

Analyse des effets du phosphogypse et du fumier sur la salinité de la cuvette de Ndiol dans le Delta du fleuve Sénégal

Tégaye DIOP^{1*}, Ramatoulaye NDIAYE¹, Seydou Alassane SOW² et Djibrirou Daouda BA²

¹ *Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Laboratoire Sol et Plante de l'ISRA de Saint-Louis, BP 240 Saint-Louis, Sénégal*

² *Université Gaston Berger, Département de Géographie, Laboratoire Leïdi, Dynamiques des Territoires et développement, BP 234 Saint-Louis, Sénégal*

* Correspondance, courriel : gaytima@yahoo.fr

Résumé

Les terres du Delta du fleuve Sénégal sont pour la plupart affectées par la salinité. Cette salinisation est devenue une contrainte majeure qui est souvent à l'origine des abandons des terres cultivables et de la diminution des rendements. L'objectif de cet article est d'étudier à travers des essais en plein champ, des stratégies de récupération des sols rizicoles affectés par la salinité. Des amendements au phosphogypse, fumier ou combinés ont été effectués, suivant six traitements : (1) Témoin sans apport d'amendement; (2) Phosphogypse à 0,5T / Ha ; (3) Phosphogypse à 1T / Ha ; (4) Fumier 10 T / Ha ; (5) Fumier 10 T / Ha + Phosphogypse à 0,5T / Ha ; (6) Fumier 10 T / Ha + Phosphogypse à 1T / Ha. Les résultats montrent que les combinaisons phosphogypse+fumier ont permis d'obtenir une meilleure réduction de la salinité, suivi des parcelles avec le traitement phosphogypse seul, et des parcelles au traitement avec fumier et enfin les témoins qui ont subi une plus faible réduction de la salinité. L'utilisation de la combinaison de ces deux amendements pourra permettre aux agriculteurs de restaurer les sols affectés par la salinité à un niveau tolérable aux cultures irriguées cultivées dans le Delta du Fleuve Sénégal.

Mots-clés : *Delta du fleuve Sénégal, salinité, phosphogypse, fumier.*

Abstract

Analysis of the effects of phosphogypsum and manure on the salinity of the Ndiol basin in the Senegal River delta

Most of the Senegal River Delta soils are affected by salinity, which becomes a major constraint leading to the abandonment of arable land, and crop yield decreasing. The objective of this article is to study through a field experiment strategies to reclaim salt affected soil. Six application of phosphogypsum, manure amendment or their combination have been tested on these trial : (1) a check without amendment; (2) Phosphogypse 0,5T / Ha ; (3) Phosphogypse 1T / Ha ; (4) manure 10 T / Ha ; (5) manure 10 T / Ha + Phosphogypse 0,5T / Ha ; (6) manure 10 T / Ha + Phosphogypse à 1T / Ha. The results show that the phosphogypsum + manure combinations has conducted to the best reduction in salinity, followed by plots with only phosphogypsum treatment, and finally plot treated with manure. The control has conducted to the lowest reduction in salinity. These two amendments can help farmers to reclaim or restore salt affected soil at a tolerant salinity level for cultivated crop in the Senegal River Delta.

Keywords : *Senegal River Delta, salinity, phosphogypsum, manur.*

1. Introduction

La salinisation des sols est l'une des contraintes les plus sévères dans les systèmes de production [1]. Au Sénégal l'origine des sels qui affectent les sols et les eaux des nappes phréatiques est essentiellement marine [2]. Elle résulte des différentes épisodes morpho-climatiques ayant succédées au Quaternaire, notamment la transgression Nouakchottienne (22 000-12 000 ans BP) [3]. Malgré les phases humides qui ont suivi cet épisode, les sols et la nappe phréatique sont donc restés salés, même si la salinité est demeurée nettement inférieure à celle que l'on connaît actuellement. En effet, la salinisation affecte plus de 1,7 million d'hectares au Sénégal sur les 3 800 000 Ha de terres cultivables selon LADA. Cette superficie était estimée environ à 1 million d'Ha dans les années 1980 [4], soit une augmentation de 700 000 Ha en moins de 30 ans [1]. Ils sont estimés à plus de 1 230 000 Ha alors que, les résultats de l'Institut National de Pédologie donnent un total de surfaces dégradées estimées à 996 947 Ha. Dans le delta du fleuve Sénégal (DFS), la dégradation des terres par salinisation est l'une des problématiques majeurs auxquelles sont confrontées les populations rurales. La pratique durable de la culture irriguée dans le DFS est sérieusement menacée par la salinisation des terres qui pousse à l'abandon de plusieurs périmètres aménagés [5]. La transgression Nouakchottienne a rendu les terres du Delta et la nappe salée jusqu'à nos jours (sels fossiles). Néanmoins, dans les années 1970, les épisodes répétés de sécheresse qui ont entraîné la baisse remarquable du niveau du fleuve Sénégal, ont entamé la seconde phase d'évolution et favorisé la remontée de l'eau salée dans le lit du fleuve à plus d'une centaine de kilomètres de l'embouchure [6].

Ce phénomène de remontée est à l'origine de la construction en 1986 du barrage de Diama pour freiner l'intrusion saline et développer l'agriculture irriguée. Cependant l'irrigation a certes des effets positifs avec l'augmentation des rendements des cultures irriguées, mais aussi des effets négatifs à travers la salinisation secondaire due aux mauvaises pratiques d'irrigation [7 - 13]. Ce phénomène, bien connu dans le Delta du fleuve Sénégal ne cesse de prendre de l'ampleur. A cet effet, plusieurs programmes ont été initiés pour contrer le mal et aider les populations à s'adapter. La récupération des sols salés grâce aux ouvrages anti-sel construits n'était pas durable car la salinisation se poursuivait souvent par capillarité. Celle entreprise avec les techniques biologiques bien qu'ayant des débuts prometteurs n'ont pas non plus donné dans la durée les résultats escomptés. La méthode de la double culture limite très grandement les périodes pendant lesquelles le sol est à nu et propice à des phénomènes de remontées capillaires lorsque le sol est asséché. Le drainage, qui consiste à évacuer les eaux excédentaires et les sels dissouts qui se trouvent à la surface et dans le sol pour permettre un meilleur développement végétatif, semblait apparaitre alors comme la solution idéale [14]. Mais très tôt, certains producteurs ont souligné les difficultés associées au drainage à cause de la pente quasi nulle dans le delta du fleuve [15]. Son application nécessite parfois de lourds investissements qui ne sont pas à la portée de la plupart des agriculteurs. De plus, cette méthode n'est pas jugée efficace sur les sols sodiques qui ont perdu leur structure et leur teneur en matière organique. Le présent travail a été entrepris pour évaluer les effets des doses du phosphogypse et du fumier sur : la conductivité électrique, le pourcentage de sodium échangeable et le pH. L'objectif de cet article est de montrer les effets du phosphogypse et du fumier sur la salinité de la cuvette de Ndiol située dans le delta du fleuve Sénégal (*Figure 1*).

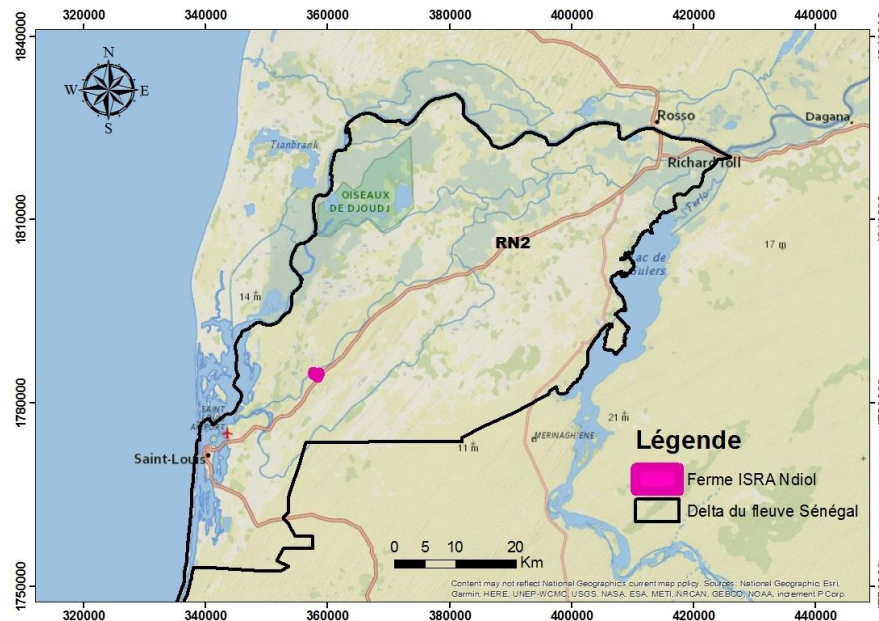


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2. Milieu, matériel et méthodes

2-1. Site

La zone d'étude est une station expérimentale de recherche nommée station Sergine Moustapha Bassirou Mbacké (SMBM) de l'ISRA et est située à Ndiol (16°14'N, 16°14'W). Elle a été créée en 1977 et est à 28 km de la région de Saint-Louis (delta du fleuve Sénégal). La station SMBM est alimentée en eau à partir du cours d'eau Lampsar et occupe une superficie de 112 Ha dont 40 Ha dans le *Diéri* et 72 Ha dans la cuvette où nous avons implanté l'essai avec un système d'irrigation gravitaire. Les 40 ha ont été clôturés et raccordés à une motopompe avec un système d'irrigation par aspersion. Le climat est de type sahélien se caractérisant par 3 saisons : *i*) la saison des pluies : de juillet à septembre, chaude et humide avec une humidité relative très élevée et des températures qui oscillent entre 23°C et 35°C. La hauteur moyenne annuelle des pluies tourne autour de 220 mm; *ii*) la saison sèche fraîche de mi-novembre à février avec des températures minimales de 15°C et une humidité relative très basse (vents forts, secs et relativement frais) et *iii*) la saison sèche chaude de mars à juin avec des minima remontant progressivement de 16 à 23°C - 24°C et des maxima s'élevant de 35 à 40°C pour cumuler en mai à plus de 40°C. Des maxima journaliers absolus de 45 à 46 °C peuvent être observés lors des coups de vent d'harmattan (vent d'est chaud et sec). L'humidité relative, d'abord très basse, augmente progressivement avec l'approche de la saison des pluies. On distingue 2 types de sols dans la station de Ndiol : *i*) sol du *waalo* (Hollaldé) est caractérisé par une forte teneur en argile comprise entre 50 et 75 % (sols argileux) où se font des essais de criblage de variétés de riz tolérantes à la salinité, au froid et des techniques de restauration des sols salés. L'essai a été installé sur ce type de sol ; *ii*) sol du *Diéri* (Foondé) est caractérisé par une faible teneur en argile, soit de 10 à 30 % (sol sableux) où s'effectuent des essais sur les cultures maraîchères, fruitières et sur les grandes cultures. La multiplication de semences de prébases (arachide, niébé, blé, mis) et la culture de *jatropha curcas* occupe la majeure partie des activités. La végétation est dominée par une savane arbustive qui est essentiellement composée des espèces *Acacia radiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Calotropis procera*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia seyal*, *Acacia senegal*, *Acacia nilotica*, *Combretum micranthum*. Ces espèces fournissent beaucoup de matières organiques (MO), ce qui contribue à l'entretien du potentiel de fertilité des sols. Un protocole méthodologique a été développé pour répondre à nos objectifs de recherche.

2-2. Matériel et installation de l'essai

2-2-1. Matériel

Le matériel est composé du phosphogypse et du fumier (bouse de vache).

2-2-1-1. Phosphogypse

Le phosphogypse est un sous-produit de la synthèse du phosphate de calcium fluoré et de l'acide sulfurique. Cette synthèse donne en même temps de l'acide phosphorique comme l'indique le **Tableau 1**. L'apport de phosphogypse, confère au sol une teneur en sulfate de calcium, suffisante pour flocculer l'argile, ce qui donne une structure plus facile à travailler. La restauration implique donc des sources de calcium qui vont remplacer le Na^+ dans le complexe. Le calcium écarte aussi progressivement le sodium du complexe absorbant, supprimant ainsi la cause du mal. Le phosphogypse a une composition très variable qui dépend dans une large mesure de la composition des phosphates naturels à partir desquels il est obtenu. Ce dernier constitue principalement une source de calcium (CaO) et de soufre (S). Il apparaît également que le phosphogypse contient des métaux lourds à faible concentration comme l'a rappelé [16] dans le contexte d'une gestion des sols salés dans la vallée du fleuve Sénégal. Il s'agit surtout du plomb (Pb), du cadmium (Cd) et du chrome (Cr). Ces métaux peuvent être toxiques pour les plantes, même à faible concentration. Comme source de calcium et de soufre le phosphogypse peut logiquement être considéré comme un produit avec une certaine valeur fertilisante. Cependant, en raison du rôle du calcium dans la conservation de la structure du sol le phosphogypse constitue un amendement pour les sols à problèmes tels que les sols acides avec un taux d'aluminium échangeable élevé ou les sols salés sodiques dont le complexe d'échange est largement dominé par le sodium (Na). En effet, dans ces derniers types de sols la présence de Na entraîne la dispersion des argiles et l'effondrement de la structure du sol. Le **Tableau** qui suit montre la composition du phosphogypse produit au Sénégal.

Tableau 1 : Composition du phosphogypse produit au Sénégal

Eléments	CaO%	SO ₃ %	P ₂ O ₅ %	F%	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Composition	32.0	18.0	1.7	1.20	Trace	Trace

2-2-1-2. Fumier

Convenablement employés, les fumiers contribuent à maintenir la fertilité et à enrichir la terre par l'apport d'azote, de carbone, de phosphore, de magnésium, et du calcium, augmente les substances nutritives disponibles, améliore la structure (la formation d'agrégats) et la capacité de rétention d'eau du sol. Le fumier de vache est le mélange composé de bouses de vache et de paille de litière. Les bovins étant de grands herbivores, le fumier de vache apporte beaucoup d'humus au sol, matière organique essentielle à la bonne croissance des plantes. Il permet de renforcer les terres légères et à les alourdir, d'améliorer la fertilité des sols, à contribuer à la qualité des récoltes, et à favoriser le rendement des cultures. Par ailleurs il n'est pas recommandé d'utiliser le fumier de vache trop frais car cela peut nuire à la santé humaine et à la croissance des plantes car la décomposition du fumier de vache induit une fermentation à très haute température (+ 55°C) susceptible de brûler les racines et les plantes c'est pour cela il faut au moins attendre 1 an avant d'épandre du fumier de vache.

Tableau 2 : Composition physico-chimique du fumier

pH	8,14
Conductivité électrique (us/cm)	239
Humidité en %	32
Carbone en %	135,2
Azote en ‰	16,1
Rapport C/N	8,38
Matières organiques en ‰	232,20
Phosphore ppm	643,01
CEC (meq/100 g)	111,11
Ca (meq/100 g)	10,83
Mg (meq/100 g)	2,48
Na (meq/100 g)	0,58
K (meq/100 g)	2,22

2-2-2. Installation de l'essai

Le dispositif mis en place est en blocs complets randomisés avec 6 traitements, un facteur étudié (amendement) et trois répétitions ou blocs. Les traitements sont les suivants :

- T0 : Témoin sans apport ;
- T1 : Phosphogypse à 0,5 t / ha 800 g par sous parcelle ;
- T2 : Phosphogypse à 1 t / ha dont 1600 g ;
- T3 : Fumier 10 t / ha dont 16kg ;
- T4 : Fumier 10 t / ha + T1 : Phosphogypse à 0,5 t / ha dont 16 kg fumier et 800 g PG ;
- T5 : Fumier 10 t / ha + T2 : Phosphogypse à 1 t / ha dont 16 kg fumier et 1600 g PG.

Une pré-irrigation, un labour, un offsettage simple, un planage à sec, une mise en boue suivie d'un planage humide ont été effectués sur les parcelles élémentaires. Les amendements ont été apportés deux jours avant la pré-irrigation et le repiquage. Les parcelles sont drainées puis irriguées tous les 5 jours et en moyenne 2 fois par semaine dans une lame d'eau de 5 à 10 cm. La salinité est suivie par des mesures de conductivité électrique à l'aide d'un conductimètre. Pour mieux évaluer les effets des différents traitements sur la salinité du sol, nous avons analysé des échantillons de sols.

2-2-3. Analyse au laboratoire et traitement de données

Des prélèvements de sols sur le site avant et après l'installation ont été faits puis les sols sont analysés au laboratoire d'analyse de sol et plante de l'ISRA. Les paramètres étudiés sont les suivants : pH et CE et ESP. Un suivi hebdomadaire est effectué sur la dynamique de la conductivité électrique sur les parcelles constituant l'essai. Pour cela nous avons fait des mesures *in situ* de la CE des eaux de drainage et d'irrigation tous les 5 jours. Cette mesure a été faite par un conductimètre de terrain. La saisie des données collectées a été effectuée par le tableur Excel pour constituer une base donnée numérique et diachronique. Le dispositif expérimental utilisé a produit des résultats.

3. Présentation des résultats

3-1. Évolution de la conductivité électrique sur l'horizon 0-15 cm

Il ressort des résultats présentés dans le **Tableau 3** que, après la première campagne (Contre Saison Chaude), une forte diminution de la conductivité électrique a été observée. Parmi les traitements, le T5 était le plus efficace dans la réduction de la conductivité électrique avec une valeur de 45 %, suivi de T1, T4, T3, T2, T0 avec respectivement 35 %, 32 %, 25 %, 18 % et 13%. Les résultats de la deuxième campagne ont également montré une diminution de la conductivité électrique (Hivernage). Le T2 présente la meilleure réduction avec 34 % suivi de T3, T4, T1, T0, T5 avec respectivement 21 %, 14 %, 11 %, 12 % et 11 %.

Tableau 3 : Situation de référence de la CE avant et après Horizon (0 - 15)

Traitements	AC	APC	(%)	ADC	(%)
T5	4,07	2,21	45%	1,95	11%
T4	3,41	2,29	32%	1,95	14%
T0	3,76	3,26	13%	2,84	12%
T1	3,42	2,22	35%	1,97	11%
T3	3,63	2,71	25%	2,14	21%
T2	3,75	3,07	18%	2,02	34%

3-2. Évolution de la conductivité électrique sur l'horizon 15-30cm

Il ressort des résultats présentés dans le **Tableau 4** qu'une forte réduction de la conductivité électrique a été observée en première campagne dans l'horizon de profondeur. La plus forte réduction a été obtenue avec le T5 avec 36 % suivi du T1 T4, T0, T2, T3 avec respectivement 28 %, 16 %, 15 %, 11 % et 5 %. Toutefois, on remarque une faible réduction de la conductivité électrique dans la deuxième campagne du fait de l'apport de calcium en première année qui aurait déjà permis d'évacuer une bonne partie du sel. Le T4 a eu plus de réduction avec 24 %, suivi du T1 T5 T2 T0 T3 avec 22 %, 21 %, 19 %, 10 % et 8 %. Le **Tableau 4** qui suit montre la situation de référence de la CE avant et après Horizon 15-30 cm.

Tableau 4 : Situation de référence de la CE avant et après Horizon 15 - 30 cm

Traitements	AC	APC	/%	ADC	/%
T5	4,71	2,98	36%	2,34	21%
T4	3,58	3	16%	2,26	24%
T0	4,35	3,66	15%	3,29	10%
T1	3,94	2,81	28%	2,17	22%
T3	3,37	3,19	5%	2,93	8%
T2	3,91	3,46	11%	2,77	19%

De plus, la réduction de la salinité a été plus ressentie au niveau de l'horizon superficiel qu'en profondeur où la nappe phréatique est peu profonde et très salée. Ce phénomène pourrait être expliqué par l'effet du lessivage des sels de surface vers les couches profondes. L'analyse de l'évolution de la conductivité est suivie par celle de la forme de la salinité. Le sodium échangeable (Na^+) et la capacité d'échange cationique (CEC) ont permis de calculer le pourcentage de sodium échangeable (ESP). Le pourcentage de sodium échangeable est le degré de saturation en sodium du complexe absorbant. On peut le calculer au moyen de la **Formule** suivante [2] :

$$ESP = \frac{Na + \frac{me}{100g} \text{ de sol}}{CEC \frac{me}{100g} \text{ de sol}} \times 100 \quad (1)$$

Na^+ étant la quantité de sodium échangeable et CEC la capacité d'échange cationique.

Les classes de salinité ont été obtenues en faisant la corrélation entre les seuils de conductivité électrique (4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et le pourcentage de sodium échangeable. Le **Tableau 5** nous renseigne sur la classification des formes de salinité.

Tableau 5 : Classification des formes de salinité

Classes	CE ($\mu\text{S}/\text{m}$)	ESP (%)
Sols salins	> 4000	< 15
Sodiques	< 4000	> 15
Salins-Sodiques	> 4000	> 15
Normal	< 4000	< 15

3-3. Évolution de la forme de salinité en fonction de l'ESP et de la CE du sol

Les résultats de la situation de référence avant la mise en place des essais et ceux notés après l'application des amendements (phosphogypse et fumier) montrent une évolution du pourcentage de sodium échangeable (ESP) et de la conductivité électrique. Et, par conséquent, une variation de la classe de salinité pour la plupart des traitements a été observée, excepté le traitement sans amendement et le traitement avec fumier. La plus forte réduction a été obtenue avec le T5 qui passe de salin-sodique à normal, suivi du T2 qui passe de sodique à normal. Le traitement T4 est passé de sodique à salin-sodique et de salin sodique à salin-sodique. Les traitements T3 et T0 ont obtenu la plus faible réduction de sodique à sodique.

Tableau 6 : Situation de référence de la forme de la salinité avant et après culture

Traitements	CEAV C	ESP AVANT %	Forme salinité avant culture	CEAP C	ESP APRES %	Forme salinité après culture
Phosphogypse 1 t + fumier 10 t	4.39	23.5	Salin-sodique	2.14	13.2	Normal
Phosphogypse 0,5 t + fumier 10 t	3.49	18.6	Sodique	2.10	17.8	Salin-sodique
Sans apport	4.05	22.3	Salin-Sodique	3.06	20.3	Salin-Sodique
Phosphogypse 0,5 t	3.68	17.3	Sodique	2.07	16.5	Salin-sodique
Fumier 10 t	3.5	19.4	Sodique	2.53	19.6	Sodique
Phosphogypse 1 t	3.83	21.3	Sodique	2.39	12.2	Normal

De même que la conductivité électrique et de l'ESP, le pH a aussi fait l'objet de mesures et suivis.

3-4. Évolution du pH du sol

Les résultats obtenus dans les **Tableaux 7 et 8** montrent que les valeurs du pH pour les deux profondeurs (0-15 cm et 15-30 cm) sont proches de la neutralité (6,5 et 7). Toutefois, les valeurs du pH ont tendance à augmenter avec la combinaison phosphogypse/fumier et diminuer avec les traitements avec phosphogypse et fumier seul et le traitement sans amendement. Cette variation pourrait être expliquée par l'effet de l'engrais et des amendements.

Tableau 7 : Situation de référence du pH Horizon 0-15 cm

Traitements	pH-Av C	pH-Ap 1	pH-Ap2
T5	6,5	6,88	7,03
T4	6,44	6,83	6,9
T0	6,32	6,75	6,73
T1	6,33	6,53	6,75
T3	6,29	6,42	6,74
T2	6,3	6,39	6,7

Tableau 8 : Situation de référence du pH Horizon 15-30 cm

Traitements	pH-Av C	pH-AP 1	pH-AP 2
T5	6,49	6,8	6,74
T4	6,47	6,68	6,68
T0	6,33	6,49	5,64
T1	6,24	6,65	5,8
T3	6,18	6,15	5,86
T2	5,96	6,21	6,15

La présentation des résultats est suivie d'une discussion.

4. Discussion

Les résultats de notre étude ont montré que la combinaison phosphogypse +fumier 10T a été la plus efficace dans la réduction de la salinité que le traitement avec phosphogypse seul. Nombre d'auteurs ont démontré que cette combinaison est plus efficace que celle avec gypse simple. [17] a rapporté que le gypse associé à l'amendement organique améliore la conductivité électrique (CE), et la forme de la salinité. Un constat similaire a été fait par [18] qui souligne que le gypse associé à d'autres amendements organiques est efficace pour diminuer la salinité des sols salins et sodiques. En effet, le phosphogypse, grâce à l'apport de calcium, permet de lutter contre les effets néfastes du sodium sur la structure du sol. Le calcium (Ca^{2+}) apporté au sol se fixe alors sur les colloïdes du sol, et à chaque fois qu'un ion calcium est fixé, il y'a un ion de sodium (Na^+) qui est évacué progressivement du sol pour passer en solution. Ceci permet d'évacuer le sodium lors du drainage. La présence de quantités importantes de calcium va permettre de continuer l'évacuation des ions de sodium au fil du temps et de restructurer le sol. C'est d'ailleurs un des arguments qui montre que le gypse seul permet de diminuer la conductivité électrique et la forme de salinité [19]. Toutefois, son effet pourrait être amélioré avec l'application des amendements organiques. En effet, le calcium agit sur la structure et sur sa stabilité en favorisant l'humification et la stabilisation du complexe argilo-humique. Le calcium joue aussi un rôle dans la fixation réversible du phosphore tandis que les fumiers en sont carencés. Alors, en plus de son rôle d'évacuateur de sodium, le calcium permet de supplémenter et de désodoriser fortement la litière en permettant d'éviter la prolifération de bon nombre de bactéries indésirables et vectrices de maladies. Les résultats de notre étude ont montré que le traitement avec du fumier seul participe à la réduction de la salinité. [20] a rapporté que même les amendements organiques seuls permettent de réduire la salinité du sol car le fumier contient beaucoup d'éléments nutritifs. Il contribue également à mobiliser du sodium. C'est ce qui explique son utilisation par les producteurs pour lutter contre la salinité [21]. Toutefois, avant de l'utiliser, il faut que le mélange ait commencé à se décomposer, surtout s'il est enfoui et son effet n'est pas immédiat. La minéralisation est très lente dans la mesure où nous sommes dans un milieu anaérobie. Notre

étude a montré que les traitements appliqués permettent de maintenir le pH du sol (neutralité), notamment avec les traitements phosphogypse 1T+ fumier 10T et phosphogypse 1T. En effet, le calcium joue un rôle chimique en régularisant le pH des sols et favorise les échanges d'ions. Des résultats similaires, montrant que le gypse n'a pas causé de changement sur des sols à pH neutres, ont été observés par [22]. Le phosphogypse est du sulfate de calcium (CaSO_4). Le calcium (Ca^{2+}) qui est issu de cette molécule va se fixer sur des ions négatifs du complexe argilo-humique. Le sulfate (SO_4) pourrait se lier au sodium (Na^+). En l'absence de drainage, le sulfate de sodium pourrait entraîner une chute du pH. Alors, la gestion de l'eau est primordiale dans la récupération des sols salés afin de maintenir le pH du sol dans la neutralité. L'application du fumier permet également d'augmenter le pH du sol acide [23] ; comme il peut aussi diminuer les valeurs de pH alcalins en raison d'acides organiques et inorganiques formés lors de la décomposition de la matière organique [24]. A cet effet, le fumier joue un rôle tampon.

5. Conclusion

Cet article s'inscrivait dans le but d'évaluer les effets du phosphogypse et du fumier sur la salinité. Les résultats obtenus ont montré que l'apport combiné du phosphogypse et du fumier dans le sol a permis : *i*) d'apporter du calcium et d'évacuer le sodium ; et *ii*) de réduire considérablement la salinité qui avait des effets indésirables sur le sol. Le phosphogypse a eu un effet considérable sur tous les traitements, mais le traitement T5 a obtenu le meilleur résultat comparé aux traitements T1 et T2 avec phosphogypse seul. L'apport de fumier seul (T3) a obtenu une réduction moins significative que le phosphogypse. Le témoin (T0) a obtenu une légère diminution avec le lessivage. En outre, contrairement à l'hivernage la réduction de la conductivité électrique a été plus importante en contre saison chaude. La salinisation impacte négativement sur les propriétés, physiques, chimiques et biologiques du sol [25]. I. La gestion des sols salin-sodiques exige des apports de phosphogypse et de la matière organique avec une gestion rigoureuse de l'eau et des sols dans le temps et l'espace.

Références

- [1] - H. IMANE, « Impact sur l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'Oueds », Mémoire de fin d'étude, Righ, (2012) 79 p.
- [2] - S. SADIO, « Pédogenèses et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum, Sénégal ORSTOM », Bondy, (1991) 269 p.
- [3] - MBOUP, « Changements socio-environnementaux et dynamique de la végétation aquatique envahissante dans le delta du fleuve Sénégal », Thèse de Doctorat unique, FLSH-UCAD, (2014) 230 p.
- [4] - S. NIANG, T. DIOP, C. A. T. FAYE, « Dégradation chimique des sols dans les systèmes de production du Sénégal : analyse des cas du Haut Saloum, du delta du Sénégal et du Gandiolais », *Revue de Géographie du laboratoire Leidi*, N°17 10 (2017) 246 - 266
- [5] - A. GNING, « Etude et Modélisation hydrogéologique des interactions Eaux et Surface-Eaux Souterraines dans un contexte d'agriculture irriguée du Delta du Fleuve Sénégal », Thèse de Doctorat de troisième cycle, Université de Liège et de Cheikh Anta Diop de Dakar, (2015) 259 p.
- [6] - M. DIACK, T. DIOP and R. NDIAYE, « Restoration of degraded Lands Affected by Salinization Process under Climate Change Conditions: Impacts on Food Security in the Senegal River Valley, *Springer International Publishing Switzerland*, (2015) 275 - 288
- [7] - L. A. RICHARD, "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Edit. US Department of Agricultural Handbook" n°60, Washington (USA), (1954) 160 p.

- [8] - P. C. RAHEJA, « Aridity and salinity (A survey of soils and land use) ». In. H. Boyko (ed.) *Salinity and Aridity, New Approaches to old Problems*. Dr. Junk publishers, Netherlands, (1966) 43 - 127 p.
- [9] - A. ARAR, « L'irrigation et le drainage dans leurs rapports avec la salinité et la saturation des sols par l'eau ». In FAO: la salinité, *Bull. frigo et Drainage*, N° 1 (1972) 98 - 125 p.
- [10] - M. M. ELGABALY, « Problèmes d'échantillonnage, d'analyse et de cartographie des sols salins ». In : FAO : la Salinité. Séminaire de Bagdad, *Bull. Irrig. Drain*, N° 7 (1972) 33 - 44 p.
- [11] - Y. LE BRUSQ et J. Y. LOYER, « Utilisation de l'informatique pour le contrôle de la qualité des eaux en domaine irrigué au Sénégal. Colloque 'Barrage en terre et développement des zones rurales en Afrique », Thiès, (1983)
- [12] - R. NDIAYE, "Contribution to Understanding Salt and Sodium Affected soils in the Senegal River Valley", *Geographic Information Sciences (GIS) : Proquest/UMI*, (2009)
- [13] - T. DIOP, « Les techniques de désalinisation de la Compagnie Sucrière Sénégalaise, impact sur l'environnement », Mémoire de Master, UFR des sciences économiques et de gestion, Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal, (2013) 85 p.
- [14] - O. H. KA, « Géomatique appliquée à l'étude des eaux souterraines dans la vallée du Fleuve Sénégal », Master. B.sc. Génie géologique Université du Québec INRS - Eau, (2000) 138 p.
- [15] - B. CISSE, « Les eaux de drainage des périmètres irrigués du Delta du Fleuve Sénégal : systèmes d'évacuation et qualité des eaux », Thèse troisième cycle de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, (2011) 310 p.
- [16] - J. P. NDIAYE, « Utilisation du phosphogypse dans les sols de la vallée alluviale du fleuve Sénégal »: Institut Sénégalais de Recherche Agricole, v, (1999)
- [17] - K. PROPAGAR, « Effect of soil Amendements on Reclamation of Saline-Sodic Soil », *Tropical Agricultural Ressearch*, Vol. 23 (2) (2012) 168 - 176
- [18] - M. ZIA, SABIR, A. GHAFOR. G. MURTAZA, « Effectiveness of sulphuric acid and gypsum for the reclamation of a calcareous saline-sodic soil under four crop rotations », *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193 (2007) 262 - 269
- [19] - D. MUHAMMAD, R. A. KHATTAK, « Wheat yield and chemical composition as influenced by integrated use of gypsum, pressmud and FYM in saline-sodic soil », *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 33 (2011)
- [20] - T. DIOP, « Dégénération des terres agricoles en milieu sahélien : Cartographie et Techniques de récupération des sols salés dans les périmètres rizicoles du Delta du Fleuve Sénégal », Thèse de Doctorat, Département de Géographie, Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal, (2017) 201 p.
- [21] - M. D. DIALLO, O. NDIAYE, M. MAHAMAT SALEH, A. TINE, A. DIOP and A. GUISSSE, "Etude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal)", *AfricanCrop Science Journal*, Vol. 23, N° 2 (2015) 101 - 111
- [22] - F. S. LAFAYETTE, L. FERNANDO, T. S. JOT, "Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in on Ultisol of the Coastal Tabelands", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 13 (2009) 836 - 839
- [23] - L. ONDRÁŠEK, J. CUNDERLÍK, « Effects of organic and mineral fertilisers on biological properties of soil under seminatural grassland ». *Plant, Soil and Environment*, 54 (2008) 329 - 335. (1984) 82 - 86
- [24] - G. GUIDI and J. E. HALL, « Effect of sewage sludge on the physical and chemical properties of soils », *J. Indian Soc. of Soil Sci.*, 29 (1984) 129 - 131
- [25] - S. DEKHINA, « Apport des SIG pour la Spatialisation de la salinité des sols irrigués en milieu aride (relation CE et fraction fine), Ain Benoui, Biska (Algérie) Laboratoire LAPA PEZA. Université de Batna, Algérie, (2010) 13 p.