



Évaluation de la volatilisation ammoniacale et de la transformation de l'azote uréique dans deux sols de la RD Congo

Evaluation of ammoniacal volatilization and urea nitrogen transformation in two soils of the DR Congo

Mataba Mpongate Jared* & Lumpungu Kabamba Christophe

Département de Gestion des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, RDC.

Article info

Résumé

Histoire:

Reçu le 04/11/2022

Accepté le 16/12/2022

Keywords: Urée, Sols du Congo (RDC), Minéralisation, Nitrification, Volatilisation.

L'objectif de cette étude est d'évaluer, par incubation au laboratoire, l'hydrolyse et la minéralisation de l'urée dans un Arénoferralsol et un Ferralsol et d'estimer la quantité de CO₂ libéré pendant 15 jours. Dans l'Arénoferralsol, la forte montée de pH constatée jusqu'au 7^{ème} jour d'incubation dénote une forte hydrolyse de l'urée inhibant l'activité de microorganismes et occasionne la faible minéralisation de l'azote. La forte montée du pH est en corrélation avec la massive volatilisation de NH₃ enregistrée à ce niveau. Au-delà du 7^{ème} jour d'incubation, s'amorçaient la diminution de NH₃ volatil, la reprise de l'activité microbienne et l'accroissement de la nitrification. Dans le Ferralsol, il a été enregistré, jusqu'au 7^{ème} jour, une faible montée de pH indiquant une faible libération de NH₃, une faible respiration microbienne et une faible transformation de l'azote uréique. Le pH, quoique monté à 5.55 est resté dans la zone de forte acidité. La chute du pH observée à partir du 11^{ème} jour d'incubation a faiblement stimulé la formation de NH₄⁺-N et le CO₂ demeurant toujours faible. Ainsi, la teneur en NO₃⁻-N a connu une certaine augmentation. D'où, la conclusion que la nitrification dans ce type de sol est très lente en raison de sa forte acidité. De nos résultats observés, la nitrification et la volatilisation semblent être plus actives dans l'Arénoferralsol qu'au Ferralsol. Car, l'État acide du Ferralsol et la qualité de la matière organique se conjuguent pour inhiber la nitrification en détruisant la vie microbienne, surtout ceux responsables de la nitrification.

*Auteur correspondant

jaredmataba@gmail.com

Article info

Abstract

Article history:

Received 04/11/2022

Accepted 16/12/2022

Keywords: Urea, Soils of Congo (DRC), Mineralization, Nitrification, Volatilization

The objective of this study is to evaluate, by incubation in the laboratory, the hydrolysis and mineralization of urea in an Arenoferralsol and a Ferralsol and to estimate the quantity of CO₂ released during 15 days. In Arenoferralsol, the sharp rise in pH observed until the 7th day of incubation indicates a strong hydrolysis of urea, inhibiting the activity of microorganisms and causing low nitrogen mineralization. The sharp rise in pH correlates with the massive volatilization of NH₃ recorded at this level. Beyond the 7th day of incubation, the decrease in volatile NH₃ began, the resumption of microbial activity and the increase in nitrification. In the Ferralsol, a slight rise in pH was recorded until the 7th day, indicating a weak release of NH₃, a weak microbial respiration and a weak transformation of urea nitrogen. The pH, although raised to 5.55, remained in the zone of high acidity. The drop in pH observed from the 11th day of incubation slightly stimulated the formation of NH₄⁺-N



Copyright©2022 JOASD

*Corresponding author

jaredmataba@gmail.com

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

and CO₂ still remaining low. Thus, the NO₃-N content experienced some increase. Hence, the conclusion that nitrification in this type of soil is very slow due to its high acidity. From our observed results, nitrification and volatilization seem to be more active in Arenoferralsol than in Ferralsol. Because, the acid state of Ferralsol and the quality of the organic matter combine to inhibit nitrification by destroying microbial life, especially those responsible for nitrification.

1. INTRODUCTION

Comme la majorité des sols tropicaux, ceux de la RD Congo sont aussi réputés peu fertiles à cause, notamment de leurs réactions, en générale fortement acide (≤ 5 en moyenne), pauvreté en matière organique et en éléments nutritifs due à la lixiviation accrue sous fortes pluies (Lele *et al.*, 2016 ; Pieter *et al.*, 2012). Généralement, les rendements sont faibles, cas du maïs, un des principaux cultures vivrières du pays, dont le rendement ne dépassent guère 1tonne ha⁻¹ à la première saison et baisse d'avantage à la deuxième saison (Chianu *et al.*, 2002).

Pour résoudre cette problématique de la fugacité de la fertilité de ces sols et accroître leur capacité de production, plusieurs pistes des solutions sont envisageables, dont l'utilisation des engrais chimiques. Ainsi, l'urée, comme engrais azoté, est la plus utilisé, en raison de sa concentration élevée en azote (46% N), sa production importante au niveau mondiale (64 Million Tonnes. an⁻¹), sa large disponibilité sur le marché (IFA, 2011), sa facilité d'utilisation par les paysans et son assimilation rapide par la plante (Mataba, 2010).

Nonobstant ces avantages, son application dans le sol se révèle, généralement, inefficace (Lumpungu, 1983 ; Kamion, 1998 ; Mataba, 2010 ; Lele *et al.*, 2016) et demande l'observation des certaines précautions à cause d'énormes pertes en azote qu'elle peut subir sous formes gazeuses et par lixiviation. Les conséquences liées à ces pertes ont des impacts à deux niveaux, (1) économique (une perte financière non négligeable pour l'exploitant agricole) et (2) environnemental direct (émission de gaz azotés contribuant à l'augmentation de l'effet de serre et à la pollution des aquifères) ou indirect (coût énergétique de fabrication des engrais).

Ainsi, pour accroître les avantages et réduire les pertes de l'urée dans le sol, la maîtrise et l'évaluation régulière de la cinétique de la minéralisation de l'engrais sont indispensables. Dans la pratique, pour mieux cerner cette cinétique de la transformation de l'azote uréique et prédire le potentiel et la vitesse de son

l'hydrolyse, plusieurs méthodes de laboratoires sont disponibles avec des sols perturbés et tamisés (Standford et Smith, 1972 ; Lumpungu, 1978 ; Nordmeyer et Richter 1985 ; Kachaka, 1993 ; AFNOR, 2009), mais aussi avec des sols non perturbés, in situ (Raison *et al.*, 1987 ; Kamion, 1998).

Dans le cadre de ce travail, nous avons opté pour la méthode de Lumpungu (1978) permettant d'étudier, concomitamment, l'hydrolyse par la quantification de l'azote ammoniacal volatilisé, le taux de nitrification ainsi que l'activité microbiologique par l'évaluation de CO₂ libéré.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Sols étudiés

Deux sols de la République Démocratique du Congo ont fait l'objet de notre investigation :

- le premier est un Arénoferralsol de Kinshasa, prélevé sur le site « Mont-Amba », dans deux positions topographiques différentes, le plateau (04°19'39,4" de latitude Sud et 015°18'17,7" de longitude Est, à 419 m d'altitude) et le bas-fond (04°25'02,0" de latitude Sud et 015°18'15,6" de longitude Est, à 380 m d'altitude) à deux profondeurs, (1) 0-25 cm et (2) 25-50cm,
- Le deuxième est un Ferralsol de Lubumbashi, prélevé au site de l'Institut Supérieur de Commerce (I.S.C./Lubumbashi) aux mêmes profondeurs (0-25 et 25-50cm), au point 035°55,2'18,7" de longitude Est et 11°61'55,3" de latitude Sud, à une altitude de 1259 m.

Les principales caractéristiques physico-chimiques de ces sols sont présentées dans le tableau 1.

Partant de leurs caractéristiques physico-chimiques, l'Arénoferralsol de Kinshasa dévoile qu'il s'agit d'un sable fin de texture à prédominance sableuse (plus de 80% de sable) confirmant l'homogénéité du matériau parental constatée par Pain (1984) et Mulaji (2011). Les teneurs en argile et en limon, dont les moyennes respectives sont de 11.2 et 6.05%, sont minimales

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols.

Analyses	<i>Arénoferralsol de Kinshasa</i>				<i>Ferralsol de Lubumbashi</i>		
	Sol Plateau		Sol bas fond		Profondeur 1	Profondeur 2	
Texture	Sable		Sable limoneux		Argilo Sableux	Argilo Sableux	
Profondeur	0 – 25	25 – 50	0 – 25	25 – 50	0 – 25	25 – 50	
Granulométrie	% Sable	90.75	87.50	85.75	67	15	10
	% Limon	3.70	2	2.50	16	9	6
	% Argile	5.55	10.5	11.75	17	84	76
pH	5.52	5.80	4.91	5.31	4.47	4.56	
N total (%)	0.040	0.038	0.051	0.062	0.034	0.022	
C total (%)	0.60	0.56	0.68	0.88	0.79	0.72	
C/N	15	14.7	13,3	14,2	23.2	32.72	

dans les horizons superficiels comme l'a autant observé Koy (2009) dans le même sol au Plateau des Batéké (Mbankana, Mampu et Kinzono). Par contre, le Ferralsol de Lubumbashi est de texture argilo-sableuse comme l'a aussi observé Mpundu (2010). Il est ocre-jaune dans la profondeur de 0 – 25 cm et rouge dans celle de 25 – 50 cm.

En ce qui concerne le pH, l'Arénoferralsol se classe dans la gamme des sols modérément acide pour celui de plateau et fortement acides pour celui du bas-fond, alors que le Ferralsol de Lubumbashi se situe dans la gamme des sols très fortement acides, selon la gamme de l'Université de Lausanne décrit par Schofield and Taylor (1955).

Concernant la teneur en azote total, les deux sols en sont pauvres. On note une moyenne de 0.078% et 0.056%, respectivement pour l'Arénoferralsol de Kinshasa du plateau et du bas fond et 0.0030% pour le Ferralsol de Lubumbashi. Le Carbone totale est tout aussi très bas, en moyenne 0.58% et 0.78%, respectivement pour l'Arénoferralsol de plateau et de bas-fond et 0.7, de moyenne, pour le Ferralsol de Lubumbashi. Ces faibles teneurs en carbone total et en azote total se répercutent négativement sur la structure des sols et génèrent de nombreuses déficiences de production et de résistance aux facteurs de dégradation (Ben Hassine *et al.*, 2008 cités par Lélé 2016).

Au sujet du rapport C/N, l'Arénoferralsol de Kinshasa présente un rapport C/N faible (inférieure à 15) dénotant qu'il s'agit d'un sol

ayant une quantité importante d'azote (ou une quantité de carbone faible) par conséquence, il possède une bonne et rapide vitesse de minéralisation de la matière organique et restitue au sol une bonne quantité de l'azote minéral tandis que le Ferralsol de Lubumbashi dévoile un rapport C/N élevé (supérieure à 25), qui indique qu'il s'agit d'un sol très pauvre en azote (ou pourvus de carbone) et que, par conséquence, la minéralisation de la matière organique se fait lentement. Il restitue au sol une faible quantité d'azote minéral.

Les deux sols ont été séchés à l'air libre pendant deux semaines, broyés, puis passés au crible de mailles de 2mm de diamètre, selon la procédure de Klose et Tabatabai (2000).

2.1.2. Engrais utilisé

L'urée, dont la teneur nominale en N est de 46%, a été utilisée pour apprécier son comportement dans nos sols étudiés. Pour chaque 30 g de sol, 1ml d'urée (soit 0.46mg d'azote uréique) a été appliquée sur la surface au début de l'incubation, mis à part le témoin.

2.2. Méthodes

Nous avons utilisé la méthode d'incubation en conditions de laboratoire mise au point par Lumpungu (1978).

2.2.1. Incubation

La méthode d'incubation au laboratoire employée consistait à soustraire les échantillons du sol des influences des paramètres non contrôlables, en particulier, les apports par les pluies, la lixiviation et le prélèvement par la végétation. En pratique, deux pots en polyéthylène, contenant, l'un 30 g de sol et l'autre 15 ml de soude (NaOH) 0,1N (piège à CO₂) ont été placés dans des bocaux hermétiques de 1,5 litre contenant 30ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) 0,1N (piège à l'NH₃). Il faut souligner que les 2 pots ont été placés au même niveau dans les bocaux contrairement au dispositif de Lumpungu (1978) où le pot contenant le sol était suspendu dans le bocal.

2.2.2. Méthodes d'analyse

Pour déceler la quantité de CO₂ dégagée permettant d'apprécier l'activité biologique, la soude caustique (piège à CO₂) était titrée par une solution de H₂SO₄ 0,05 N en présence de phénophtaléine comme indicateur. Au préalable, nous avons titré une solution de soude caustique non contaminée, avec une solution d'acide sulfurique. Les quantités en volume d'acide sulfurique, obtenues par neutralisation de la base, étaient rapportées en quantité de gaz carbonique en faisant la différence avec la quantité d'acide nécessaire pour neutraliser la solution de soude caustique non contaminée. Les quantités en millilitres de gaz carbonique étaient converties en grammes en les multipliant par le facteur de conversion 8.8.

Pour chiffrer la quantité de NH₃ volatil dégagée du sol lors de l'incubation, nous avons titré 30 ml de H₂SO₄ 0,1N (piège à NH₃) par NaOH 0,05 N en utilisant toujours la phénophtaléine comme indicateur. Il s'agit d'un titrage en retour de l'excès d'acide sulfurique 0.1N avec la soude caustique 0.05N. Pour ce, nous avons d'abord titré une solution non contaminée d'acide sulfurique par une solution de soude caustique. Le nombre de moles d'acide n'ayant pas réagi avec l'ammoniac équivaut à celui de soude caustique nécessaire pour neutraliser l'acide. En faisant la différence entre le nombre de moles d'acide au départ et celui titré avec la soude, on trouve le nombre de moles d'acide ayant réagi avec l'ammoniac. Le nombre de moles neutralisés d'ammoniac est égal au double de celui de l'acide.

Les dosages de NH₄⁺-N et NO₃⁻-N ont été faits, au spectrophotomètre à la longueur d'onde respective de 655 nm pour NH₄⁺-N (méthode Salicylate) et de 430nm pour NO₃⁻-N (Méthode de réduction de cadmium), après leur extraction au chlorure de potassium 2M. Le rapport de

l'extractant/sol était de 10/1. Avant dosage, le mélange extractant-sol était agité pendant une heure (2500 tours/min), laissé décanter afin d'avoir un surnageant limpide, puis filtré sur papier Whatman n° 42. La forme nitrite (NO₂⁻) étant instable, passager et transitoire vers le nitrate, n'a pas été déterminée.

2.2.3. Dispositif expérimentale

Le dispositif expérimental mis en place au laboratoire était destiné à suivre l'évolution de l'hydrolyse et de la transformation de l'urée en 15 jours, dans les espaces de temps de 0, 3, 7, 11 et 15 jours. Par manque des bocaux, faute des répétitions, pour chaque traitement, 4 analyses ont été faites en vue de trouver une moyenne qui reflète mieux les résultats présentés. Les différents traitements, au nombre de cinq (5) sont : T₀ : Sol n'ayant pas reçu l'urée, Témoin ; T₁ : trois jours après incubation ; T₂ : sept jours après incubation ; T₃ : onze jours après incubation, et T₄ : quinze jours après incubation. Ils concernaient les échantillons des sols ci-après : Ar P1 : Arénoferralsol de plateau, profondeur 0-25 cm ; Ar P2 : Arénoferralsol de plateau, profondeur 25-50 cm ; Ar B1 : Arénoferralsol de bas-fond, profondeur 0-25 cm ; Ar B2 : Arénoferralsol de bas-fond, profondeur 25-50 cm ; Fer 1 : Ferralsol de Lubumbashi, profondeur 0-25 cm ; Fer 2 ; Ferralsol de Lubumbashi, profondeur 25-50 cm.

3. RRSULTATS

3.1. Evolution du pH

Les résultats sur l'évolution du pH dans les 6 sols sont présentés dans la Fig. 1 ci-dessous.

Avec un pH fortement acide (moyenne du sol de plateau et de bas-fond) au T₀, les échantillons de l'Arénoferralsol de Kinshasa ont vu leur pH augmenter soudainement, d'environ 4 unités, après 3 jours d'incubation (T₁) dépassant même le seuil de 8.8 considéré comme valeur maximale par Grasser (1964) et Overrein et Moe (1967), ce qui dénote une forte hydrolyse de l'urée dans ces sols. Cependant, du 7^{ème} au 11^{ème} jour d'incubation, il a été enregistré une chute du pH indiquant un certain ralentissement et la fin, si non l'absence de l'hydrolyse de l'urée. La dite fin a été confirmée au 15^{ème} jour d'incubation (T₄) lorsque le sol a enregistré une chute du pH jusqu'à une moyenne de 7,3. Par contre, ayant un pH très fortement acide au temps T₀, les échantillons du Ferralsols de Lubumbashi n'ont enregistrés qu'une faible augmentation de pH (moins d'une unité) du 3^{ème} au 11^{ème} jour d'incubation demeurant toujours dans la zone qualifiée de forte acidité qui dénote une

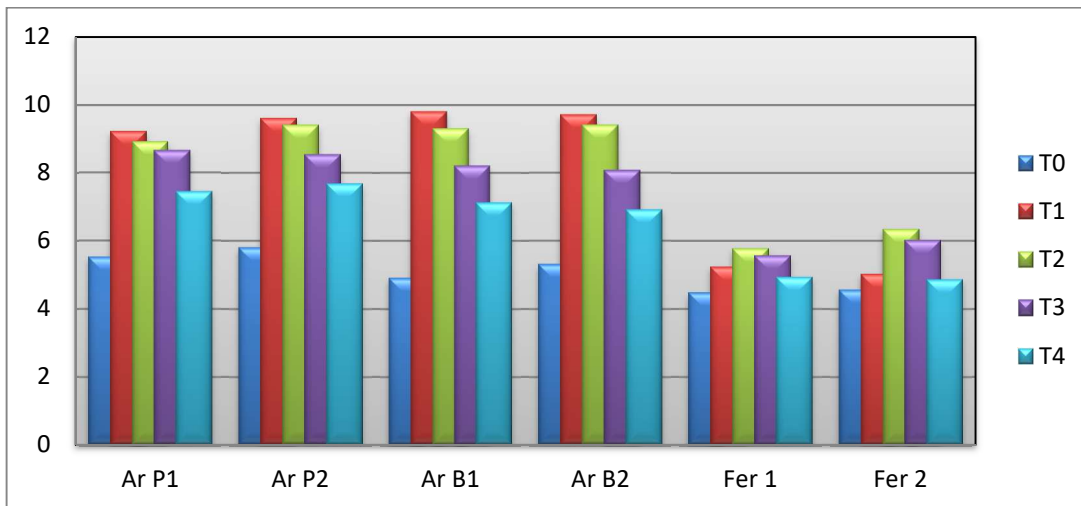


Fig. 1. Evolution du pH dans les 6 sols analysés au fil du temps.

faible hydrolyse de l'urée due à la neutralisation de NH_3 produit. Au 15^{ème} jour d'incubation, nous avons enregistré, dans les deux échantillons du Ferralsols de Lubumbashi, une baisse du pH indiquant un certain ralentissement et la fin, si non l'absence du processus d'hydrolyse de l'urée.

3.2. Evaluation de la respiration du sol

Les résultats de la respiration du sol, qui représentent l'activité microbologique par la libération du CO_2 , sont présentés dans la Fig. 2.

Dans les échantillons de l'Arenoferralsol de Kinshasa, la respiration du sol présente une même évolution. En effet, du 3^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation, il a été constaté un effondrement progressif de la quantité du CO_2 dégagé du sol jusqu'à un niveau très faible ($\leq 2.5\text{mg}$ de $\text{CO}_2/30\text{gr}$ du sol), ce qui dénote l'inhibition progressive de

l'activité microbienne suite à l'hydrolyse de l'urée produisant l'ammoniac. La chute progressive du pH enregistrée dans ces sols allant du T_1 à T_4 corrobore cette hypothèse.

Par contre, dans les échantillons du Ferralsol de Lubumbashi, nous avons enregistré une montée progressive des quantités de CO_2 dégagé du sol du 3^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation qui dévoile une montée ou réactivation des microorganismes au fil du temps mais peut-être quelque peu ralentie, certes à cause de l'acidité du sol qui est confirmé par le niveau du pH enregistré dans ces sols de T_1 à T_4 , passé de 4,51 à 4,89 en moyenne.

3.3. Evolution de l'azote ammoniacal (NH_3) volatilisé

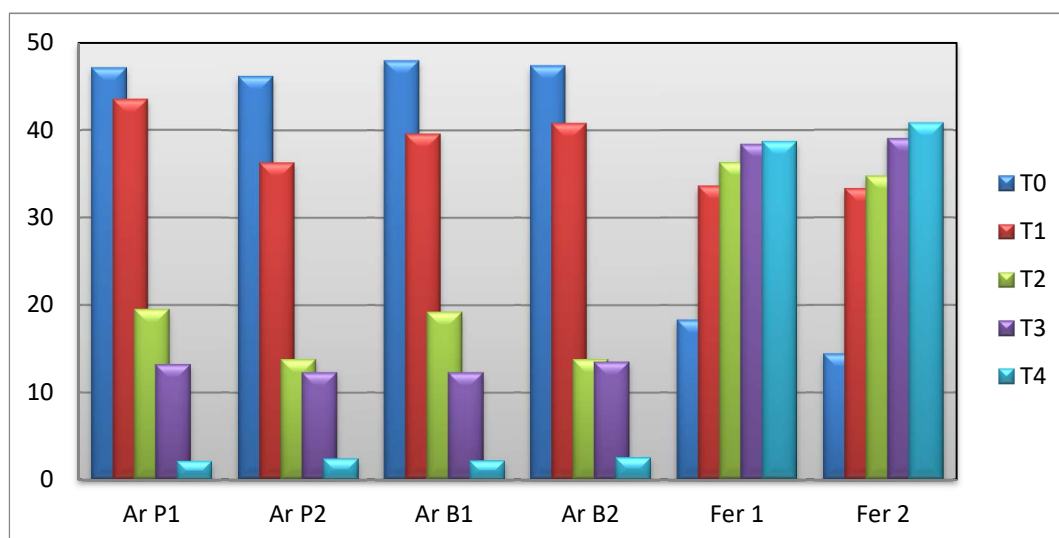


Fig. 2. Evaluation de la libération du CO_2 dans les sols étudiés

Les résultats de l'évolution de la volatilisation ammoniacale trouvée dans nos sols étudiés sont présentés dans la Fig. 3.

Concernant la volatilisation ammoniacale, les échantillons de l'Arénoferralsol de Kinshasa ont enregistré une forte volatilisation de NH_3 (plus de 40%) du temps zéro (T_0) à 3 jours (T_1), conséquence de l'augmentation du pH provoquant le déplacement de l'équilibre entre NH_4^+ et NH_3 en faveur de NH_3 . La volatilisation de NH_3 enregistrée de T_2 à T_4 , quoique faible dénote le ralentissement ou la fin du processus de l'hydrolyse de l'urée. Cette hypothèse est prouvée par la baisse du pH.

Par contre, dans les échantillons du Ferralsol, nous avons enregistré une très faible augmentation de la quantité d'ammoniac dégagé des sols du 3^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation, due certainement à la neutralisation de l'ammoniac et peut être aussi à la fixation des ions NH_4^+ sur l'argile, abondante dans ces sols.

3.4. Evolution de l'ammonium dans les sols

Les résultats de l'évolution de l'azote ammoniacal trouvés dans les sols étudiés sont présentés dans la Fig. 4.

Dans les échantillons de l'Arénoferralsol, il a été enregistré une réduction de la quantité de NH_4^+-N de T_0 à T_1 qui affirme la volatilisation de NH_3 issu de l'urée confirmé par la montée du pH enregistrée à ce niveau. Cependant, du 7^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation, les sols ont enregistré un accroissement progressif de la quantité de NH_4^+-N qui prouve un certain ralentissement ou diminution de l'hydrolyse de l'urée corroborée par l'accroissement de l'activité respiratoire microbienne observée à ce niveau.

Pour les échantillons du Ferralsol de Lubumbashi, un faible accroissement de la quantité de NH_4^+-Na a été enregistré de T_0 à T_1 qui confirme une certaine hydrolyse de l'urée bien que le pH était resté dans la zone acide. Du 7^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation, le sol a présenté une décroissance de la quantité d'ammonium par rapport à T_1 qui signale le déclenchement retardé, le faible hydrolyse si non son ralentissement ou la fin du processus.

3.5. Evolution de l'azote nitrique dans le sol au fil du temps

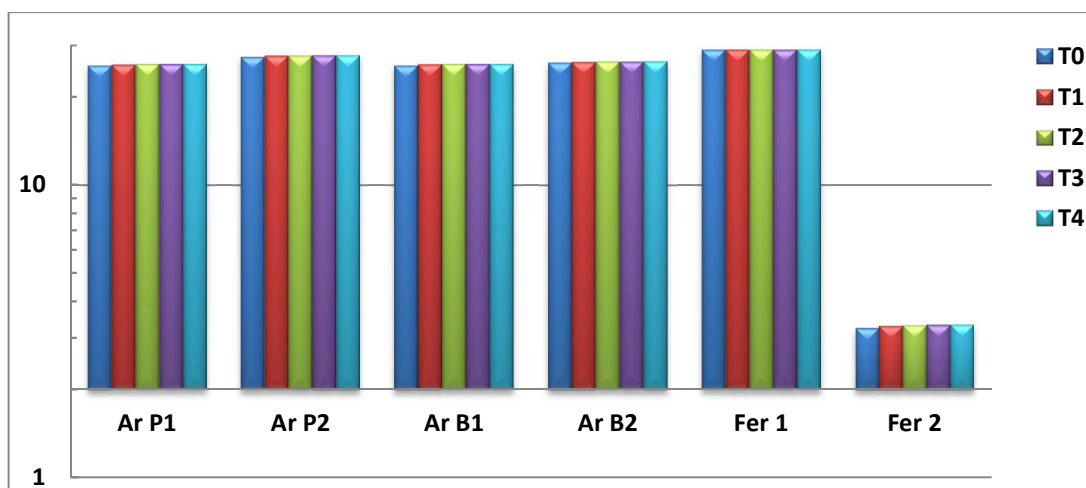


Fig. 3. Evolution de l'azote ammoniacal volatilisé (NH_3) dans nos sols au fil du temps.

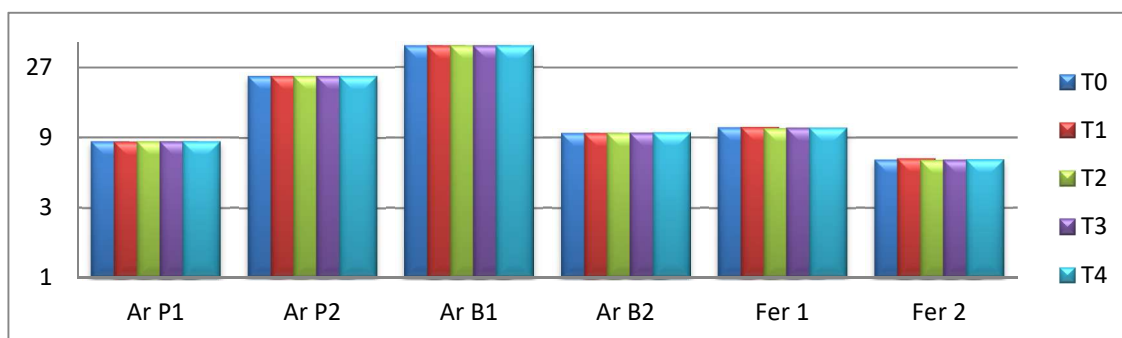


Fig. 4. Evolution de la transformation, au fil du temps, de l'azote ammoniacal.

Les résultats de l'évolution de l'azote nitrique trouvée dans nos sols étudiés sont présentés dans la Fig. 5.

Afin d'éviter l'erreur du type 1 (rejeter l'hypothèse vraie), il a été réalisé avant tout une comparaison multiple avec la technique MANOVA (Analyse

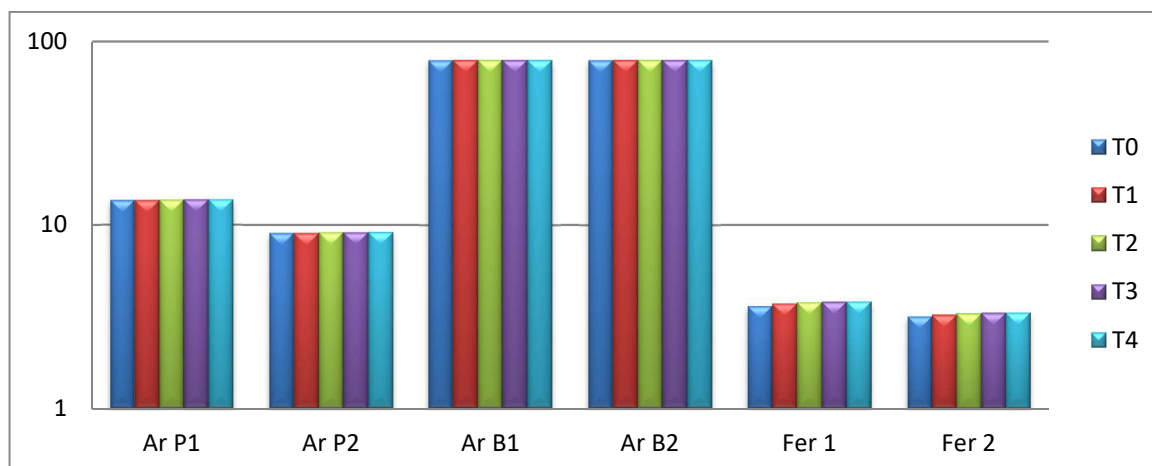


Fig. 5. Evolution de la formation de l'azote nitrique dans les différents sols au fil du temps.

Il est à constater qu'au 3^{ème} jour après incubation de l'urée (T₁), les échantillons de l'Arenoferralsol de Kinshasa ont enregistré une faible nitrification alors que nous avons enregistré, à cette période, une forte hydrolyse de l'urée. La faible nitrification corrobore la forte volatilisation de NH₃ et la faible ammonification observée à ce niveau. A 7 jours d'incubation, les sols de Kinshasa ont enregistré une faible augmentation qui s'est fortement prononcées du 11^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation. Cette augmentation confirme la fin du processus d'hydrolyse, la faible volatilisation de NH₃ et la chute du pH des sols observés.

Dans les échantillons du Ferralsol de Lubumbashi, du 3^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation, la quantité de NO₃-N, dans le sol, n'a fait que légèrement augmenter. Ces très faibles accroissements seraient dus à la forte acidité de ce sol et, peut-être aussi, à son taux élevé en argile.

3.6. Analyse comparative entre l'Arénoferralsol et le Ferralsol

Cette comparaison entre les deux sols est réalisée à travers les paramètres en études afin établir la relation entre les paramètres et le type de sol. De ce fait, l'hypothèse nulle (H₀) stipule que les paramètres sont pareils dans les deux sols. Elle est donc notée mathématiquement de la manière suivante :

H₀: μ₁ (pH, CO₂, NH₃, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N) = μ₂ (pH, CO₂, NH₃, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N)

μ₁ : Arenoferralsol de Kinshasa

μ₂ : Ferralsol de Lubumbashi

Multi-varié de la variance) afin de justifier en effet le recours au test ANOVA de Student dans l'intérieure des groupes, au seuil de 5%. 4.1. Analyse comparative des sols à la profondeur de 0-25 cm

Le Tableau 2, présente la comparaison des paramètres chimiques des sols à la profondeur de 0-25 cm.

Il ressort de ce tableau, qu'à l'exception de la quantité du CO₂ qui est statistiquement la même dans les deux sols (p>0,05), les autres paramètres sont statistiquement plus élevés dans l'Arenoferralsol de Kinshasa par rapport au Ferralsol de Lubumbashi (p<0.05).

3.7. Analyse comparative des sols à la profondeur de 25 -50 cm

La comparaison des sols à la profondeur de 25-50 cm (Tableau 3) dévoile une différence significativement (p<0.05) entre les sols. Il est possible de noter que les paramètres étudiés sont statistiquement plus élevés dans l'Arenoferralsol de Kinshasa par rapport au Ferralsol de Lubumbashi.

Le pH dans l'Arénoferralsol du plateau est statistiquement le même que celui observé au bas-fond mais tous deux statistiquement supérieurs à celui prélevé dans le Ferralsol de Lubumbashi.

Tableau 2. Comparaison des sols sous études à la profondeur de 0-25 cm

Paramètres	Site	Moyenne	Ecart-type	N	Sig
pH	Arenoferralsol	7.92	1.59	30	0.000*
	Ferralsol	5.19	0.47	15	
	Total	7.01	1.85	45	
CO ₂	Arenoferralsol	0.82	0.58	30	0.118
	Ferralsol	1.08	0.31	15	
	Total	0.90	0.52	45	
NH ₃	Arenoferralsol	1.09	0.15	30	0.044*
	Ferralsol	1.01	0.02	15	
	Total	1.06	0.13	45	
NH ₄ ⁺ -N	Arenoferralsol	0.76	0.49	30	0.001*
	Ferralsol	0.31	0.07	15	
	Total	0.61	0.46	45	
NO ₃ ⁻ -N	Arenoferralsol	1.60	1.10	30	0.000*
	Ferralsol	0.26	0.08	15	
	Total	1.15	1.10	45	

*La différence est significative ; N : taille des échantillons

Tableau 3. Comparaison des paramètres sous étude à la profondeur de 25-50cm

Paramètres	Site	Moyenne	Ecart-type	N	Sig
pH	Arenoferralsol	8.04	1.55	30	0.000*
	Ferralsol	5.16	0.52	15	
	Total	7.08	1.89	45	
CO ₂	Arenoferralsol	0.77	0.58	30	0.033*
	Ferralsol	1.11	0.28	15	
	Total	0.88	0.52	45	
NH ₃	Arenoferralsol	1.09	0.12	30	0.000*
	Ferralsol	0.14	0.02	15	
	Total	0.78	0.46	45	
NH ₄ ⁺ -N	Arenoferralsol	0.57	0.23	30	0.000*
	Ferralsol	0.22	0.06	15	
	Total	0.46	0.26	45	
NO ₃ ⁻ -N	Arenoferralsol	1.52	1.19	30	0.000*
	Ferralsol	0.19	0.05	15	
	Total	1.18	1.15	45	

*La différence est significative ; N : taille des échantillons

Donc, le pH du sol de Kinshasa est relativement plus élevé que celui du Ferralsol de Lubumbashi.

Le CO₂ de l'Arenoferralsol du plateau est statistiquement le même que celui du bas-fond, mais plus faible que celui du Ferralsol de Lubumbashi.

NH₃ volatil dans le sol du plateau est statistiquement le même que celui de bas-fond, mais supérieur à celui du sol de Lubumbashi.

La teneur en NH₄⁺-N varie au niveau du sol de Kinshasa avec une teneur relativement élevée au bas-fond (les deux profondeurs) par rapport au plateau (les deux profondeurs). Toutefois, le sol du plateau et du bas-fond contiennent une teneur en NH₄⁺-N relativement supérieur au Ferralsol de Lubumbashi.

La teneur en $\text{NO}_3\text{-N}$ est moins importante au plateau qu'au sol du bas-fond, mais dans les deux cas, elle est supérieure à celle de Lubumbashi.

4. DISCUSSIONS

Les résultats obtenus ont montré que l'Arenoferralsol a présenté une forte alcalinisation entre le 3^{ème} au le 7^{ème} jour d'incubation attribuée à l'hydrolyse de l'urée. De cette montée du pH, découle une forte volatilisation de l'ammoniac corroborée par une fiable activité respiratoire. Les teneurs en $\text{NH}_4\text{-N}$ et $\text{NO}_3\text{-N}$ enregistrées suggèrent la forte volatilisation à ce niveau. Du 11^{ème} au 15^{ème} jour d'incubation, le sol a enregistré une diminution du pH qui amorce la diminution de l'ammoniac volatil, une faible activité respiratoire et une forte quantité d' $\text{NH}_4\text{-N}$ et de $\text{NO}_3\text{-N}$ enregistrées. Le processus de nitrification, observé par l'évolution des quantités de $\text{NO}_3\text{-N}$, s'accroît avec le temps et est inversement proportionnelle à la volatilisation ammoniacale. Par contre, le **Ferralsol** de Lubumbashi a montré une faible alcalinisation entre du 3^{ème} au 7^{ème} jour d'incubation, qui traduit la très faible hydrolyse de l'urée et qui est affirmée par la faible volatilisation de l'ammoniac (NH_3) et par une faible teneur de $\text{NH}_4\text{-N}$ et de $\text{NO}_3\text{-N}$. Entre le 11^{ème} et le 15^{ème} jour d'incubation, nous avons observé une chute du pH du sol dans la zone acide, ce qui n'a rien changé sur les faibles teneurs en NH_3 volatils, $\text{NH}_4\text{-N}$ et à la faible respiration du sol. Néanmoins, nous avons observé une certaine augmentation de la teneur en $\text{NO}_3\text{-N}$.

En comparant l'Arenoferralsol de Kinshasa au Ferralsol de Lubumbashi, l'analyse a révélé que les paramètres observés diffèrent significativement. En effet, l'Arenoferralsol de Kinshasa présente un bon taux de nitrification beaucoup meilleure que le Ferralsol du Katanga.

La faible nitrification observée dans le Ferralsol de Lubumbashi est sans doute due à la forte acidité ainsi qu'à l'absence si non à la qualité de la matière organique de ce sol.

Par ce travail nous confirmons avec Paul et Clark (1989) qu'il existe une corrélation entre la production de nitrate et le pH. En effet, le taux de nitrification dans les sols cultivés diminue en dessous du pH 6 et devient négligeable en dessous de pH 4,5. Aux pH élevés, l'oxydation de l'ammonium en nitrite puis en nitrate est inhibée. Aussi, le rapport C/N influe sur la restitution, par les microorganismes, de l'azote minéral dans le sol.

5. CONCLUSION

L'évaluation, par la méthode d'incubation durant 15 jours, de la dynamique de minéralisation de l'urée dans deux sols de la R.D Congo et la quantification des émissions gazeuses de l'ammoniac volatil et de CO_2 dégagé dans ces sols ont été réalisés dans cette étude par, dosage de CO_2 , NH_3 , $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ et par mesure de pH.

En outre, du fait que l'activité enzymatique de l'uréase a tendance à varier avec le pH du sol, la réaction du sol doit être comprise entre 6,5 et 7,5 pour tirer profit, au maximum, de l'hydrolyse de l'urée.

La prise en compte de cette perte potentiellement, très variable, ne doit pas intervenir a priori dans le calcul prévisionnel de l'apport total mais doit faire l'objet d'une analyse de risque à chaque apport pour :

1. Eviter ou réduire la perte ammoniacale par des pratiques adaptées
2. Utiliser une grille d'évaluation du risque avant chaque apport d'azote, surtout uréique.

REFERENCES

- AFNOR (2009). Amendements organiques et supports de culture - Caractérisation de la matière organique par fractionnement biochimique et estimation de sa stabilité biologique. Norme XP U 44-162. Paris, France : Association Française de Normalisation, pp17. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/normes>
- Chianu, J.N., Akintola, J.O., & Kormawa, P.M. (2002). Profitability of cassava-maize production under different fallow systems and land-use intensities in the derived savanna of southwest Nigeria. *Exp. Agric.*, 38, 51-63p.
- Gasser, J.K.R. (1964). Urea as fertilizer, *Soils and Fertilizers*, 27: 175-180.
- IFA. (2011). *IFADATA (2010)*. Disponible sur <http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/search> (19/03/2019).
- Kachaka, S.K.(1993). Decomposition and N-Mineralization of prunings of various quality and age. Ph D. Thesis, K. U. Leuven, 117 p.
- Kamion, F. (1998). Évaluation de la perte de l'azote uréique dans le sol de Kinshasa. Travail de fin de cycle, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa-RDC., pp
- Kanyankogote, P., Van Ranst, E., Verdoody, A., & Baert, G. (2005). Effet de la lave trachybasaltique broyée sur les propriétés chimiques de sols de climat tropical humide. *Etude et Gestion des Sols*, 12(4): 301-311.
- Klose, S. & Tabatabai M.A. (2000). Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. *Biology and Fertility of Soils*, 31: 191-199.

- Koy, K.R. (2009). Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau de Batéké (R D Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques des industriels locaux. Thèse de doctorat, Sciences de la Terre, Université de Gand, Gent, p 323.
- Lele, N. (2016). Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols sableux et acides de Kinshasa (RDC) par l'usage du charbon des bois (biochar), de la biomasse végétale et des engrais minéraux. Thèse de doctorat, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, RDC. 243p.
- Lele, N., Kachaka, C. & Lejoly, J. (2016). Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *BASE*. 20(1): 57-67.
- Lumpungu, K. (1978). Die Ammoniakfreisetzung aus Harnstoff und die Harnstoff-N-wirking bei verschiedenen Behandlungen. Thèse de Doctorat, Université de Bonn, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de chimie agricole, République Fédérale d'Allemagne, Juin 1978. Pp ?
- Lumpungu, K. (1983). La perte en azote et la phytotoxicité de l'urée dans le sol. *Annales de Gembloux (Belgique)*, 89, 117 - 127.
- Mataba, M.J. (2010). Évaluation de la capacité de nitrification d'un sol de Kinshasa: Une contribution à l'étude de la dynamique de l'urée dans le sol. Mémoire de 2^{ème} cycle, Faculté des Sciences Agronomiques, université de Kinshasa, 39p.
- Mpundu, M.M. (2010). Contamination des sols en Éléments Traces Métalliques à Lubumbashi (Katanga/RD Congo). Évaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix de solutions de remédiation. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, 410p.
- Mulaji, K.C., (2011). Utilisation des composts de bio déchet ménagère pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la Province de Kinshasa (Rép. Dém. du Congo), Thèse de Doctorat, Gembloux, Belgique, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech., 172 p.
- Nordmeyer, H., & Richter, J. (1985). Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant and Soil* 83: 433-445.
- Overrien, L.N., & Moe, P.G. (1967). Factors affecting urea hydrolysis and ammoniac volatilization in soil, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 31: 57-61.
- Pain, M. (1984). *Kinshasa: la ville et la cité*. Etudes urbaines, ORSTOM, Paris.
- Paul, E.A., & Clark, F.E. (1989). *Soil microbiology and Biochemistry*. Academic Press, INC. 275p.
- Pieter, P., Bimponda, W., Lodi-Lama J.P., Lele, B., & Mulumba, R. (2012). Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production *Cassava production. Agronomy Journal: Volume 104, Issue I, 178-187.*
- Raison, R.J., Connell, M.J. & Khanna, P.K. (1987). Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ, *Soil Biol. Biochem.* 19(5): 521-530.
- Schofield, R.K. & Taylor, A.W. (1955). The measurement of soil pH. *Soil Sci Soc Am Proc* 19:164-167.
- Standford, G. & Smith S.J. (1972). *Nitrogen mineralization potentials' of soil*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 465-472.