

## Évaluation de la volatilisation ammoniacale et de la transformation de l'azote uréique dans un Arénoferralsol et un Ferralsol de la RD Congo

### [ Evaluation of ammoniacal volatilization and transformation of urea nitrogen in Arenoferralsol and Ferralsol from the DR Congo ]

*Jared MATABA MPONGATE and Christophe LUMPUNGU KABAMBA*

Département de Gestion des Ressources Naturelles, Université de Kinshasa, BP 117 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** By this study, we evaluate, by incubation in the laboratory, the hydrolysis and the kinetics of mineralization of the urea used in Arenoferralsol and Ferralsol, as well as to appreciate, at the same time, the activity of microorganisms by the quantity of CO<sub>2</sub> released over 15 days.

In Arenoferralsol, the sharp rise in pH observed during the first 7 days of incubation denotes a strong hydrolysis of urea inhibiting the activity of microorganisms with, as a consequence, a low mineralization of nitrogen. The sharp rise in pH correlates with the massive volatilization of NH<sub>3</sub> recorded during this time span. Beyond the 7th day, the decrease in volatile NH<sub>3</sub> began, the resumption of microbial activity and the gradual increase in nitrification.

On the other hand, in Ferralsol, it was recorded, in the same space of time, a weak rise in pH indicating a weak release of NH<sub>3</sub>, but, at the same time also a weak microbial respiration and a weak transformation of urea nitrogen. The pH, although raised to an average of 5.5, nevertheless remained strongly acidic. The drop in pH observed from the 11th day of incubation did not, however, stimulate the formation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and CO<sub>2</sub>, which still remained low. Thus, the NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content experienced some increase. Hence, the conclusion that nitrification in this type of soil is very slow due to its high acidity.

Taking into account the results observed in the two soils, nitrification as well as volatilization seem to be more active in Arenoferralsol compared to Ferralsol. Because, the acid state of Ferralsol as well as the quality of the organic matter combine to inhibit nitrification by destroying microbial life, especially those responsible for nitrification while progressive nitrification is noticeable in Arenoferralsol.

**KEYWORDS:** Urea, Mineralization, Nitrification, Volatilization, Soil Respiration, Soils of Congo (DRC).

**RESUME:** Par cette étude, nous avons évalués, par incubation au laboratoire, l'hydrolyse et la cinétique de minéralisation de l'urée utilisée dans un Arénoferralsol et Ferralsol, ainsi qu'apprécier, par la même occasion, l'activité de microorganismes par la quantité de CO<sub>2</sub> libéré pendant 15 jours.

Dans l'Arénoferralsol, sableux (85,5%) à pH moyen de 5,38 et 6-17% d'argile, la forte montée de pH constatée les 7 premiers jours d'incubation dénote une forte hydrolyse de l'urée inhibant l'activité microbienne avec comme conséquence une faible minéralisation de l'azote. La forte montée du pH est en corrélation avec la massive volatilisation de NH<sub>3</sub> dans ce sol sableux. Au-delà du 7<sup>ème</sup> jour, s'amorçaient la diminution de NH<sub>3</sub> volatil, la reprise de l'activité microbienne et l'accroissement progressive de la nitrification.

Par contre, dans le Ferralsol, à pH ± 4,5 et 76-84% d'argile, il a été enregistré, à 7 jour d'incubation, une faible montée de pH indiquant une faible libération de NH<sub>3</sub> mais, en même temps aussi une faible respiration microbienne et une faible transformation de l'azote uréique. Le pH, quoique monté à une moyenne de 5,5 est, néanmoins, resté fortement acides, susceptible de neutraliser l'ammoniac. La chute du pH observée à partir du 11<sup>ème</sup> jour d'incubation n'a pourtant pas stimulé la formation de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N et CO<sub>2</sub> demeurant toujours faible. Ainsi, la teneur en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N a connu une certaine augmentation.

Il découle de nos résultats que l'état acide du Ferralsol ainsi que la qualité de la matière organique se conjuguent pour inhiber la nitrification en détruisant la vie microbienne, surtout ceux responsables de la nitrification alors qu'une nitrification progressive est remarquée chez l'Arénoferralsol.

**MOTS-CLEFS:** Urée, Minéralisation, Nitrification, Volatilisation, Respiration du sol, Sols du Congo (RDC).

## 1 INTRODUCTION

Comme la majorité des sols tropicaux, ceux de la RD Congo sont aussi réputés peu fertiles à cause, notamment de leur réaction, en générale fortement acide ( $\leq 5$  en moyenne), pauvreté en matière organique et en éléments nutritifs due à la lixiviation accrue sous fortes pluies ([1]; [2]). Aussi, les rendements sont, généralement, faibles, à l'exemple de l'un des principales cultures vivrières du pays, le maïs, dont le rendement ne dépasse guère  $1\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  à la première saison [3] et baisse d'avantage à la deuxième saison.

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. Parmi ceux-ci, l'urée, comme engrais azoté, est la plus utilisée, en raison de sa concentration élevée en azote (46% N), sa production importante au niveau mondiale ( $64004\text{Gg}\cdot\text{an}^{-1}$ ), sa large disponibilité sur le marché [4], sa facilité d'utilisation par les paysans et son assimilation rapide par la plante [5].

Nonobstant ces avantages, son application dans le sol se révèle, généralement, inefficace ([6], [7], [5], [1]) 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 ([8], [9], [10], [11], [12]), mais aussi avec des sols non perturbés, in situ ([13], [7]).

Dans le cadre de ce travail, nous avons opté pour la méthode de [9] 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  $\text{CO}_2$  libéré.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 MATÉRIEL

#### 2.1.1 SOLS ÉTUDIÉS

Deux sols de la République Démocratique du Congo ont fait l'objet de notre investigation, dont un Arénoferralsol de Kinshasa, prélevé sur le site « Mont-Amba », dans deux positions topographiques différentes, le plateau ( $04^{\circ}19'39,4''$  de latitude Sud et  $015^{\circ}18'17,7''$  de longitude Est, à 419 m d'altitude) et le bas-fond ( $04^{\circ}25'02,0''$  de latitude Sud et  $015^{\circ}18'15,6''$  de longitude Est, à 380 m d'altitude) à deux profondeurs, (1) 0-25 cm et (2) 25-50 cm), et 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  $035^{\circ}55,2'18,7''$  de longitude Est et  $11^{\circ}61'55,3''$  de latitude Sud, à une altitude de 1259 m.

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

**Tableau 1.** *Caractéristiques physico-chimiques des sols*

Analyses	Arénoferralsol de Kinshasa		Ferralsol de Lubumbashi	
	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
Granulo métrie	% 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

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 [14] et [15]. Les teneurs en argile et en limon, dont les moyennes respectives sont de 11.2 et 6.05%, sont minimales dans les horizons superficiels comme l'a autant observé [16] 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 [17]. 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 moyennement 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.

Concernant la teneur en azote total, les deux sols en sont pauvres. On note une moyenne de 0.078% et 0.0565%, 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%, 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 [18].

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 matière organique bien décomposée tandis que le Ferralsol de Lubumbashi dévoile un rapport C/N élevé (supérieure à 25), qui indique qu'il s'agit d'un sol dont le processus de décomposition de la matière organique n'a pas encore atteint le point d'équilibre, certainement en raison de la très forte acidité, susceptible d'inhiber l'activité de microorganismes.

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 [19].

### 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'une solution d'urée (soit 0.46mg d'azote uréique) a été appliquée sur la surface du sol 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 [9].

### 2.2.1 INCUBATION

La méthode d'incubation, au laboratoire, employée permettait de 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 CO<sub>2</sub>) ont été placés dans des bocaux hermétiques de 1,5 litre contenant 30ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,1N (piège à l'NH<sub>3</sub>). Il faut souligner que les 2 pots ont été placés au même niveau dans les bocaux contrairement au dispositif de [9] où le pot contenant le sol était suspendu dans le bocal.

## 2.2.2 MÉTHODES D'ANALYSE

### 2.2.2.1 Co<sub>2</sub>

Pour déceler la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée permettant d'apprécier l'activité biologique, la soude caustique (piège à CO<sub>2</sub>) était titrée par une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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.

### 2.2.2.2 NH<sub>3</sub>

Pour chiffrer la quantité de NH<sub>3</sub> volatil dégagée du sol lors de l'incubation, nous avons titré 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N (piège à NH<sub>3</sub>) 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.

### 2.2.2.3 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ET NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

Les dosages de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ont été réalisés, au spectrophotomètre à la longueur d'onde respective de 655 nm pour NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (méthode Salicylate) et de 430nm pour NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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 (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) 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 bocal, faute des répétitions, pour chaque traitement, 4 analyses ont été faites en vue de trouver une moyenne qui reflète au mieux les résultats présentés. Les différents traitements, au nombre de cinq (5) sont

T<sub>0</sub>: Sol n'ayant pas reçu l'urée, Témoin;

T<sub>1</sub>: trois jours après incubation;

T<sub>2</sub>: sept jours après incubation;

T<sub>3</sub>: onze jours après incubation, et

T<sub>4</sub>: 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 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ici, nous présentons les résultats des analyses réalisées ainsi que leur discussion.

#### 3.1 EVOLUTION DU PH

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

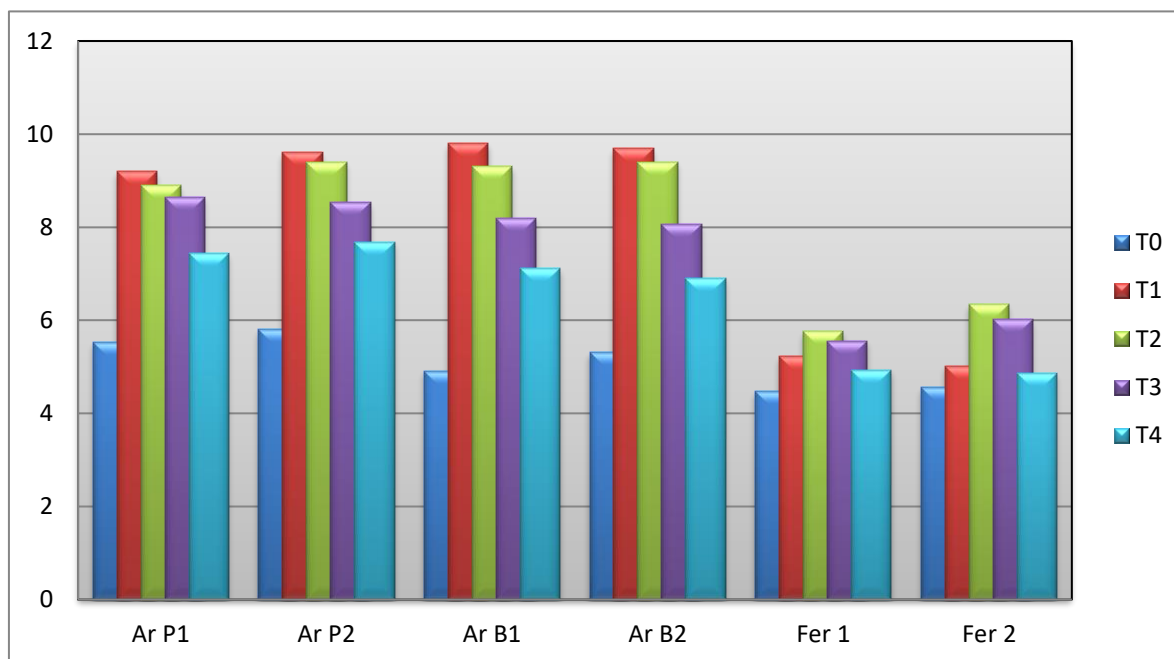
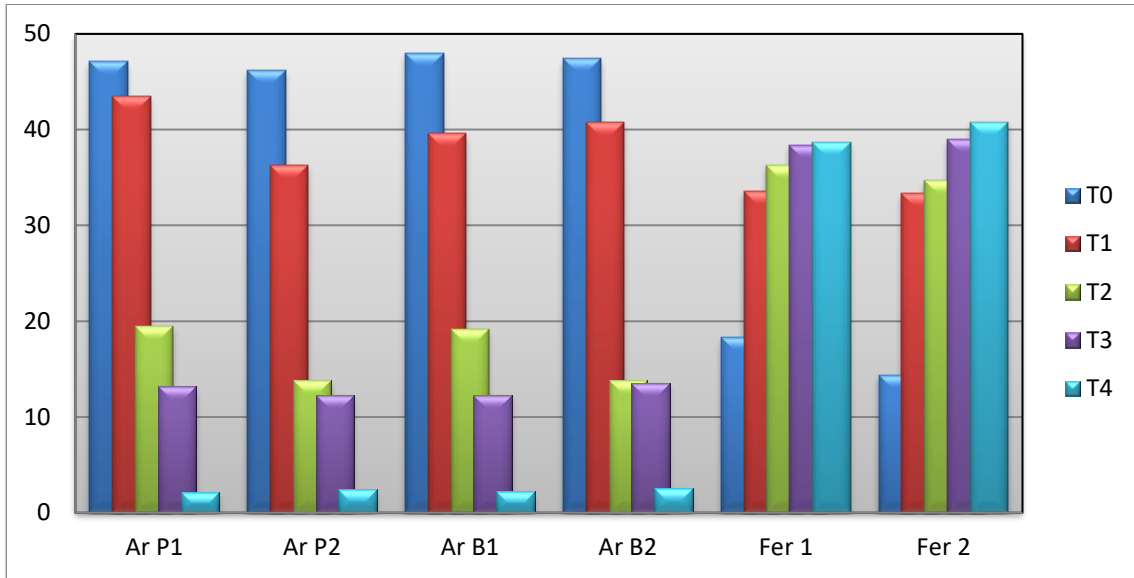


Fig. 1. Evolution du pH dans les 6 sols analysés au fil du temps

Avec un pH fortement acide (moyenne du sol de plateau et de bas-fond) au  $T_0$ , les échantillons de l'Arenoferralsol de Kinshasa ont vu leur pH augmenter soudainement, d'environ 4 unités, après 3 jours d'incubation ( $T_1$ ) dépassant même le seuil de 8.8 considéré comme valeur maximale par [20] et [21], ce qui dénote une forte hydrolyse de l'urée dans ces sols. Cependant, du 7<sup>ème</sup> au 11<sup>ème</sup> jour d'incubation, il a été enregistré une chute du pH indiquant un certain ralentissement et la fin, signifiant l'absence de l'hydrolyse de l'urée. La dite fin a été confirmée au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation ( $T_4$ ) lorsque le sol a enregistré une chute du pH jusqu'à une moyenne de 7,30. Par contre, ayant un pH très fortement acide au temps  $T_0$ , les échantillons du Ferralsol de Lubumbashi n'ont enregistré qu'une faible augmentation de pH (moins d'une unité) du 3<sup>ème</sup> au 11<sup>ème</sup> jour d'incubation demeurant toujours dans la zone qualifiée de forte acidité qui dénote une faible hydrolyse de l'urée due à la neutralisation de  $NH_3$  produit. Au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation, nous avons enregistré, dans les deux échantillons de Ferralsol de Lubumbashi, une baisse du pH indiquant un certain ralentissement et la fin, signifiant 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 figure n°2, ci-dessous.



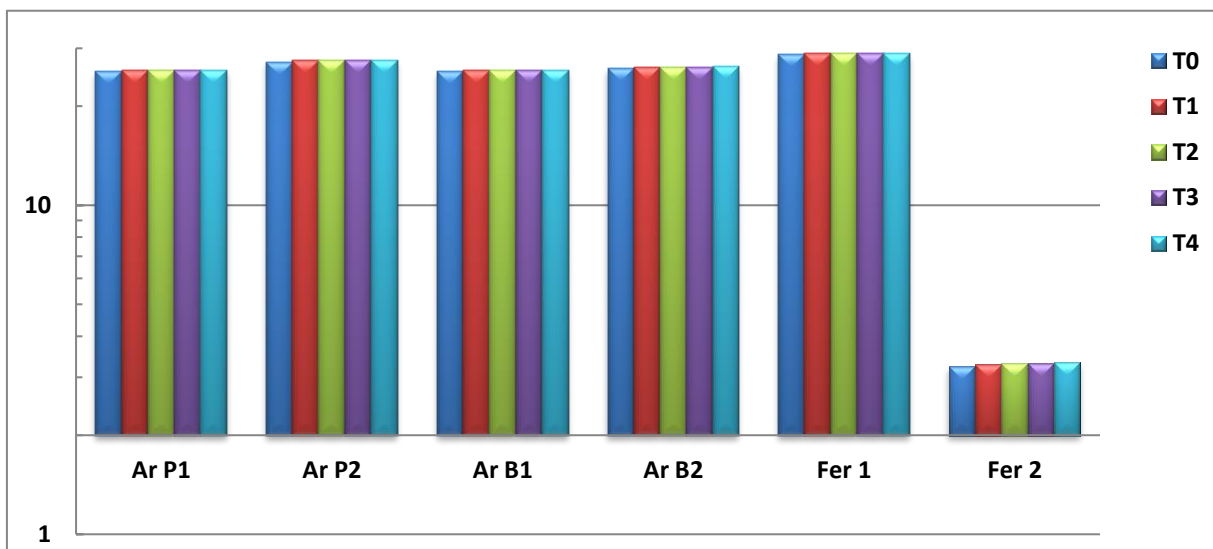
**Fig. 2. Evaluation de la libération du CO<sub>2</sub> dans les sols étudiés**

Dans les échantillons de l'Arénoferralsol de Kinshasa, la respiration du sol présente une même évolution. En effet, du 3<sup>ème</sup> (T<sub>1</sub>) au 15<sup>ème</sup> (T<sub>4</sub>) jour d'incubation (T<sub>4</sub>), il a été constaté un écroulement progressif de la quantité du CO<sub>2</sub> dégagé du sol jusqu'à un niveau très faible ( $\leq 2.5\text{mg}$  de CO<sub>2</sub>/30gr du sol), ce qui signifie l'inhibition progressive de l'activité microbienne due à l'hydrolyse de l'urée produisant l'ammoniac. La chute progressive du pH enregistrée dans ces sols allant du T<sub>1</sub> à T<sub>4</sub> corrobore cette hypothèse.

Par contre, dans les 2 échantillons du Ferralsol de Lubumbashi, nous avons enregistré une montée progressive des quantités de CO<sub>2</sub> dégagé du sol du 3<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> 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 forte acidité du sol qui est confirmée par le niveau du pH enregistré dans ces sols de T<sub>1</sub> à T<sub>4</sub>, qui n'avait varié que de 4,5 à 4,9 en moyenne.

**3.3 EVOLUTION DE L'AZOTE AMMONIACAL (NH<sub>3</sub>) VOLATILISE**

Les résultats de l'évolution de la volatilisation ammoniacale trouvée dans les sols étudiés sont présentés dans la figure 3, ci-dessous.



**Fig. 3. Evolution de l'azote ammoniacal volatilisé (NH<sub>3</sub>) dans nos sols au fil du temps**

Concernant la volatilisation ammoniacale, les échantillons de l'Arénoferralsol de Kinshasa ont enregistré une forte volatilisation de  $\text{NH}_3$  (plus de 40%) du temps zéro ( $T_0$ ) à 3 jours ( $T_1$ ), qui a provoqué l'augmentation du pH (de 5,4 à 9,6). La faible volatilisation de  $\text{NH}_3$  enregistré de  $T_2$  à  $T_4$ , dénote le ralentissement, voire la fin du processus de l'hydrolyse de l'urée. Cette hypothèse est prouvée par la baisse du pH constatée à ce niveau.

Par contre, dans les échantillons du Ferralsol, très fortement acides, nous avons enregistré une très faible augmentation de la quantité d'ammoniac dégagé des sols du 3<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation. Ceci serait certainement dû à la neutralisation de l'ammoniac et peut-être aussi à la fixation des ions  $\text{NH}_4^+$  sur l'argile, abondante dans ces sols (76-84%).

### 3.4 EVOLUTION DE L'AMMONIUM DANS LES SOLS

Les résultats de l'évolution de l'azote ammoniacal trouvés dans nos sols étudiés sont présentés dans la figure 4, ci-dessous.

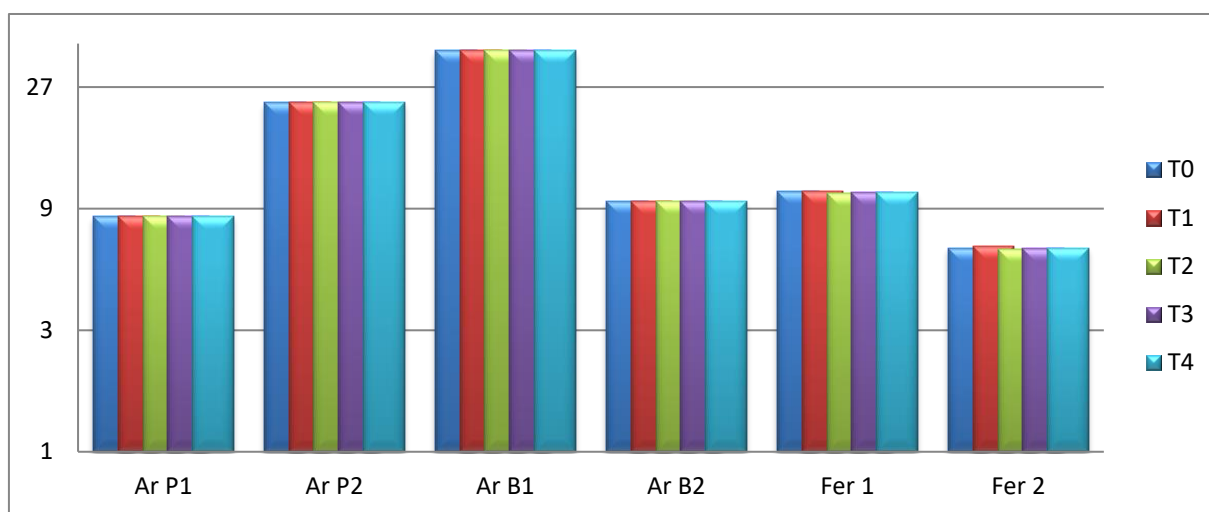


Fig. 4. Evolution de la transformation, au fil du temps, de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )

Dans les échantillons de l'Arénoferralsol, il a été enregistré une réduction de la quantité de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  de  $T_0$  à  $T_1$  qui affirme la prédominance de la volatilisation de  $\text{NH}_3$  issu de l'urée confirmé par la montée du pH enregistrée à ce niveau. Cependant, du 7<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation, les sols ont enregistré un accroissement progressif de la quantité de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  qui prouve un certain ralentissement ou diminution du processus de volatilisation provenant de l'hydrolyse de l'urée. Cette assertion est 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  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  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<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation, le sol a présenté une décroissance de la quantité d'ammonium par rapport à  $T_1$  qui signale la fin du processus d'hydrolyse de l'urée.

### 3.5 EVOLUTION DE L'AZOTE NITRIQUE DANS LE SOL AU FIL DU TEMPS

Les résultats de l'évolution de la nitrification dans nos 6 sols étudiés sont présentés dans la figure 5, ci-dessous.

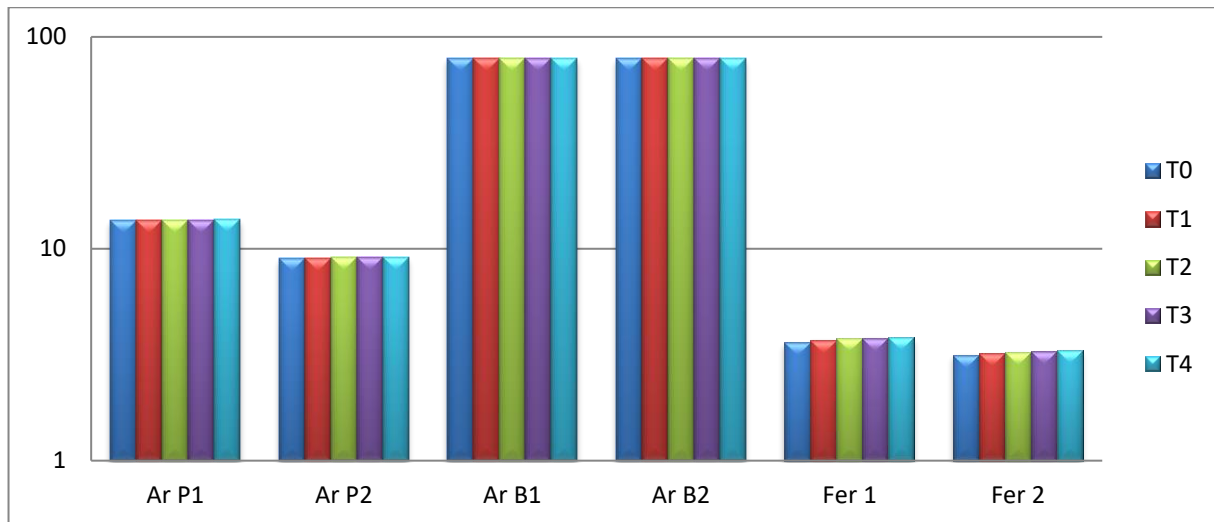


Fig. 5. Evolution de la formation de l'azote nitrique dans les différents sols au fil du temps

Il est à constater qu'au 3<sup>ème</sup> jour après incubation de l'urée (T<sub>1</sub>), les échantillons de l'Arénoferralsol de Kinshasa ont enregistré une faible nitrification, alors que nous avons enregistré, à cette période, une forte hydrolyse de l'urée. La faible nitrification serait due à la forte volatilisation de NH<sub>3</sub> et les faibles ammonifications observées à ce niveau. A 7 jours d'incubation, les sols de Kinshasa ont néanmoins enregistré une faible augmentation de la nitrification qui s'est fortement accrue du 11<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation. Cette augmentation était confirmée par la fin du processus d'hydrolyse, la faible volatilisation de NH<sub>3</sub> et la chute du pH des sols observés.

Par contre, dans les échantillons du Ferralsol de Lubumbashi, du 3<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation, la quantité de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, dans le sol, n'avait fait qu'augmenter, bien que faiblement. Ces très faibles accroissements seraient dus à la très forte acidité de ce sol, induisant, certainement une faible activité microbologique.

#### 4 ANALYSE COMPARATIVE ENTRE L'ARENOFERRALSOL DE KINSHASA 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 les types des sols. De ce fait, l'hypothèse nulle (H<sub>0</sub>) stipule que les paramètres sont pareils dans les deux sols. Elle est donc notée mathématiquement de la manière suivante:

$$H_0: \mu_1 (\text{pH}, \text{CO}_2, \text{NH}_3, \text{NH}_4^+\text{-N}, \text{NO}_3^-\text{-N}) = \mu_2 (\text{pH}, \text{CO}_2, \text{NH}_3, \text{NH}_4^+\text{-N}, \text{NO}_3^-\text{-N})$$

$\mu_1$ : Arenoferralsol

$\mu_2$ : Ferralsol

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 Multi-varié de la variance) afin de justifier en effet le recours au test d'Anova et de Student dans l'intérieure des groupes. Notons qu'on rejette l'hypothèse si p-value est inférieure à 0,05, soit 5%, ce qui signifierait:

- Il y a une dépendance entre les types des sols et les paramètres (MANOVA);
- Pour l'ANOVA, ça sera, au moins un de ces paramètres qui diffère significativement dans les deux types des sols;
- Pour le test de Student, la conclusion sera qu'il existe une différence entre les deux moyennes

##### 4.1 ANALYSE COMPARATIVE DES SOLS À LA PROFONDEUR DE 0 – 25 CM

Le tableau 2, ci-dessous, présente la comparaison des sols sous étude à la profondeur de 0-25 cm et on y a ajouté les valeurs de p-value donnant ainsi une indication sur le test de comparaison par paire.



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

Paramètres	Types	Moyenne	Ecart-type	N	Sig
pH	Arénoferralsol	7.92	1.59	30	0.000*
	Ferralsol	5.19	0.47	15	
	Total	7.01	1.85	45	
CO <sub>2</sub>	Arénoferralsol	0.82	0.58	30	0.118
	Ferralsol	1.08	0.31	15	
	Total	0.90	0.52	45	
NH <sub>3</sub>	Arénoferralsol	1.09	0.15	30	0.044*
	Ferralsol	1.01	0.02	15	
	Total	1.06	0.13	45	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Arénoferralsol	0.76	0.49	30	0.001*
	Ferralsol	0.31	0.07	15	
	Total	0.61	0.46	45	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Arénoferralsol	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 de l'échantillon

Il ressort de ce tableau, qu'à l'exception de la quantité de CO<sub>2</sub> qui ne diffère pas dans les deux types des sols ( $p > 0,05$ ), les autres paramètres sont statistiquement plus élevés dans l'Arénoferralsol de Kinshasa par rapport au Ferralsol de Lubumbashi ( $p < 0,05$ ).

#### 4.2 ANALYSE COMPARATIVE DES SOLS À LA PROFONDEUR DE 25 -50 CM

La comparaison des sols à la profondeur de 25-50 cm (ci-dessous) dévoile une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les deux sols en étude car. Il est à constater que tous les paramètres sont statistiquement plus élevés dans l'Arénoferralsol de Kinshasa par rapport au Ferralsol de Lubumbashi.

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

Paramètres	Types	Moyenne	Ecart-type	N	Sig
pH	Arénoferralsol	8.04	1.55	30	0.000*
	Ferralsol	5.16	0.52	15	
	Total	7.08	1.89	45	
CO <sub>2</sub>	Arénoferralsol	0.77	0.58	30	0.033*
	Ferralsol	1.11	0.28	15	
	Total	0.88	0.52	45	
NH <sub>3</sub>	Arénoferralsol	1.09	0.12	30	0.000*
	Ferralsol	0.14	0.02	15	
	Total	0.78	0.46	45	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Arénoferralsol	0.57	0.23	30	0.000*
	Ferralsol	0.22	0.06	15	
	Total	0.46	0.26	45	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Arénoferralsol	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 de l'échantillon

En bref, l'analyse statistique des résultats de deux sols sous étude montrent que tous les paramètres testés diffèrent significativement entre l'Arénoferralsol et le Ferralsol. Le détail se présente de la manière suivante:

- Le pH dans l'Arénoferralsol du plateau (pH 5,65) est statistiquement le même que celui observé au bas-fond (pH 5,11) mais tous deux sont statistiquement supérieurs à celui prélevé dans le Ferralsol de Lubumbashi (pH 4,5). Donc, le pH de l'Arénoferralsol de Kinshasa est relativement plus élevé que celui du Ferralsol de Lubumbashi. Le premier appartient à la gamme des sols moyennement acide (pH entre 5,6-6,0) tandis que celui du Ferralsol appartient à la catégorie des sols fortement acide (pH entre 4,5-5,5)
- Le CO<sub>2</sub> de l'Arénoferralsol du plateau est statistiquement le même que celui du bas-fond, mais plus faible que celui du Ferralsol de Lubumbashi
- NH<sub>3</sub> volatil dans le sol du plateau est statistiquement le même que celui de bas-fond, mais plus élevé que celui du Ferralsol de Lubumbashi
- La teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N varie au niveau de l'Arénoferralsol de Kinshasa avec une teneur relativement élevée au bas-fond dans les deux profondeurs par rapport au plateau dans les deux profondeurs. Toutefois, le sol du plateau et du bas-fond contiennent une teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N relativement supérieur au Ferralsol de Lubumbashi
- La teneur en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N est moins importante dans l'Arénoferralsol du plateau que dans le sol du bas-fond, mais dans les deux cas, elle est supérieure à celle du Ferralsol de Lubumbashi

## 5 CONCLUSION

A travers cette étude, notre intention était d'évaluer, par la méthode d'incubation durant 15 jours, la dynamique de minéralisation de l'urée dans deux sols de la R.D Congo et, de quantifier des émissions gazeuses de l'ammoniac volatil et de CO<sub>2</sub> dégagé dans ces sols. Pour ce faire, nous avons dosé CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N et mesuré le pH, dans les conditions ambiantes de laboratoire selon la méthode modifiée de [9] sachant que c'est une mesure d'activité potentielle de minéralisation en absence des racines.

Partant des résultats obtenus, les échantillons de l'Arénoferralsol, sol sableux, ont présentés une forte montée du pH du 3<sup>ème</sup> au 7<sup>ème</sup> jour d'incubation qui témoigne de l'hydrolyse de l'urée. Cette montée du pH due à une forte volatilisation de l'ammoniac semble être facilitée par la nature sableuse de ce sol. Du 11<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> jour d'incubation, les échantillons de l'Arénoferralsol ont enregistré une baisse du pH qui amorce la diminution de l'ammoniac volatil et une faible réponse de l'activité respiratoire due à la réactivation des microorganismes, notamment ceux de la nitrification. En effet, le processus de nitrification, observé par l'évolution des quantités de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, s'accroît avec le temps et est inversement proportionnelle à la volatilisation ammoniacale.

Dans les échantillons du Ferralsol de Lubumbashi, les deux profondeurs analysées, en raison de leur forte acidité, en moyenne 4,5, ont montré une faible montée du pH remarquée du 3<sup>ème</sup> au 7<sup>ème</sup> jour d'incubation, alors que demeurant dans la zone d'acidité. Cette faible montée du pH signale certainement la capacité de neutralisation de ce sol, affirmée par la faible volatilisation de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et conséquemment une faible teneur de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N et de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N.

En comparant l'Arénoferralsol de Kinshasa au Ferralsol de Lubumbashi, l'analyse Multivariée de la variance (MANOVA) à 5% révèle que les paramètres observés diffèrent significativement. En effet, l'Arénoferralsol de Kinshasa moins acide que le Ferralsol présente un bon taux de nitrification beaucoup meilleure que ce dernier.

La faible nitrification observée dans le Ferralsol de Lubumbashi est sans doute due à la forte acidité qui inhibe l'activité des microorganismes dans ce sol.

Par ce travail, nous confirmons avec [22], 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.

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 sans une analyse préalable de risque à chaque apport, mais selon, surtout les caractéristiques de chaque sol 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

- [1] B. Lele, S. Kachaka, and J. Lejoly, «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*, vol. 20, no 1, pp. 57-67, 2016.
- [2] P. Pieter, W. Bimponda, J.P. Lodi-Lama, B. Lele, and R. Mulumba, «*Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production Cassava production*», *Agronomy Journal*, vol 104, no 1, pp. 178-187, 2012.
- [3] J.N. Chianu, J.O. Akintola and P.M. Kormawa, «Profitability of cassava-maize production under different fallow systems and land-use intensities in the derived savanna of southwest Nigeria», *Exp. Agric.*, vol 38, pp. 51-63, 2002.
- [4] IFA, «*IFADATA 2010*», 2011, [Online] Available: <http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/search> (19/03/2019).
- [5] J. Mataba, «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 2ème cycle, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa-RDC, pp. 39, 2010.
- [6] K. Lumpungu, «*La perte en azote et la phytotoxicité de l'urée dans le sol*», *Annales de Gembloux (Belgique)*, vol 89, pp. 117 – 127, 1983.
- [7] F. Kamion, «*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. 37, 1998.
- [8] G. Standford and S. J. Smith, «*Nitrogen mineralization potentials of soil*», *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, vol 36, pp. 465-472, 1972.
- [9] K. Lumpungu, «*Die Ammoniakfreisetzung aus Harnstoff und die Harnstoff-N-wirking bei vershiedenen Behandlungen*», Thèse de Doctorat, Université de Bonn, Faculté des Sciences Agronomique, Département de chimie agricole, République Fédérale d'Allemagne, 1978.
- [10] H. Nordmeyer and J. Richter, «*Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils*», *Plant and Soil*, vol 83, pp. 433-445. 1985.
- [11] S. Kachaka, «Decomposition and N-Mineralization of prunings of various quality and age», Ph D. Thesis, K. U. Leuven, p. 117, 1993.
- [12] Afnor, «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, p. 47, 2009.
- [13] R.J. Raison, M.J. Connell and P.K. Khanna, «*Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ*», *Soil Biol.Biochem.*, vol 19, no 5, pp. 521-530, 1987.
- [14] M. Pain, «*Kinshasa: la ville et la cité*», Etudes urbaines, ORSTOM, Paris. 1984.
- [15] K.C. Mulaji, «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, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, p. 172, 2011.
- [16] K.R. Koy, «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 en Sciences de la Terre, Université de Gand, Gent, p 323, 2009.
- [17] M. Mpundu, «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, p. 410, 2010.
- [18] B. Lele, «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 Postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, RDC. p. 243, 2016.
- [19] S. Klose and M.A. Tabatabai, «Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems», *Biology and Fertility of Soils*, vol 31, pp. 191–199. 2000.
- [20] J.K.R. Gasser, «Urea as fertilizer», *Soils and Fertilizers*, vol 27, pp. 175-180, 1964.
- [21] L.N. Overrien and P.G. Moe, «Factors affecting urea hydrolysis and ammoniac volatilization in soil», *Proc. Soil Sci. Soc Am*, vol 31, pp. 57-61, 1967.
- [22] Paul, E.A. & Clark, F.E., 1989. «Soil microbiology and Biochemistry». Academic Press, INC.275p.