

Evaluation de l'efficacité du compost d'alambics de brousse sur l'atténuation de l'effet acidifiant du sulfate d'ammonium sur sol ferrallitique acide d'Ambohimahasoà sous culture de riz pluvial (*Oryza sp*) à Madagascar

Christian Pierre Ratsimbazafy^{1*}, Ignace Rakotoarivonizaka², Rijalalaina Rakotosaona²

⁽¹⁾Centre de Valorisation Organique d'Ambohimahasoà de l'Entreprise IAZAFO-COMPOST. Carreau N° V, Ambalamananasy Toamasina 501 (Madagascar). E-mail : christianpierrerratsimbazafy@gmail.com

⁽²⁾Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA). Laboratoire de Génie de Procédés Chimiques. BP 1500 Antananarivo 101 (Madagascar).

Reçu le 27 novembre 2020, accepté le 07 décembre 2020, publié en ligne le 12 décembre 2020

RESUME

Description du sujet. Le sulfate d'ammonium est un engrais azoté facilement disponible pour les plantes mais son apport excessif peut avoir à long terme, voire à court terme, un effet dépressif sur les cultures à cause de son action acidifiante sur le sol agricole. C'est ainsi qu'une étude a été effectuée sur l'atténuation de l'effet acidifiant du sulfate d'ammonium par l'apport du compost d'alambics de brousse.

Objectif. L'objectif de la présente étude est d'évaluer le pouvoir tampon du compost d'alambic de brousse dans l'atténuation de l'effet acidifiant du sulfate d'ammonium tout en améliorant de façon significative et durable, le rendement de la culture de riz pluvial et aussi, la fertilité du sol.

Méthodes. Le sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ et le compost d'alambic de brousse ont été utilisés respectivement comme engrais minéral et organique. Les semences du riz pluvial de la variété améliorée **SEBOTA 41** étaient employées (durée du cycle de 120 à 130 jours) et la dose de semis recommandée pour cette variété varie entre 70 et 80 kg/ha. L'étude a été réalisée sur sols ferrallitiques acides du flanc de colline d'Ambohimahasoà, terrain privé appartenant à l'entreprise Iazafo Compost sise à Nosibe, district de Vavatenina pendant trois (03) années consécutives : 2016-2017-2018. Afin de caractériser et de mieux suivre l'effet du sulfate d'ammonium sur le pH du sol, des mesures de pH ont été réalisées régulièrement après chaque campagne de récolte et/ou avant les semis de campagnes rizicoles suivantes. L'essai était conduit dans un dispositif en split plot comportant cinq traitements répétés quatre fois. Chaque parcellaire élémentaire était divisée en quatre sous-parcelles dans lesquelles les doses de 5, 10, 15 et 20 t de compost/ha ont été apportées. La dimension de la parcelle élémentaire était de 100 m² et la superficie totale du champ expérimentale était de 6 400 m². Le logiciel statistique SPSS 20 (Statistical Package for the Social Sciences.20) a été utilisé pour calculer le rendement moyen en paddy de riz et la corrélation (coefficient de corrélation de Pearson) entre l'évolution annuelle de pH des sols traités exclusivement avec le sulfate d'ammonium et des parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium et le compost.

Résultats. Les résultats obtenus ont montré qu'avec la dose de compost (5 t/ha/an), la correction de pH acide du sol peut aller au-delà de 60 % pour un apport annuel plus modeste en sulfate d'ammonium de 295 kg/ha/an. Par ailleurs, l'action combinée de sulfate d'ammonium/compost (ratio 295 kg/5 t par hectare) permet de réaliser un rendement en paddy élevé de 9,78 t/ha dans les conditions pédoclimatiques d'Ambohimahasoà (Région Analanjirofo-Madagascar) dès la première année d'application.

Conclusion. La seule application de sulfate d'ammonium en agriculture, particulièrement sur sols acides fortement désaturés est déconseillé. Les études ultérieures doivent être réalisées dans le sens de confirmer les effets tampons attendus de l'utilisation du compost d'alambics de brousse.

Mots-clés : Riz, compost, alambics de brousse, sulfate d'ammonium, acidification, Madagascar

ABSTRACT

Evaluation of the effectiveness of bush still compost on the mitigation of the acidifying effect of ammonium sulphate on Ambohimahasoà acid ferrallitic soil under rainfed rice (*Oryza sp*) in Madagascar

Description of the subject. Ammonium sulphate is a nitrogen fertilizer readily available to plants, but its excessive intake can have a depressive effect on crops in the long term or even in the short term because of its acidifying effect on agricultural soil. Thus, a study was carried out on the attenuation of the acidifying effect of ammonium sulphate by the addition of compost from bush still.

Objective. The objective of the present study is to evaluate the buffering capacity of the bush still compost in attenuating the acidifying effect of ammonium sulfate while significantly and lastingly improving the yield of the crop rainfed rice and also soil fertility.

Methods. Ammonium sulphate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and bush still compost were used as mineral fertilizer and organic fertilizer, respectively. Rainfed rice seeds of the improved variety SEBOTA 41 were used (cycle time 120-130 days) and seeding dose ranged from 70-80 kg/ha. The study was carried out on acidic ferrallitic soils on the hillside of Ambohimahaso, private land owned by the company Iazafo Compost located in Nosibe, Vavatenina district for three (03) consecutive years: 2016-2017-2018. In order to characterise and better monitor the effect of ammonium sulphate on soil pH, pH measurements were carried out regularly after each harvest year and/or before planting in subsequent rice growing years. The test was conducted in a device. Each elemental plot was divided into four sub-plots in which 5, 10, 15 and 20 t of compost/ha were added. The elementary plot size was 100 m² and the total experimental field area was 6,400 m². The statistical software SPSS 20 (Statistical Package for the Social Sciences.20) was used to calculate the average rice paddy yield and correlation (Pearson correlation coefficient) between the annual pH change of soils treated exclusively with ammonium sulphate and parcels treated with ammonium sulphate and compost.

Results. The results obtained showed that with the compost dose (5 t/ha/year), the acid pH correction of the soil can go beyond 60% for a more modest annual ammonium sulphate intake of 295 kg/ha/year. Moreover, the combined action of ammonium sulphate/compost (ratio 295 kg/5 t per hectare) makes it possible to achieve a high paddy yield of 9.78 t/ha under the pedoclimatic condition of Ambohimahaso (Analanjirifo-Madagascar region) from the first year of application.

Conclusion. The only application of ammonium sulphate in agriculture, especially on acidic soils strongly desaturated is not recommended. Subsequent studies should be conducted to confirm the buffering effects expected from the use of bush stills compost.

Keywords : Rice, bush still compost, ammonium sulphate, acidification, Madagascar

1. INTRODUCTION

Utilisé depuis longtemps pour fertiliser l'agriculture, le sulfate d'ammonium est un engrais minéral qui contient du soufre assimilable sous forme de sulfate (SO_4^{2-}) et de l'azote sous forme d'ammonium (NH_4^+). A Madagascar, du fait de son prix relativement plus bas (prix presque 4 fois moins cher que l'urée sur le marché), le sulfate d'ammonium est généralement utilisé comme engrais azoté à la place de l'urée. Depuis le lancement officiel de la stratégie nationale de la *révolution verte durable* à Madagascar comme politique nationale du développement rapide de l'économie rurale en 2007 ; le recours à l'usage massif d'engrais chimiques de synthèse ne cesse de se développer notamment au niveau des zones et/ou bassins rizicoles du pays (Lac Alaotra, Betsimitatara, Marovoay, etc.).

Dans certaines régions de Madagascar, les intrants agricoles indispensables comme les semences (riz - *Oryza* sp, maïs - *Zea mays* L. et quelques espèces maraîchères, etc.), les engrais (chimique et organique), et quelques produits phytosanitaires ont été partiellement subventionnés par l'Etat à travers les divers projets/programmes de développement rural (PPRR, PSDR, programme ERI, etc.).

L'usage d'engrais minéraux comme le NPK 11-22-16 et particulièrement le sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (en tant qu'engrais de couverture) est devenu courant pour certains paysans en vue d'améliorer leur rendement agricole, et ce, d'autant plus que le projet Ambatovy produit localement

environ 210 000 tonnes par an de sulfate d'ammonium connexe à sa production de nickel et du cobalt depuis 2011, c'est-à-dire, une quantité équivalente à la moitié des besoins de consommation annuelle de l'ensemble des pays africains subsahariens (Ambatovy, 2012). Ainsi, l'accès à cet engrais azoté a été rendu facile pour les agriculteurs : (i) le prix est à la portée du pouvoir d'achat des utilisateurs potentiels, (ii) le réseau de distribution s'étend jusqu'aux zones de production les plus enclavées, (iii) la disponibilité de ce produit conformément aux demandes, etc. Cependant, déjà en 1881, trois agronomes anglais, Lawes, Gilbert et Warrington écrivait : "*The action of ammonium salts in impoverishing a soil of lime and magnesia should always be borne in mind when their application to a soil poor in lime is in question*". Ils mettaient ainsi en garde contre les pertes de calcium et magnésium (bases échangeables) occasionnées par les engrais minéraux particulièrement le sulfate d'ammonium, pertes d'autant plus dangereuses que le sol est mal fourni en ces éléments (sol fortement désaturé), ce qui est malheureusement le cas dans beaucoup de sols tropicaux et particulièrement le cas de la plupart de sols arables à Madagascar.

Aussi, certains chercheurs affirment l'ampleur du phénomène d'acidification engendré par l'usage d'engrais chimique « *le sulfate d'ammonium* ». Les effets acidifiant du sol par le sulfate d'ammonium apporté au bananier en sols hydromorphes organiques ont pu également être établis en Guinée par Champion *et al.*, (1958) et Dugain, (1959).

L'apport de sulfate d'ammonium provoque en effet une baisse annuelle de 0,20 à 0,25 unité-pH pour chaque fraction de 200 kg/ha d'azote (1000 kg/ha environ de sulfate d'ammonium). En Ouganda, Forster (1970), confirme l'effet acidifiant du sulfate d'ammonium apporté à la dose annuelle de 260 kg/ha, provoquant ainsi une baisse de 0,27 unité-pH par an, ce qui rejoint les constatations faites en Guinée. Blondel, (1967), a observé sur les deux premiers centimètres du sol, 48 heures après l'apport de 100 kg d'azote (500 kg de sulfate d'ammoniaque), que le pH de cette pellicule superficielle s'effondrait de 6,4 à 4,8, c'est-à-dire, une baisse de pH extrêmement rapide. Ces variations ou plutôt chutes du pH révèlent un entrainement des bases du complexe absorbant par drainage (Boyer,1978). En outre, la destruction de l'humus entraîne également la disparition des bases échangeables, donc l'acidification du sol. Bouchy (1973) ; Fauck *et al.* (1969) ont rapporté que la destruction de 40 à 50 % de l'humus consécutive à 2 années de culture provoque en effet la diminution de près de la moitié des éléments absorbés sur le complexe d'échange.

La Région d'Analanjirifo (Madagascar) dispose de nombreux gisements de ce genre de matières fertilisantes issus des activités de distillation d'huiles essentielles de feuilles de giroflier connu localement sous l'appellation « *zezi-dambika* » (signifie littéralement « *compost d'alambic de brousse ou compost de brousse* »). Ce produit peut aider à contrôler, voire éradiquer l'effet acidifiant de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sur les sols agricoles malagasy et de réaliser une meilleure performance agricole.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer le pouvoir tampon du compost d'alambics de brousse dans l'atténuation de l'effet acidifiant de sulfate d'ammonium tout en améliorant de façon significative et durable le rendement agricole, et donc, la fertilité du sol.

Cette étude peut aider les producteurs à éviter l'utilisation incontrôlée du sulfate d'ammonium et donne des informations sur l'importance de l'usage agronomique du compost d'alambics de brousse sur le contrôle du pouvoir acidifiant du sulfate d'ammonium.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Sulfate d'ammonium

Le sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ utilisé au cours de l'étude provient du marché local et issu de sous-produits du projet Ambatovy. Il contient 21 % d'azote sous forme d'ammonium NH_4^+ et 24 % de soufre sous forme de sulfate SO_4^{2-} . Il est couramment utilisé comme engrais destiné à l'**acidification des sols alcalins** et également comme source d'engrais azoté.

2.2. Compost d'alambics de brousse

Le compost utilisé est un compost d'alambics de brousse âgé de quatre mois provenant de la plateforme de compostage du Centre de Valorisation Organique de l'Entreprise Iazafo Compost. Ce compost a été fabriqué à partir des déchets de feuilles issus des résidus de distillation d'essence de feuilles de giroflier - *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. et L.M.Perry. Les principales caractéristiques de ce compost de brousse sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Principales caractéristiques du compost d'alambic de brousse utilisé dans l'essai

Eléments	Unités	Sur brut	Sur sec
Matière sèche (MS)	%	57,80	-
pH eau	-	7,00	-
Matière Organique (MO)	%	29,40	50,88
Conductivité électrique (EC)	mS/cm à 20°C	2,00	
Carbone organique (COT)	%	14,27	24,69
Azote kjeldahl (NTK)	%	1,73	2,99
Rapport C/N	-	14,26	-
Azote nitrique (N-NO_3^-)	g/kg	1,89	3,26
Azote ammoniacal (N-NH_4^+)	g/kg	0,44	0,76
Phosphore total (P_2O_5)	g/kg	8,70	15,00
Potassium total (K_2O)	g/kg	14,50	25,00
Magnésium total (MgO)	g/kg	26,80	46,30
Calcium total (CaO)	g/kg	11,00	19,00
Sodium (Na_2O)	g/kg	5,00	8,60
Indice de stabilité de la matière organique (ISMO)	% MO	58,00	-
Minéralisation maximale de l'azote organique à 91 jours (CMN)	% N-Norg	11,70	-
Minéralisation potentielle du carbone à 91 jours (Ct91)	% COT	35	

2.3. Riz

Les semences de riz pluvial de la variété améliorée **SEBOTA 41** ont été utilisées (durée du cycle de 120 à 130 jours) et la dose de semis employée variait entre 70 et 80 kg/ha. C'est la variété la plus utilisée et la mieux adaptée dans la Région Analanjirifo voire sur l'ensemble de 22 Régions du pays (Madagascar). Elle peut être cultivée en pluvial et en irrigué et peut donner jusqu'à 12 t de paddy/ha en système rizicole amélioré (CIRAD-Madagascar, 2007). Dans la Région Analanjirifo voire sur l'ensemble du territoire national (Madagascar), le rendement en paddy en culture pluviale

traditionnelle varie entre 1 et 1,5 t/ha. Ce faible niveau de productivité est lié à des nombreux paramètres qui sont : le climat, la maladie du riz appelé pyriculariose, l'insecte terricole (*Hétéronychus* sp), les pratiques agricoles inappropriées, les moyens et équipements techniques insuffisants, le faible niveau technique des agriculteurs, etc.), et surtout la perte de la fertilité des sols. Le tableau 2 ci-dessous présente les doses théoriques d'azote nécessaires suivant les objectifs de rendement fixés.

Tableau 2. Besoins en unités fertilisantes suivant les objectifs de rendement

Objectif de rendement (t/ha)	Besoins en NO ₃ ⁻ (kg/ha)	Equivalent en urée (Kg/ha)	Equivalent en sulfate d'ammonium (kg/ha)
4	50	100	238
5	62	135	295
6	75	160	375
7	87	190	414
8	100	215	476
9	112	240	533
10	125	270	595

Source : Marc (2001)

2.4. Conditions et dispositifs expérimentaux

Déroulement des essais

L'étude fut réalisée sur sols ferrallitiques acides du flanc de colline d'Ambohimahasoa, terrain privé appartenant à l'entreprise Iazafo Compost sise à Nosibe, district de Vavatenina qui s'étend sur une superficie plus d'un hectare (1ha) pendant trois (03) années consécutives : 2016-2017-2018. Au cours de chaque année, les semis ont eu lieu entre août et septembre et les récoltes ont été réalisées vers novembre et décembre. Les caractéristiques chimiques du sol à la mise en place des essais sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3. Résultats d'analyses du sol avant les expérimentations

Granulométrie	Paramètres agronomiques classiques	Bases échangeables	Oligo-éléments
Argile (%)	25,00	Matière organique (%) 1,50	Ca ⁺⁺ (meq/100g) 0,97
Limon fin (%)	22,00	Carbone organique (%) 0,86	Mg ⁺⁺ (meq/100g) 0,18
Limon grossier (%)	20,10	Azote total Kjeldahl (%)	K ⁺ (meq/100g) 0,10
Sable fin (%)	18,00	Rapport C/N	Na ⁺ (meq/100g) 0,06
Sable grossier (%)	14,90	Phosphore assimilable (ppm)	C.E.C (meq/100g) 8,00
Cailloux (pierrosité) (%)	20,00	pH _{eu}	Sommes des bases échangeables (S) 1,31
Calcaire totale (%)	0,18	pH _{KCl}	Taux de saturation V (%) 16,40
Densité Apparente	1,35	-	-

Le compost était apporté annuellement avant semis. Quant à l'engrais minéral sulfate d'ammonium, son apport a été fractionné en deux (02) voire en trois (03) apports selon l'importance de la quantité

appliquée afin que la culture puisse l'absorber et surtout pour limiter le risque de migration en profondeur (lixiviation par effet de drainage) ou qu'il ne soit évacué de la parcelle par des mouvements d'eau (lessivage). Les modalités d'apport du sulfate d'ammonium sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4. Modalités d'apport pour chaque traitement

Traitement s exécutés	Doses d'unité en kg de sulfate d'ammonium (kg/ha)	Application 1 (15 JAS) (kg/ha)	Application 2 (35 JAS) (kg/ha)	Application 3 (65JAS) (kg/ha)
T ₀ (témoin)				
T ₁	295	147,50	-	147,50
T ₂	375	187,50	-	187,50
T ₃	476	238,00	-	238,00
T ₄	590	196,70	196,70	196,60

Légende : JAS : Jour Après Semis

Analyses physico-chimiques

Afin de caractériser et de mieux suivre l'effet du sulfate d'ammonium sur le pH du sol, des mesures de pH ont été réalisées régulièrement après chaque campagne de récolte et/ou avant les semis de campagnes rizicoles suivantes. L'effet neutralisant ou le pouvoir tampon du compost de brousse a été apprécié à travers le suivi annuel du pH des sols de chaque parcelle.

Le pH de l'échantillon du sol est mesuré conformément à la norme NF ISO 10390, c'est-à-dire, mesuré dans une suspension de sol avec un rapport sol/solution de 1/5. Les échantillons du sol ont été prélevés sur une profondeur de 20 cm de chaque micro-parcelle destinée à l'essai, puis mélangés dans un but d'obtenir un échantillon composite et représentatif de la parcelle (protocole de prélèvement conforme à la norme AFNOR X31-100) et que le protocole de prétraitement de ces échantillons du sol avant de réaliser les différentes analyses physico-chimiques proprement dite suit la méthode normalisée ISO 11464, 2006.

Ainsi, l'effet tampon de chaque dose de compost appliquée était apprécié par la différence de pH enregistrée au niveau des parcelles traitées uniquement par le sulfate d'ammonium et celles des parcelles traitées à la fois avec le sulfate d'ammonium et le compost aux doses croissantes.

Dispositifs expérimentaux

L'essai a été conduit dans un dispositif en split plot comportant cinq traitements répétés quatre fois. Chaque parcellaire élémentaire était divisée en quatre sous-parcelles dans lesquelles les doses de 5, 10, 15 et 20 t de compost/ha ont été apportées (Tableau 5). La dimension de la parcelle élémentaire était de 100 m² et la superficie totale du champ expérimentale était de 6 400 m².

Tableau 5. Modalité d'apports fertilisants

Formulation des modalités d'apports fertilisants		Notation utilisée
Doses de sulfate d'ammonium (kg/ha)	Doses de compost (t/ha)	
295	0	T _{SA295}
375	0	T _{SA375}
590	0	T _{SA590}
295	5	T _{SA295/C5}
	10	T _{SA295/C10}
	15	T _{SA295/C15}
	20	T _{SA295/C20}
375	5	T _{SA375/C5}
	10	T _{SA375/C10}
	15	T _{SA375/C15}
	20	T _{SA375/C20}
590	5	T _{SA590/C5}
	10	T _{SA590/C10}
	15	T _{SA590/C15}
	20	T _{SA590/C20}

Légende : TSA (total sulfate d'ammonium), C (compost)

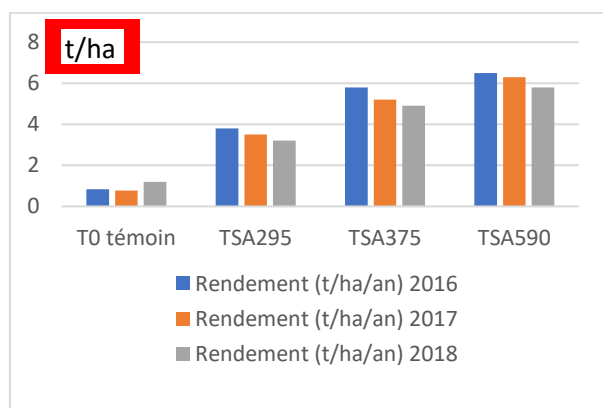
2.5. Analyse statistique

Le logiciel statistique SPSS 20 (Statistical Package for the Social Sciences.20) a été utilisé pour calculer le rendement moyen en paddy de riz et la corrélation (coefficient de corrélation de Pearson) entre l'évolution annuelle de pH des sols traités exclusivement avec le sulfate d'ammonium et l'évolution annuelle de pH des sols des parcelles traitées de concert avec le sulfate d'ammonium et le compost.

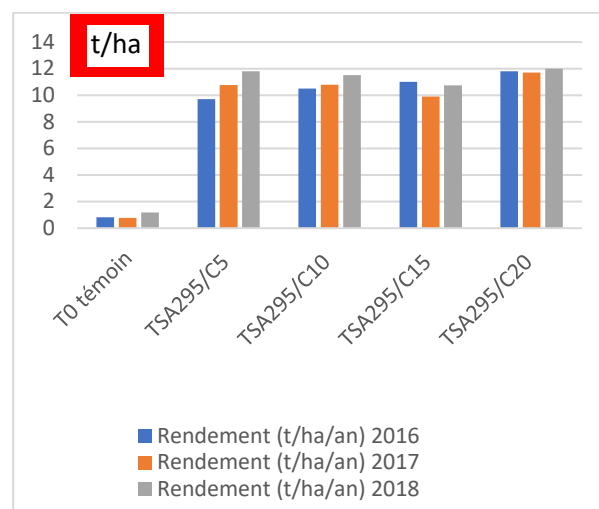
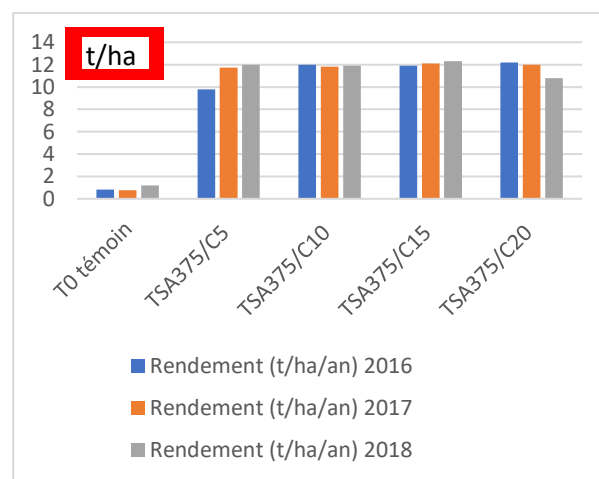
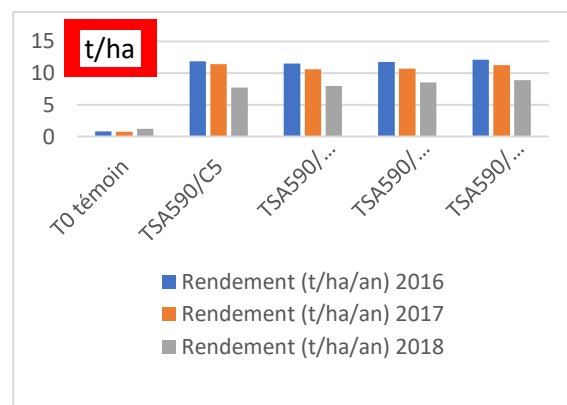
3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Rendement en grains de riz (paddy)

Les rendements moyens de chaque essai agronomique suivant les modalités d'apports fertilisants durant les trois (03) années d'expérimentations sont présentées dans les figures 1, 2, 3 et 4.

**Figure 1 :** Rendements obtenus dans les parcelles traitées

avec le sulfate d'ammonium seul doses respectivement (295 kg, 375 kg et 590 kg)

**Figure 2 :** Rendements obtenus dans les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium/ compost, ratio (295 kg/5 t, 295 kg/10 t, 295 kg/15 t et 295 kg/20 t)**Figure 3.** Rendements obtenus dans les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium/ compost, ratio (375 kg/5t, 375 kg/10 t, 375 kg/15t et 375 kg/20 t)**Figure 4.** Rendements obtenus dans les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium/ compost, ratio (590 kg/5t, 590 kg/10 t, 590 kg/15t et 590 kg/20 t)

Lors de la première année du traitement, l'ensemble des parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium seul (T_{295} , T_{375} et T_{590}) ont connu une nette amélioration en termes de rendement comparativement aux parcelles témoins. Cependant, l'effet dépressif du sulfate d'ammonium sur la qualité du sol a commencé à être ressenti au bout de la troisième année d'application. Cet effet se manifestait généralement par la baisse du rendement agricole notamment à partir de la troisième année suite aux apports cumulés de sulfate d'ammonium sur une même parcelle. Ce phénomène est probablement lié à la dégradation de la qualité physico-chimique du sol, notamment par la baisse du pH reflétant l'amenuisement du stock de cations du complexe absorbant du sol (Boyer, 1978).

En revanche, cet effet dépressif a été atténué voire effacé suite à l'apport répété d'amendement organique (compost). En effet, avec un apport similaire en sulfate d'ammonium à raison de 590 kg/ha/an, les parcelles $T_{SA590/C20}$ (dont l'apport en compost était de 20 t/ha), ont affiché un rendement moyen nettement supérieur que celles des parcelles $T_{SA590/C5}$ recevant un apport de compost à la dose la plus faible (5 t/ha/an). La même tendance a été observée au niveau des traitements intermédiaires ($T_{SA295/C5}$, $T_{SA295/C10}$, $T_{SA295/C15}$), c'est-à-dire, plus l'apport en compost est important, plus l'effet dépressif du sulfate d'ammonium sur le rendement en paddy est faible. Une nette amélioration des rendements en paddy a été constatée sur les parcelles intermédiaires au terme de trois années d'expérimentation.

Les apports combinés (sulfate d'ammonium/compost) ont permis d'obtenir des rendements encourageants et le compost renforce l'efficacité agronomique de sulfate d'ammonium. Pour un apport conjoint annuel à raison de 295 kg/ha de sulfate d'ammonium (soit l'équivalent de 61 kg d'unités d'azote et 70 kg de soufre) et de 5 t/ha de compost, le rendement en paddy atteint déjà un niveau très intéressant de l'ordre de 10 t/ha (9,78 t/ha) dès la première année d'application, soit une performance agronomique dix (10) fois supérieure aux résultats obtenus dans les parcelles témoins (T_0).

3.2. Evolution des pH du sol

Les courbes indiquant l'évolution des moyennes du pH du sol pour chaque protocole de traitement durant les trois (03) années d'essais sont présentées dans les figures 5, 6, 7 et 8.

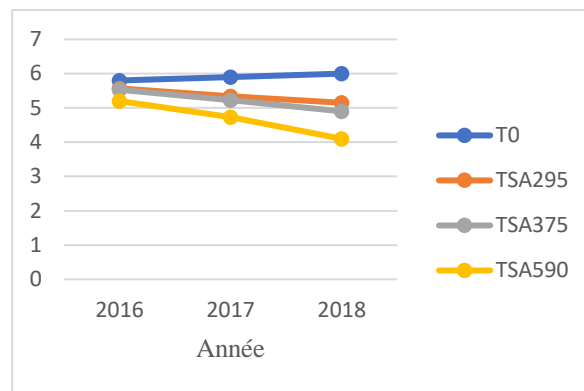


Figure 5. Courbes d'évolution de pH dans les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium (295 kg/ha, 375 kg/ha et 590 kg/ha)

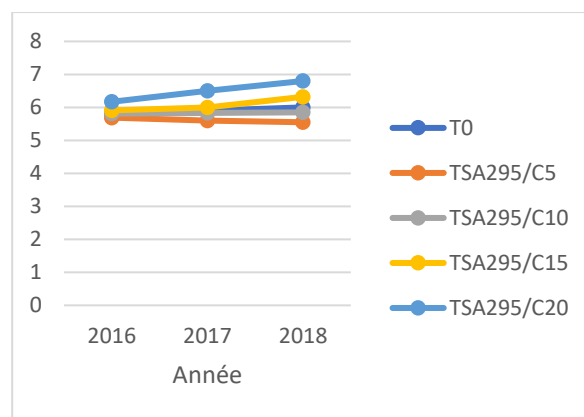


Figure 6. Courbes d'évolution de pH dans les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium/compost, ratio par ha (295 kg/5 t, 295 kg/10 t, 295 kg/15 t et 295 kg/20 t)

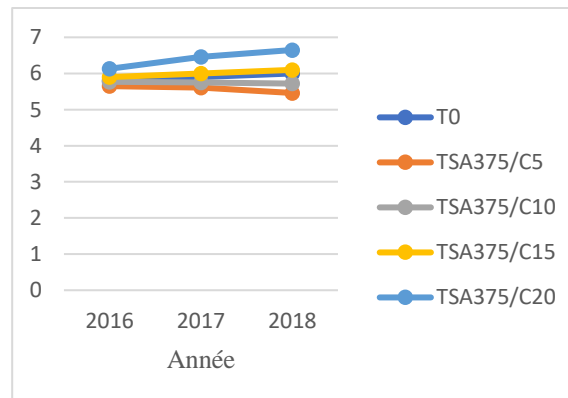


Figure 7. Courbes d'évolution de pH dans les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium/compost, ratio par ha (375 kg/5 t, 375 kg/10 t, 375 kg/15 t et 375 kg/20 t)

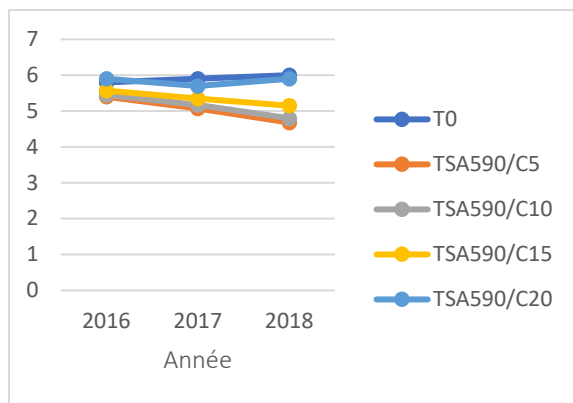


Figure 8. Courbes d'évolution de pH dans les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium/ compost, ratio par ha (590 kg/5 t, 590 kg/10 t, 590kg/15 t et 590 kg/20 t)

Les courbes d'évolution du pH confirment l'action acidifiante du sulfate d'ammonium sur le sol agricole. Pour les parcelles de la série T_{SA590} , l'apport cumulé de sulfate d'ammonium à raison de 590 kg/ha/an a entraîné au bout de trois (03) années d'applications répétées, une baisse moyenne de la valeur de pH jusqu'à 1,7 unités par rapport aux parcelles témoins, soit l'équivalent d'une chute de pH de l'ordre de 0,6 unité par an. Cette baisse de pH par rapport aux parcelles témoins était d'environ de 0,9 unité au bout de la troisième année d'essai pour le traitement au niveau des parcelles intermédiaires de la série T_{SA375} recevant une dose de sulfate d'ammonium de 375 kg/ha/an.

De même, cette chute de pH est également perçue au niveau des parcelles T_{SA295} avec une moyenne de 0,42 unité par rapport aux traitements témoins au bout de la 3^{ème} année d'essai. Par ailleurs, les parcelles recevant l'apport simultané de sulfate d'ammonium et de compost ont connu dans certains cas une légère baisse de pH et dans d'autres cas, une nette amélioration (augmentation) du niveau de pH. D'autres parcelles ont gardé par ailleurs leur pH plus ou moins constant durant les trois (03) années d'essais. Le pH du sol des parcelles $T_{SA590/C20}$ (recevant simultanément des doses de sulfate d'ammonium de 590 kg/ha et de compost de 20 t/ha) reste plus ou moins constant durant les trois (03) années d'essais consécutifs. Cette chute de la valeur du pH est importante pour les parcelles fertilisées exclusivement par le sulfate d'ammonium. Cela justifie l'effet tampon du compost d'alambics de brousse sur le pH du sol. Cet effet tampon est imputable en grande partie à la présence du calcium (CaO) et du magnésium (MgO) en quantité plus ou moins importante dans ce compost de brousse (avec une teneur respectivement de 1,10 % du PB pour le CaO et de l'ordre de 2,40 % du PB pour le MgO).

En effet, 20 t de compost procure environ 220 kg de CaO. Avec un apport de compost de brousse de 20 t/ha, la chute de pH de l'ordre de 0,6 unité par an

observée au niveau des parcelles T_{AS590} traitées uniquement avec le sulfate d'ammonium (590 kg/ha/an) a été totalement corrigée (compensée) dans le cas des traitements au niveau des parcelles $T_{SA590/C20}$ recevant simultanément le sulfate d'ammonium/compost ratio (590kg/20 t par hectare et par an). Des résultats analogues furent obtenus par Celton *et al.* (1973) et Velly (1974) à Madagascar à travers un apport de 560 kg/ha de calcaire broyé (équivalent de 266 kg/ha de CaO), permettant un redressement de pH de 4,5 à 5,1 (soit une augmentation nette de pH de 0,6 unité, c'est-à-dire un gain de pH de l'ordre de 0,6 unité). Plus l'apport en compost est important, plus l'effet acidifiant de sulfate d'ammonium est affaibli où tout simplement effacé. Certaines parcelles ont enregistré en revanche une élévation significative de leur pH. Ce sont les cas observés au niveau des parcelles $T_{SA295/C15}$, $T_{SA295/C20}$, $T_{SA375/C15}$ et $T_{SA375/C20}$, recevant toutes une dose plus ou moins importante en compost (entre 15 à 20 t/ha/an) et des doses relativement faibles en sulfate d'ammonium (295 kg et 375 kg/ha/an). Ces parcelles ont connu un gain de pH au bout de la 3^{ème} année d'essais confronté à leur valeur de pH initial respectivement de l'ordre de 0,41 unité pour $T_{SA295/C15}$, de 0,63 unité pour $T_{SA295/C20}$, 0,20 unité pour $T_{SA375/C15}$ et 0,52 unité pour $T_{SA375/C20}$.

Beaucoup d'études ont montré un accroissement considérable des concentrations des cations basiques principaux (Ca, Mg, K) dans le sol après un apport répété en compost (Parkinson *et al.*, 1999 ; Mbonigaba, 2007 ; Mze, 2008), d'où l'amélioration du pH observé au niveau des susdites parcelles.

3.3. Corrélation entre évolution de pH et quantité de compost appliquée

L'analyse statistique de la matrice de corrélation (pH et quantité de compost appliquée) avait pour objectif de déterminer la relation entre l'évolution de pH et la quantité de compost appliquée pour chaque modalité d'apport de fertilisant dans le but de mettre en évidence leurs modifications à travers le temps et notamment leur liaison avec l'atténuation de l'effet acidifiant du sulfate d'ammonium (Tableau 6).

Tableau 6. Evolution de pH suivant les doses de compost appliquées pour chaque modalité d'apport de fertilisant durant les 3 années d'expérimentation

PARCELLES	Dose de sulfate d'ammonium appliquée (kg/ha)	Dose de compost appliquée (t/ha)	Année 2016 1 ^{er} essai	Année 2017 2 ^{ème} essai	Année 2018 3 ^{ème} essai	Gain/perte en pH après 3 années d'essais	Probabilité	ρ	Coefficient de Pearson R ²
			pH	pH	pH	pH			
PARCELLES TRAITÉES EXCLUSIVEMENT PAR SULFATE D'AMMONIUM									
T _{SA295}	295	0	5,57	5,34	5,15	-0,42			
T _{SA375}	375	0	5,53	5,23	4,90	-0,63	99,97%	0,02	99,80
T _{SA590}	590	0	5,2	4,73	4,10	-1,10			
PARCELLES TRAITÉES DE CONCERT AVEC SULFATE D'AMMONIUM ET COMPOST									
T _{SA295/C5}	295	5	5,69	5,6	5,55	-0,14	95,00%	0,05	98,30
T _{SA295/C10}		10	5,81	5,83	5,85	+0,04			
T _{SA295/C15}		15	5,91	6	6,32	+0,41			
T _{SA295/C20}		20	6,17	6,5	6,8	+0,63			
T _{SA375/C5}	375	5	5,65	5,61	5,46	-0,19	94,00%	0,06	97,20
T _{SA375/C10}		10	5,77	5,75	5,72	-0,05			
T _{SA375/C15}		15	5,9	6	6,1	+0,2			
T _{SA375/C20}		20	6,13	6,46	6,65	+0,52			
T _{SA590/C5}	590	5	5,4	5,07	4,68	-0,72	88%	0,12	90,3
T _{SA590/C10}		10	5,45	5,17	4,8	-0,65			
T _{SA590/C15}		15	5,57	5,53	5,15	-0,42			
T _{SA590/C20}		20	5,9	5,7	5,90	0,00			

D'une manière générale, l'application de compost à raison d'une dose annuelle de 5 t/ha permet d'atténuer jusqu'à 34,00 % l'effet acidifiant du sulfate d'ammonium appliqué à raison d'une dose annuelle de 590 kg/ha au bout de la 3^{ème} année d'essai. En effet, la chute de pH enregistré au bout de la 3^{ème} année d'essai par rapport à sa valeur initiale (année 1 de l'essai) était de l'ordre de 1,10 unité pour les parcelles T_{SA590} alors que cette chute de pH par rapport à la valeur initiale (année 1) était de l'ordre de de 0,72 unité pour les parcelles T_{SA590/C5}. Avec cette même dose de compost (5 t/ha/an), l'effet tampon était de plus de 60 % (66,66 % plus exactement) notamment pour les parcelles traitées avec une dose plus faible en sulfate d'ammonium à raison de 295 kg/ha/an. En outre, au bout de la 3^{ème} année d'essai, il a été observé une chute de pH de l'ordre de 0,42 unité dans les parcelles T_{SA295} traitées uniquement avec le sulfate d'ammonium alors que cette chute de pH était de l'ordre de 0,14 unité dans les parcelles T_{SA295/C5}, c'est-à-dire les parcelles recevant simultanément une dose de 295 kg/ha de sulfate d'ammonium et 5 t/ha de compost.

L'usage indépendant de sulfate d'ammonium seul entraîne bien évidemment un effet acidifiant les sols agricoles. Plus la dose de sulfate d'ammonium appliquée est importante, plus la chute de pH l'est aussi notamment au bout de la 3^{ème} d'essai consécutif. Cette chute de pH des sols est significativement corrélée avec la dose de sulfate d'ammonium appliquée avec un coefficient de corrélation de Pearson R²=99,80. Ce coefficient est significatif à la probabilité de 99,97 % ($\rho = 0,02$).

Par ailleurs, les coefficients de corrélations de Pearson obtenus au bout de la 3^{ème} année d'étude pour les parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium et le compost étaient respectivement de R²=98,3 pour les parcelles T_{SA295/C5}, T_{SA295/C10}, T_{SA295/C15} et T_{SA295/C20} (probabilité très significative et supérieure à 95 % ($\rho = 0,050$)); de R²= 97,20 pour les parcelles T_{SA375/C5}, T_{SA375/C10}, T_{SA375/C15} et

T_{SA375/C20} (probabilité très significative et supérieure à 94 % ($\rho = 0,060$)); et de R²= 90,30 pour les parcelles T_{SA590/C5}, T_{SA590/C10}, T_{SA590/C15} et T_{SA590/C20} avec probabilité significative de 88 % ($\rho = 0,12$).

L'application de compost permet donc de redresser le pH du sol des parcelles traitées avec le sulfate d'ammonium. De façon globale, la corrélation entre les doses cumulatives de compost appliquées et la variation de pH donne une probabilité significative supérieure à 94,00 % ($\rho = 0,060$) au bout de la 3^{ème} année d'essai pour l'ensemble des parcelles traitées à la fois par le sulfate d'ammonium et le compost.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats de l'étude ont montré que l'usage combiné de sulfate d'ammonium/compost permet d'obtenir un rendement agricole élevé. L'apport conjoint à raison de 295 kg/ha de sulfate d'ammonium et de 5 t/ha de compost permet d'obtenir un rendement en paddy de l'ordre de 10 t/ha dès la première année d'essai.

En effet, le compost d'alambics de brousse permet d'améliorer la performance agronomique du sulfate d'ammonium. Aussi, les essais expérimentaux réalisés ont confirmé le pouvoir tampon de ce type de compost, particulièrement dans l'atténuation de l'effet acidifiant du sulfate d'ammonium sur les sols agricoles. L'apport annuel de 5 t/ha de compost permet d'élever le pH du sol de l'ordre de 0,12 unité par rapport au traitement témoin. En revanche, l'apport du compost à la dose de 20 t/ha permet d'augmenter le niveau de pH au-delà de 0,6 unité par an. De toute évidence, plus l'apport en compost est important, plus l'effet tampon escompté est perceptible. Cet effet tampon est dû principalement à la présence dans ce compost de brousse des bases échangeables essentielles comme le calcium (CaO avec une teneur plus de 1,1% de PB) et le magnésium (MgO) en quantité élevée (2,4% de PB). En plus, il ne faut pas non plus oublier que l'apport répété de compost sur une même parcelle permet à long une nette augmentation du taux de la matière organique du sol. Cette augmentation du taux de la matière organique du sol entraînera une amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol agricole, donc la fertilité du sol.

Références

- Ambatovy, 2012. *Rapport de développement durable*, 52 p.
- Blondel D., 1967. Importance réelle des pertes par volatilisation de l'ammoniaque en sol sableux (Dior). In: *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*. IRAT(ed). Tananarive 10-25 Nov. 1967 Tome I: 500-504.
- Bouchy C., 1973. Essai de fertilisation organo-minérale. Résultats après dix années de culture continue Mais-

- Cotonnier en Côte d'Ivoire. *Coton. Fibres Trop.*, 28, 3, 343-364.
- Boyer J., 1978. *Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides*. ORTSOM. Initiations - documentations techniques N° 35, 176 p.
- Celton J., Roche L. & Velly J., 1973. Acidité du sol et chaulage. *L'Agron. Tropic.*, 28, 2, 123-130.
- Champion J., Dugain F., Dommergues Y. & Maingnien R., 1958. Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée Française. *Fruit*, 13, 9-10, 415-462.
- CIRAD-Madagascar, 2007. *La variété poly-aptitudes SEBOTA- Fiche Technique*, 7 p.
- Dugain F., 1959. Le sulfate d'ammoniac dans le sol en culture bananière de bas fond. *Fruits*, 14,4, 163-169.
- Fauck R., Moureaux C. & Thomann Ch., 1969. Bilans de l'évolution des sols de Sefa (Casamance Sénégal) après 15 années de culture continue. *L'Agron. Tropic.*, 3, 263-301.
- Forster H.L., 1970. Liming continuously cultivated soils in Uganda. *East Afric. Agric. and For. J.*, 36, 1: 58-69.
- Marc L., 2001 La fertilisation minérale du riz. Fascicule, 6, 18-22.
- Mbonigaba M.J.J., 2007. *Etude de l'impact des composts à base de biomasse végétale sur la dynamique des indicateurs physico-chimiques, chimiques et microbiologiques de la fertilité des sols : application sur trois sols acides tropicaux du Rwanda*. Thèse de doctorat, FUSAGx, Gembloux, 243 p.
- Mze S.P., 2008. *Influence d'apports en matières organiques sur l'activité biologique et la disponibilité du phosphore dans deux sols de la région des grands lacs d'Afrique*. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, 240 p.
- Norme ISO 1390, 2006. *Qualité du sol – Détermination du pH*, 5 p.
- Parkinson R.J., Fuller M.P. & Groenhof A.C., 1999. An Evaluation of greenwaste compost for the production of forage maize (*Zea mays* L.). *Compost Sci. Util.*, 7(1), 72-80.
- Velly J., 1974. Observations sur l'acidification de quelques sols à Madagascar. *L'Agron. Tropic.*, 29(12) 1249-1262.