ;
- l'échange entre la solution du sol et la matrice solide ;
- la convection (déplacement de la phase liquide de la rizière) ;
- la rétrogradation d'ions ammonium dans les argiles.

Pour des rizières à forte teneur en kaolinite (55 % environ dans notre essai), les deux premiers facteurs ont une influence prépondérante, et nous avons développé avec succès un modèle qui permet de rendre compte de leur influence respective (GAUDIN, 1987). La version présentée ci-après est axée sur le processus de diffusion ; elle permet de rendre compte de l'allure générale de la courbe d'évolution de la concentration en ammoniaque.

Les hypothèses de base sont les suivantes :

- la rizière a la même densité et la même porosité dans ses premiers décimètres ;
- le placement du supergranule ne modifie pas ces propriétés ;
- le supergranule est une source instantanée et ponctuelle d'ammoniaque ;
- l'ammoniaque est stable.

Dans ces conditions, le phénomène de diffusion de l'ammoniaque après le placement du supergranule d'urée est de symétrie sphérique et est décrit par l'équation aux dérivées partielles :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D}{r}\frac{\partial^2 (rc)}{\partial r^2} \qquad (1)$$

avec :

c, la concentration en ammoniaque ;
r, la distance au point d'apport du supergranule d'urée ;
t, le temps ;
D, le coefficient de diffusion de l'ammoniaque, supposé constant.

La résolution de cette équation aboutit à l'expression suivante (CRANK, 1975) :

$$c(r, t) = \frac{m}{8 (\pi Dt)^{3/2}} \exp(-r^2/4Dt) \qquad (2)$$

avec m, masse d'azote de la source.

Pour un supergranule de 2 g, ce paramètre vaut :

$$\frac{m(N)}{m[CO(NH_2)_2]} \times 2\,g = \frac{28}{60} \times 2 \times 10^6\,\mu g = 933\,333\,\mu g$$

Au point d'apport du supergranule, l'expression précédente revêt la forme particulière :

$$c(o, t) = \frac{m}{8 (\pi Dt)^{3/2}} \qquad (3)$$

Dans les équations (2) et (3), la concentration en ammoniaque est celle du sol humide et est donnée en $\mu g \cdot cm^{-3}$ si r est exprimé en cm, t en jours et D en $cm^2 \cdot j^{-1}$. Pour avoir la concentration en ammoniaque dans la solution du sol, il faut donc diviser ces expressions par la porosité θ. Ainsi, au point d'apport, l'on obtient :

$$c(o, t) = \frac{m}{8\theta (\pi Dt)^{3/2}} \qquad (4)$$

avec c en $\mu g \cdot ml^{-1}$ de solution.

Nous considérerons que la bougie et située au point d'apport. La constante de diffusion est alors obtenue par un ajustement au temps $t = 4$ j sur la valeur moyenne de la somme urée + ammoniaque. L'on obtient ainsi $D = 1{,}02\ cm^2 \cdot j^{-1}$. Ceci permet de tracer la courbe théorique d'évolution de la concentration en ammoniaque au point d'apport du supergranule, et ainsi de vérifier que la courbe expérimentale présente la même allure générale durant les 45 premiers jours (figure 2).

Le processus de diffusion joue donc un rôle déterminant dans l'évolution de la concentration en ammoniaque. Il s'accompagne du processus d'échange responsable de l'écart quantitatif entre les deux courbes (GAUDIN, 1987).

Relation avec le pH

La réaction d'hydrolyse est la suivante :

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow NH_4^+ + NH_3 + HCO_3^- \qquad (5)$$

Elle provoque donc une alcalinisation locale très marquée comme le montre la figure 2.

Le pH est égal à 8,98 au temps 4 jours, soit proche du maximum théorique du tampon NH_4^+/NH_3 (pH = 9,25).

Du 4e au 46e jour, le pH diminue et sa courbe d'évolution présente un décalage à peu près constant avec la courbe d'évolution de la concentration en ammoniaque. Le processus de diffusion de l'ammoniaque est donc étroitement associé à la neutralisation progressive de la base NH_3 par l'acidité naturelle du sol.

Prélèvement racinaire

Du 46e jour après l'apport au 85e jour environ, la concentration en ammoniaque chute de 164 mg · l^{-1} à moins de 0,5 mg · l^{-1}. Dans la mesure où cette baisse n'a pas été observée dans des expériences sur sol nu menées au champ (GAUDIN *et al.*, 1987) ou au laboratoire (GAUDIN, 1987) et où l'on n'a pas noté à cette époque de brusque mouvement d'eau dans la rizière, cette disparition de l'ammoniaque de la solution du sol ne peut avoir pour causes premières une réorganisation brutale ou un transfert avec l'ensemble de la phase liquide.

Le pH tombe de 7,85 à moins de 6,5 en 30 jours environ, et sa chute est synchrone de celle de la concentration en ammoniaque. L'interprétation la plus simple de ce phénomène, confortée par les travaux de MARSCHNER et RÖMHELD (1983) et de RÖMHELD (1986) sur « l'effet physiologiquement acide » de l'alimentation ammoniacale des céréales sur leur rhizosphère, est qu'intervient alors dans la zone de mesure un prélèvement racinaire de l'azote. S'il y a réorganisation de l'ammoniaque, elle a lieu dans la rhizosphère et est associée au prélèvement.

La zone de mesure est ici représentative de quelques cm^3 autour du point d'apport du supergranule d'urée. Le prélèvement racinaire de l'azote y devient effectif 46 jours après le placement de l'engrais ; il succède à un prélèvement périphérique, qui progresse sans épuiser le sol. Ce fait très important se déduit de la comparaison des tracés des courbes d'isoconcentration en ammoniaque obtenus par SAVANT et DE DATTA (1980) 28 jours après le placement d'un supergranule de 2 g. Sur sol cultivé, les courbes périphériques sont plus proches du point d'apport que sur sol nu, alors que le maximum reste identique. Il y a prélèvement d'azote puisque la quantité totale d'ammoniaque (intégrale volumique de la concentration) diminue, mais si ce prélèvement avait lieu à la périphérie son effet serait centrifuge (diffusion accélérée) et non centripète. Intervenant à rebours, il ne peut s'interpréter que par un déplacement de la zone de prélèvement racinaire qui a pour origine le mécanisme suivant : le riz absorbe l'ammoniac NH_3 de préférence à l'ammonium NH_4^+ ; ses racines progressent de la périphérie vers le centre de la zone de diffusion de l'ammoniaque provenan du supergranule, mais à la limite de la toxicité de l'ammoniac NH_3 (GAUDIN, 1987).

Si l'examen de la figure de distribution de l'ammoniaque à 28 jours permet d'arriver qualitativement à ce résultat, le suivi de la concentration en ammoniaque et du pH au point d'apport en fonction du temps permet la détermination quantitative du seuil critique au-dessus duquel l'ammoniac NH_3 est toxique. Ce seuil correspond à la rupture de pente des deux courbes dans la figure 2, qui a lieu au temps 46 jours. Les données suivantes : 164 mg · l^{-1} en ammoniaque ; pH = 7,85 ; pK_a (ammoniaque à 25 °C) = 9,25 ; activités = concentrations, fournissent une concentration critique en ammoniac NH_3 de 6 mg · l^{-1} environ (ou 0,45 mM).

Le mécanisme avancé mérite d'être précisé sous ses deux angles : celui de la toxicité de NH_3 et celui de l'absorption différenciée de NH_3. La toxicité de NH_3 a déjà été mise en évidence pour d'autres plantes que le riz, mais à un niveau environ deux fois plus faible, que ce soit par BENNETT et ADAMS (1970) pour le coton et le sorgho, par CREAMER et FOX (1980) pour le maïs. Elle est due au fait que l'ammoniac gazeux NH_3 (à la différence de l'ion ammonium NH_4^+) traverse quasi librement la paroi des cellules jusqu'à l'équilibre de concentration entre la solution externe et le cytoplasme interne de la cellule. Ce mécanisme concerne aussi bien le monde animal que le monde végétal (WARREN, 1962) et conduit à une redistribution de l'ammoniaque décrite par la relation suivante entre les concentrations intra- et extracellulaires (c_i, c_e) et les pH intra- et extracellulaires (pH_i, pH_e) :

$$\frac{C_i}{C_e} = \frac{1 + 10^{(pK_a - pH_i)}}{1 + 10^{(pK_a - pH_e)}} \qquad (6)$$

Dans notre problème, la concentration critique en NH_3 est 6 mg · l^{-1} ; c_e = 164 mg · l^{-1} ; pH_e = 7,85.

Si l'on prend pH_i = 7, l'on déduit :

$$c_i = 7{,}1\ c_e \simeq 1\ 100 \text{ mg} \cdot l^{-1},$$

soit encore approximativement deux fois le niveau de toxicité en $NH_3 + NH_4^+$ mis en évidence par COLLIVER et WELCH (1970) chez le maïs. Ainsi, dans le cas du riz irrigué, après le placement du supergranule d'urée, l'absorption d'azote concerne d'abord l'ammoniac NH_3, dans une gamme de pH allant de 7,85 à 7 environ. Pour se placer dans cet intervalle extrêmement favorable, le riz « déplace » en quelque sorte ses racines. La présence du supergranule induit donc un enracinement différencié observé par SAVANT et DE DATTA (1980), mais ceci ne concerne qu'une zone de quelques centimètres autour du point d'apport et est assez fugace (du 20e jour environ au 46e jour). Pendant encore 10 jours, si l'on considère la courbe de pH de la figure 2 (pH ≥ 7), le riz absorbe passivement l'ammoniac au voisinage immédiat (1 cm) du point d'apport. Un mécanisme actif de prélèvement de l'ammonium succède à cette phase : ce mécanisme fait intervenir l'échange de NH_4^+ avec H_3O^+ ou un autre cation et consomme donc plus d'énergie. Ce prélèvement d'ammonium touche toute la zone de diffusion de l'azote et dure environ 30 jours (du 56e au 86e jour). Ceci pourrait expliquer que la courbe d'évolution du pH soit parallèle à la courbe d'évolution de la concentration en ammoniaque seulement dans sa partie 7,85 à 6,8. Des mesures plus rapprochées dans le temps auraient permis de préciser ce point, mais n'étaient guère réalisables avec notre méthode d'étude, qui repose sur une extraction de la solution du sol. La méthode la plus appropriée serait un suivi de l'ammoniaque et du pH (JI KUO-LIANG et WANG JING-HUA, 1978) ou, à la limite, du seul pH (HÄUSSLING *et al.*, 1984), avec de micro-électrodes.

Un essai mené durant la campagne 1987-1988 avec des supergranules de 2 g et 4 g d'urée indique une rupture de pente au même niveau de la concentration en ammoniaque mais respectivement 46 jours et 60 jours après le

repiquage et la mise en place des supergranules. Ceci confirme le rôle clé joué par l'ammoniac NH_3 dans le prélèvement de l'azote de l'engrais ; l'effet du supergranule est lié à une moindre « consommation énergétique » par unité d'azote prélevée (NH_3 vis-à-vis de NH_4^+).

Nitrate

La concentration en nitrate est la plus élevée quatre jours après l'apport (13 mg · l^{-1}), puis diminue irrégulièrement jusqu'à moins de 2,5 mg · l^{-1} (tableau I). Ce résultat concorde avec des observations antérieures (SAVANT et DE DATTA, 1982 ; GAUDIN *et al.*, 1985).

Potassium

La courbe d'évolution de la concentration en potassium (figure 3) de la solution du sol présente des similitudes d'abord avec la courbe de l'ammonium puis avec celle du pH.

En effet, pendant le premier mois, le potassium diffuse du premier décimètre (apporté à la mise en boue, il se dilue dans le sol au cours du repiquage) vers les couches sous-jacentes. Le préleveur, se trouvant à l'interface de la « source » et du milieu où elle va diffuser, enregistre une diminution de la concentration (pour une source plane en milieu semi-infini, la concentration au point d'apport a pour expression $m/(\pi Dt)^{1/2}$).

L'absorption racinaire du potassium est synchrone de celle de l'ammoniaque du 46e au 60e jour, puis subit un fléchissement. Ce dernier est peut-être à relier au fait qu'alors l'absorption de NH_4^+ fait suite à celle de NH_3. La courbe de pH, résultante des deux, traduit ce contrecoup.

Le moindre épuisement de la solution du sol en potassium est sans doute responsable du rendement très moyen observé sur l'essai, qui se situe en dessous des rendements obtenus à cette dose d'azote par SAVANT *et al.* (1983) ou D'ONOFRIO *et al.* (1985). Une fertilisation potassique plus abondante pourrait remédier à cet état de fait.

Conclusion

Pour un sol donné, le placement de supergranules d'urée à 10 cm de profondeur assure une dispersion presque minimale de l'azote. Il réunit, de façon approchée, les meilleures conditions géométriques : apport ponctuel ; placement dans la couche anaérobie ; symétrie sphérique de la diffusion.

Le facteur clé est toutefois l'hydrolyse très rapide de l'urée, qui joue à deux niveaux :

– l'ammoniaque, à la différence de l'urée, s'échange entre la solution et la matrice solide du sol ; son transfert est donc ralenti ;

– l'hydrolyse entraîne une alcalinisation différenciée du sol en relation avec la concentration en ammoniaque.

La concentration en NH_3, par une neutralisation progressive par l'acidité naturelle du sol, évolue plus vite que celle de l'ammoniaque. L'ammoniac NH_3 à très faible concentration est alors absorbé passivement par le riz (les racines progressent de la périphérie de la zone de diffusion vers son centre), puis, NH_3 une fois épuisé, l'ammonium NH_4^+ est activement prélevé, dans toute la zone de diffusion.

Reçu le 6 mai 1987.
Accepté le 5 mai 1988.

Remerciements. L'auteur remercie vivement MM. Michel et Samuel RANDRIANARISON pour l'aide apportée dans les prélèvements de solution du sol.

Références bibliographiques

BENNETT A.C., ADAMS F., 1970. Concentration of NH_3 (aq) required for incipient NH_3 toxicity to seedlings. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34 : 259-263.

CAO Z.H., DE DATTA S.K., FILLERY I.R.P., 1984. Nitrogen 15 balance and residual effects of urea-N in wetland rice fields as affected by deep placement techniques. Soil Sci. Soc. Am. J., 48 : 203-208.

COLLIVER G.W., WELCH L.F., 1970. Toxicity of preplant anhydrous ammonia to germination and early growth of corn. I. Field Studies. II. Laboratory Studies. Agron. J., 62 : 341-348.

CRANK J., 1975. The mathematics of diffusion. Oxford, Clarendon Press, 414 p.

CREAMER F.L., FOX R.H., 1980. The toxicity of banded urea or diammonium phosphate to corn as influenced by soil temperature, moisture and pH. Soil Sci. Soc. Am., J., 44 : 296-300.

D'ONOFRIO G., DUPUY J., GAUDIN R., RAVOHITRARIVO P., 1985. Effets comparés de l' application de perlurée et de supergranules d'urée sur riz inondé à Madagascar. Antananarivo, ministère de la Production agricole et de la Réforme agraire, ministère de l'Enseignement supérieur, ministère de la Recherche scientifique et de la Technologie pour le Développement, 26 p.

GAUDIN R., DUPUY J., RANAIVO J., 1985. Les bougies poreuses, un outil pour suivre NH_4^+ et NO_3^- en solution dans les sols de rizières. II. Étude expérimentale. L'Agron. Trop., 40 (1) : 33-39.

GAUDIN R., DUPUY J., BOURNAT P., 1987. Suivi du contenu en azote de la solution du sol d'une rizière après placement d'urée. L'Agron. Trop., 42 (1) : 13-19.

GAUDIN R., 1987. L'effet supergranule d'urée (SGU) en sols de rizières : un problème de diffusion avec échange d'ions. Essai de modélisation. Thèse de doctorat, sciences agronomiques, Institut polytechnique de Lorraine, Nancy-Vandœuvre, 147 p.

HÄUSSLING M., LEISEN E., MARSCHNER H., RÖMHELD V., 1984. An improved method for non-destructive measurements of the pH at the root-soil interface (rhizosphere). J. Plant Physiol., 117 : 371-375.

JI KUO-LIANG, WANG JING-HUA, 1978. Application of microelectrodes for the study of release of granulated ammonium bicarbonate in paddy soils. Acta Pedol. Sin., 15 (2): 182-186.

KISTIAKOWSKY G.B., SHAW W.H.R., 1953. On the mechanism of the inhibition of urease. J. Amer. Chem., 75 : 866-871.

MARSCHNER H., RÖMHELD V., 1983. *In vivo* measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface : effect of plant species and nitrogen source. Z. Pflanzenphysiol., 111 : 241-251.

MONREAL C., MC GILL W.B., NYBORG M., 1986. Spatial heterogeneity of substrates : effects on hydrolysis, immobilization and nitrification of urea-N. Can. J. Soil Sci., 66 : 499-511.

RACHHPAL-SINGH, NYE P.H., 1984. The effect of soil pH and high urea concentrations on urease activity in soil. J. Soil Sci., 35 : 519-527.

RAUNET M., 1985. Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar : géormorphologie, géochimie, pédologie, hydrologie. Z. Geomorphol., 52 : 25-62.

RÖMHELD V., 1986. Modifications du pH dans la rhizosphère de diverses plantes cultivées en fonction des nutriments à leur disposition. Rev. Potasse, Sect. 6, 12 : 1-16.

SAVANT N.K., DE DATTA S.K., 1980. Movement and distribution of ammonium-N following deep placement of urea in a wetland rice soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 44 : 559-565.

SAVANT N.K., DE DATTA S.K., 1982. Nitrogen transformations in wetland rice soils. Adv. Agron., 35 : 241-305.

SAVANT N.K., CRASWELL E.T., DIAMOND R.B., 1983. Use of urea supergranules for wetland rice : a review. Fertil. News, 28 (8) : 27-35.

WARREN K.S., 1962. Ammonia toxicity and pH. Nature, 195 : 47-49.

Summary

GAUDIN R. – **Ammonia, a key to understand the performance of urea supergranules in irrigated rice cultivation.**

A small porous ceramic cup was put in contact with an urea supergranule of 2 g and used to extract a soil solution. This method showed that there was only 180 mg · l^{-1} urea nitrogen against 4,000 mg · l^{-1} ammoniacal nitrogen four days after the nitrogenous fertilizer placement. This extremely rapid hydrolysis was reflected in a pH increase practically reaching the value of the NH_4^+/NH_3 buffer (9.25).

The analysis of the evolution of ammoniacal nitrogen hydroxide concentration pointed out the role played by two phenomena i.e. diffusion and uptake by root which followed one another because of an ammonia toxicity above a critical threshold corresponding to a solution concentration of about 6 mg · l^{-1}.

So the absorption of fertilizer nitrogen is regulated by ammonia NH_3, the reason lies in the geometry (punctual application in the reduced soil layer, spherical symmetry), the chemical nature of the fertilizer (urea) and physiology of irrigated rice (toxicity level of NH_3). Ammonia NH_3 is absorbed before ammonium NH_4^+.

Key words : *Oryza* sp., irrigated rice, urea supergranule, ammoniacal toxicity, ammoniacal nitrogen, diffusion, porous cup.

Resumen

GAUDIN R. – **El amoníaco NH_3, una clave para comprendar la eficacia de los supergránulos de urea en cultivo de arroz de regadío.**

Poniendo una pequeña bujía de cerámica porosa en contacto con un supergránulo de urea de 2 g y utilizándola como extractor se ha comprobado que 4 días después de aplicar el abono nitrogenado, sólo quedan en la solución del suelo 180 mg · l^{-1} N-uréico contra 4.000 mg · l^{-1} N-amoniacal. Esta hidrólisis muy rápida se manifiesta por un aumento del pH, que casi alcanza el valor del tapón NH_4^+/NH_3 (9,25).

El análisis de la evolución de la concentratión de amoníaco pone de manifiesto la contribución de dos fenómenos, la difusión y la extracción radicular, que se suceden a causa de una toxicidad del amoníaco superior a un umbral crítico, que equivale a una concentración de solución de 6 mg · l^{-1} aproximadamente.

El amoníaco NH_3 regula por consiguiente la absorción del nitrógeno del abono por razones relacionadas con la geometría (aplicación puntual en la capa reducida de suelo, simetría esférica), la esencia química del abono (urea) y la fisiología del arroz de regadío (grado de toxicidad de NH_3). La absorción de amoníaco NH_3 precede la del amonio NH_4^+.

Palabras-clave : *Oryza* sp., arroz de regadío, supergránulo de urea, toxicidad NH_3, amoníaco, difusión, bugía porosa.

qui expliquent l'intérêt des engrais verts essentiellement en tant qu'alternative à l'engrais azoté mais aussi dans la lutte contre l'érosion, etc.

• Effet des boues organiques sur les propriétés physiques des sols

L'auteur met l'accent sur l'amélioration par les boues organiques de la capacité de rétention en eau des sols et de la stabilité à l'eau des agrégats.

• Système efficace de gestion des ressources des régions semi-arides de l'Inde

Après avoir analysé les causes des faibles rendements enregistrés dans les régions semi-arides du sud de l'Inde, l'auteur établit une liste de dix paramètres à connaître pour assurer une gestion efficace des ressources.

Ces paramètres sont les suivants : profondeur du sol, profondeur de l'enracinement, pourcentage d'argile + limon, CEC (capacité d'échange cationique) et saturation en cations, densité apparente, température du sol selon l'humidité, conductivité hydraulique et profondeur de la nappe, capacité de rétention en eau, niveau de disponibilité des nutriments, données climatiques hebdomadaires, et enfin statut socio-économique de l'agriculteur.

Si l'ensemble des contributions présentées n'apportent pas de recettes agronomiques toutes faites, elles traduisent le souci des pédologues de mettre à la disposition des autres disciplines un savoir utilisable pour une meilleure gestion des ressources, en vue de maintenir et d'améliorer la productivité agricole.

F.N. Reyniers

ERRATA

L'Agronomie Tropicale, 1988, vol. 43, n° 1

Deux erreurs se sont glissées dans les formules (5) et (6) de l'article de R. GAUDIN « L'ammoniac NH_3, une clé pour comprendre l'efficacité des supergranules d'urée en riziculture irriguée ».

Il fallait lire :

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow NH_4^+ + NH_3 + HCO_3^- \qquad (5)$$

$$\frac{C_i}{C_e} = \frac{1 + 10^{(pK_a - pH_i)}}{1 + 10^{(pK_a - pH_e)}} \qquad (6)$$