

## **Influence de trois types d'amendements phosphatés sur le développement des algues et cyanobactéries planctoniques dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal.**

## **Influence of three types of phosphate amendment on the development of planktonic algae and cyanobacteria on the middle valley of Senegal river.**

Ba Ng.<sup>1\*</sup>, Noba K.<sup>(1)</sup>, Dieye M.<sup>2</sup>, Kane A.<sup>(1)</sup>, Mbaye M.S.<sup>(1)</sup>, & Ba A.T.<sup>(1)</sup>

### **Résumé**

L'influence de trois types d'amendement phosphaté (phospal, phosphogypse et mélange phosphogypse/phosphate tricalcique) sur la biomasse des algues et cyanobactéries planctoniques a été étudiée en suivant la concentration de la chlorophylle-a dans une rizière de la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Les résultats indiquent qu'en présence de phosphate la biomasse des algues et cyanobactéries planctoniques est nettement plus élevée par rapport au témoin non phosphaté. Cette biomasse est plus importante avec le phospal et le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique qu'avec le phosphogypse. Cette action stimulatrice du développement des algues et cyanobactéries planctoniques est plus importante pour le phospal que le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique au cours du 3<sup>e</sup> prélèvement. Pendant ce prélèvement, il a été noté un développement important des cyanobactéries marqué par l'apparition de fleurs d'eau. Après le 3<sup>e</sup> prélèvement, la croissance des algues et cyanobactéries planctoniques n'est plus soutenue, ce qui s'est traduite par la baisse de la biomasse durant le 4<sup>e</sup> prélèvement.

### **Mots clés :**

Biomasse, algues, cyanobactéries, amendement phosphate, plancton, Sénégal.

### **Summary**

The influence of three types of phosphate amendment (phospal, phosphogypsum and mixing phosphogypsum/tricalcium phosphate) on the biomass of planktonic algae and cyanobacteria was studied by following the concentration of chlorophyll-a in a rice field in the middle valley. The results indicate that, in the presence of phosphate, the biomass of planktonic algae and cyanobacteria is significantly higher compared to untreated phosphate. This biomass is more important with the phospal and mixing phosphogypsum/tricalcium phosphate as phosphogypsum. This stimulating action of planktonic algae and cyanobacteria is more important for the mixture phospal phosphogypsum/tricalcium phosphate in the 3rd sampling. For this sample, it was noted a significant growth of cyanobacteria marked by the appearance of flowers of water. After the 3rd sample, the growth of planktonic algae and cyanobacteria is more sustained, which resulted in the decrease of biomass during the 4th sampling.

### **Keywords:**

Biomass, algae, cyanobacteria, phosphate amendment, plankton, Senegal.

<sup>1\*</sup> **Correspondant : BA Ng.** : Laboratoire de Botanique et de Biodiversité, Dpt. de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal. Email : [bangans@yahoo.fr](mailto:bangans@yahoo.fr).

<sup>2</sup> Institut Sénégalais de Recherche Agricole, CRA/Saint Louis, B.P. 240 Sénégal.

## 1 Introduction

L'agriculture au Sénégal occupe plus de 70% de la population. Par la diversité des produits elle peut contribuer à la sécurité alimentaire. Toutefois ce secteur est confronté à un certain nombre de contraintes dont celles liées à la pauvreté des sols. En effet, les sols du Sénégal, à de rares exceptions près, sont carencés en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K). L'apport de chacun de ces éléments peut se faire soit sous forme organique ou minérale. En ce qui concerne le phosphore, au Sénégal les premiers essais de phosphatage minéral ont commencé en 1937 avec l'utilisation du phosphate de Cive à Matam. Par la suite, un essai fut conduit en 1962 à Richard Toll pour comparer des formes d'engrais phosphatés pouvant être utilisées en présence ou non de phosphate naturel produit par la Taïba (Ndiaye, [1]). Ce n'est qu'en 1988 qu'un programme national de phosphatage de fond a été initié. Toutefois, la mise en œuvre de ce programme s'est accompagnée d'une prolifération du phytoplancton et surtout de cyanobactéries (Ba *et al.*, [2]) dans la plupart des parcelles rizicoles de la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Cette prolifération du phytoplancton a eu des conséquences néfastes sur la croissance des jeunes plantes de riz du fait de la formation d'un écran de tapis végétal à la surface de l'eau (Roger *et al.*, [3]). Dans certains cas elle s'est traduite par la pourriture des racines de riz puis la mort des plantes, résultat d'une forte présence de cyanobactéries qui a empêché la sulfatoréduction (Janusiewicz, [4]).

Après avoir établi la composition spécifique des algues et cyanobactéries (Ba, [5] ; Ba *et al.*, [2]), il nous a paru nécessaire d'évaluer l'influence de 3 types d'amendements phosphatés sur le développement des algues et cyanobactéries planctoniques dans quelques rizières de la moyenne vallée du fleuve Sénégal.

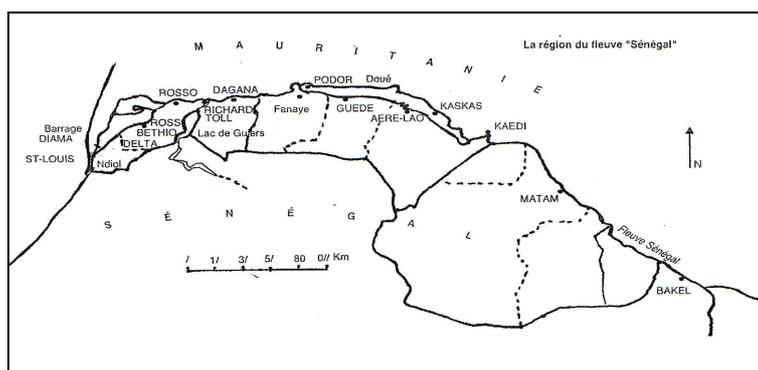
## 2 Site d'étude

Le site est situé à 250 km de St Louis à Fanaye Diéri au Nord du Sénégal à 16°32'N et 15°14'W. (Fig. 1). Cette zone appartient au climat de type sahélien caractérisé par l'insuffisance et la forte irrégularité annuelle et interannuelle des précipitations, lesquelles varient autour de 350 mm. Le potentiel d'ensoleillement y est élevé entraînant une forte évaporation d'environ 3060 mm (Diouf & Bousso, [6]). La température moyenne annuelle est de 27°C avec un maximum de 44°C observé en juin et un minimum de 11°C en décembre. Les sols sont hydromorphes, argileux lourds (Hollaldé, 60% d'argile) caractérisés par un pH acide et une faible perméabilité. Du point de vue des teneurs en éléments chimiques, les caractéristiques des sols Hollaldé sont représentées dans le tableau I.

**Tableau I** : Composition chimique des sols Hollaldé

Eléments chimiques	Teneur en	
	0 à 20 cm	20 à 40cm
Matière organique	0,74	0,62
Azote total	0,028	0,028
Phosphore total	0,15	0,25
Potassium total	0,56	0,65

Source ADRAO



**Figure 1** : Localisation du site d'expérimentation

Ces données montrent que les teneurs en azote total et en phosphore total sont faibles.

### 3. Méthodologie

#### 3-1 Facteur étudié

Le principal facteur étudié est l'amendement phosphaté apporté au niveau des parcelles élémentaires sous forme de phosphogypse, de mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et de phospal (Tableau II). En effet, ces amendements permettent de neutraliser d'une part le pH et d'autre part le gypse permet d'éviter une forte concentration en Ca<sup>2</sup>. En plus de ces traitements, un témoin absolu (T0, sans apport de nutriments phosphatés) et un témoin relatif (Te, avec apport d'engrais phosphaté) ont été choisis.

**Tableau II** : Les différents traitements avec apport au sans apport de nutriments

T0	Témoin absolu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sans apport d'engrais phosphaté (seulement N &amp; K)</li> <li>Sans apport d'amendement phosphaté</li> </ul>
Te	Témoin relatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apport d'engrais NPK (Azote-Phosphore-Potassium)</li> <li>Sans apport d'amendement phosphaté</li> </ul>
T1	Phosphogypse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apport d'engrais NPK</li> <li>Apport de 1000 kg/ha de phosphogypse</li> </ul>
T2	Mélange phosphogypse/phosphate tricalcique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apport d'engrais NPK</li> <li>Apport de 400 kg/ha de mélange</li> </ul>
T3	Phospal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apport d'engrais NPK</li> <li>Apport de 400 kg/ha de phospal</li> </ul>

L'apport de fumure minérale constitue un moyen pour restituer au sol les éléments nutritifs exportés par la plante. Dans les rizières au Sénégal, les engrais NPK sont apportés sous la combinaison de 6-20-10.

Les caractéristiques des trois types d'amendement phosphaté utilisés selon la Société Sénégalaise des Phosphates de Thiès sont présentées dans le tableau III.

**Tableau III** : Composition chimique des trois types d'amendement phosphaté

	Phosphogypse	Phosphate tricalcique	Phospal
CaCO <sub>3</sub>	32%	0%	0%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,70%	37%	34%
CaO	0%	44 à 48%	0%
SO <sub>4</sub>	16 à 18%	0%	0%

Il ressort de ce tableau que le phospal est constitué principalement de phosphate. Pour les deux autres amendements, en plus du phosphate on note la présence de CaCO<sub>3</sub> et de SO<sub>4</sub> pour le phosphate tricalcique et de CaO pour le phosphogypse. Par ailleurs les teneurs en phosphate sont plus élevées chez le phosphate tricalcique et le phospal (respectivement 37% et 34%) alors qu'elles sont faibles chez le phosphogypse.

Les trois types d'amendement phosphaté, correspondant aux fumures de redressement, ne sont apportés dans les parcelles élémentaires qu'une seule fois pour toute la durée de l'essai.

#### 3-2 Dispositif expérimental

L'essai a été conduit sur une grande parcelle de 250 m<sup>2</sup> répétée 8 fois. Chaque grande parcelle est subdivisée en 5 parcelles élémentaires de 25 m<sup>2</sup> (Fig. 2) repiquées de riz.

	1	2	3	4	5	6	7	8
T2	T3	Te	T2	T3	T2	T2	T2	T2
T0	T2	T1	T0	T2	T1	T0	Te	
T1	T0	T3	T3	Te	Te	Te	T3	
T3	T1	T2	Te	T1	T3	T3	T0	
Te	Te	T0	T1	T0	T0	T1	T1	

**Figure 2** : Répartition des différents types d'amendement phosphaté et des témoins au niveau des grandes parcelles

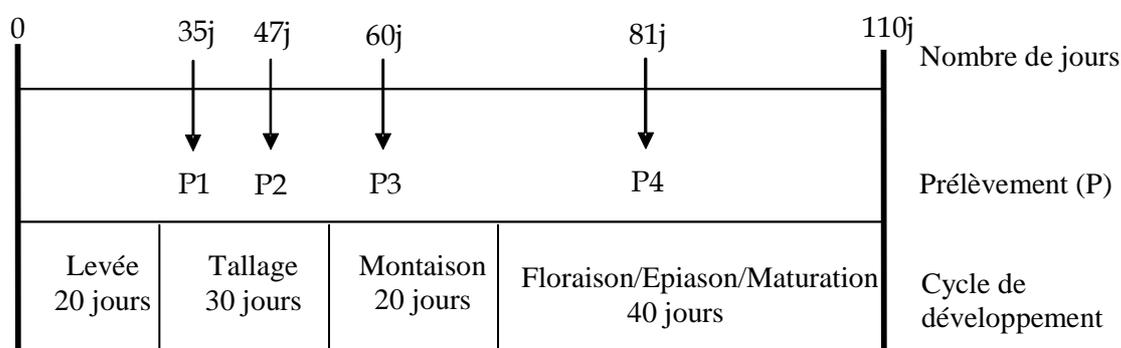
#### 3-3 Echantillonnage

L'étude a été effectuée à partir de prélèvements calés sur le cycle cultural de la variété de riz Sahel 108 de 109 jours de durée de cycle. Le riz est caractérisé par 5 stades de développement : la levée, le tallage, la montaison, la floraison/épiaison et la maturation (Tableau IV).

**Tableau IV** : Durée des différents stades de développement du riz (Roger et al. [3])

Durée (jour)	Stade de développement
20	Levée
30	Tallage
20	Montaison
40	Floraison/Épiaison-Maturation

Les prélèvements se sont déroulés de la fin du mois de juillet 1999 à la mi-septembre de la même année correspondant à la période allant du tallage jusqu'au début de la floraison/épiaison-maturation (Fig. 3).

**Figure 3** : Les différentes dates de prélèvement au cours du cycle culturale du riz

Les prélèvements ont été réalisés grâce à la technique de récolte décrite par Roger *et al.*, [3], représentant un mode de prélèvement global. Selon ces auteurs, la zone colonisée par les algues et cyanophytes planctoniques est représentée par l'interface eau-sol, l'eau de submersion et l'interface eau-air. Aussi, les prélèvements effectués dans les parcelles élémentaires ont consisté à plonger verticalement dans la lame d'eau de 15 cm de hauteur un tube cylindrique en PVC de 2 cm de diamètre et de 30 cm de longueur. La colonne d'eau contenue dans le tube est reprise en bouchant le tube à sa partie supérieure. Dans chaque parcelle élémentaire, 5 prélèvements ont été réalisés au hasard puis réunis en des échantillons composites dans des flacons de 250 ml. Les échantillons ont été conservés dans des enceintes contenant de la glace. Au total 160 échantillons ont été prélevés au cours de l'étude.

### 3-4. Paramètres étudiés

L'estimation de la biomasse des algues et cyanobactéries planctoniques a été réalisée par le dosage de la chlorophylle-a. C'est une méthode colorimétrique dont le principe est basé sur la mesure de la densité optique. Après une filtration des échantillons sur filtre GF/F de 25 mm de diamètre, la chlorophylle-a a été extraite des espèces phytoplanctoniques à froid (4°C) pendant 12 heures dans du méthanol 90% (Dia *et al.*, [7]). La solution a été mise à centrifuger pendant 10 minutes à la vitesse de 2500 tours par minute. Le

surnageant est ensuite récupéré dans un flacon pour la lecture de la densité optique au spectrophotomètre (Beckman DU 640) aux longueurs d'onde 650 et 665 nm. La concentration de chlorophylle-a est déduite grâce à la formule de Holden (Dia, [8]) :

$$[\text{Chla}] \mu\text{g/l} = 25,5 * \text{DO}_{665} + * \text{DO}_{650}$$

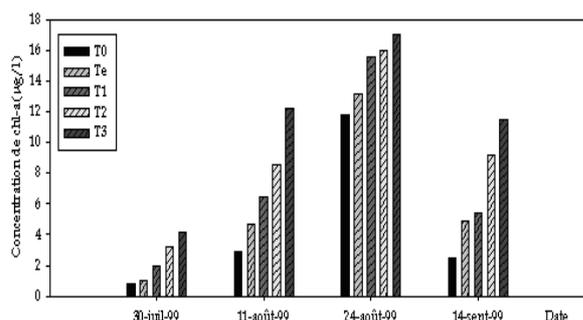
où : [Chla] est la concentration de chlorophylle-a et DO est la densité optique.

### 3-5 Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce à une ANOVA à 3 facteurs avec un risque de 5% en utilisant le logiciel Sigma Stat 2.0. En cas de différence significative, la séparation des moyennes a été réalisée par le test de Bonferroni.

## 4. Résultats

La figure 4 indique l'effet des différents traitements sur la concentration de la chlorophylle-a.



**Figure 4 :** Concentration moyenne de chlorophylle-a suivant les traitements au cours des 4 prélèvements

L'analyse statistique montre qu'il existe un effet traitements (ANOVA,  $p = 0,001$ ) au cours des quatre prélèvements et les résultats de la comparaison deux à deux des moyennes de concentration de chlorophylle-a sont représentés dans le tableau V. Lorsque la probabilité est supérieure à 0,05, il n'existe pas de différence significative de concentration de chlorophylle-a entre les traitements. Si la probabilité est inférieure ou égale à 0,05, la différence de concentration de chlorophylle-a entre les traitements est significative et la séparation des moyennes a été réalisée par le test de Bonferroni.

Les résultats obtenus au cours du premier prélèvement (P1) indiquent que :

- les concentrations de chlorophylle-a mesurées ne sont pas significativement différentes et restent quasi identiques entre le témoin absolu, le témoin relatif et le phosphogypse (ANOVA,  $p = 0,028$  ;  $p = 0,12$ ) ;
- il n'existe pas non plus de différence significative entre les concentrations de chlorophylle-a mesurées au sein des parcelles traitées au mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et au phospal (ANOVA,  $p = 0,93$ ) ;
- une différence significative, des concentrations de chlorophylle-a, existe entre le groupe de traitement témoin absolu, témoin relatif et phosphogypse et le groupe de traitement mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et phospal (Tableau ANOVA) avec des moyennes respectives de  $1,04\mu\text{g/l}$  et  $3,73\mu\text{g/l}$ .

Il apparaît ainsi qu'il existe deux groupes de traitement : un premier groupe formé du témoin absolu, du témoin relatif et du phosphogypse et un deuxième groupe constitué du mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et du phospal.

**Tableau V :** Tableau d'ANOVA

Prélèvement	Traitement	T0	Te	T1	T2	T3
<b>P1</b>	T0		0,28	0,12	0,044	0,034
	Te	0,28		0,91	0,039	0,031
	T1	0,12	0,91		0,12	0,022
	T2	0,044	0,039	0,12		0,93
	T3	0,034	0,031	0,022	0,93	
<b>P2</b>	T0		0,045	0,036	0,021	0,015
	Te	0,045		0,32	0,048	0,031
	T1	0,036	0,32		0,29	0,038
	T2	0,021	0,048	0,29		0,18
	T3	0,015	0,031	0,18	0,018	
<b>P3</b>	T0		0,37	0,033	0,041	0,02
	Te	0,37		0,03	0,047	0,039
	T1	0,033	0,03		0,78	0,046
	T2	0,041	0,047	0,78		0,05
	T3	0,02	0,039	0,046	0,05	
<b>P4</b>	T0		0,43	0,35	0,039	0,047
	Te	0,43		0,064	0,049	0,023
	T1	0,35	0,064		0,034	0,026
	T2	0,039	0,049	0,034		0,27
	T3	0,047	0,023	0,026	0,27	

Au cours du 2<sup>e</sup> prélèvement (P2) les résultats montrent que :

- le témoin absolu présente des concentrations de chlorophylle-a plus faibles et significativement différentes des autres traitements dans les parcelles élémentaires (Tableau ANOVA) ;
- le témoin relatif et le phosphogypse ne présentent pas de différence significative de concentration de chlorophylle-a (ANOVA,  $p = 0,32$ ) alors que le témoin relatif présente une différence significative avec les autres traitements (ANOVA, Bonferroni,  $p = 0,048$  et  $p = 0,031$ ) ;
- le phosphogypse ne présente pas de différence significative de concentration de chlorophylle-a avec le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique (ANOVA,  $p = 0,29$ ) mais son effet est significativement différent de celui du phospal (ANOVA,  $p = 0,038$ ) ;
- enfin le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et le phospal ne présentent pas de différence significative (ANOVA,  $p = 0,18$ ).

Il ressort de ces résultats que les concentrations de chlorophylle-a sont plus élevées au niveau des parcelles élémentaires ayant reçu un apport de phosphore que celles qui ne l'ont pas reçu.

En ce qui concerne le 3<sup>e</sup> prélèvement (P3), les résultats obtenus montrent que :

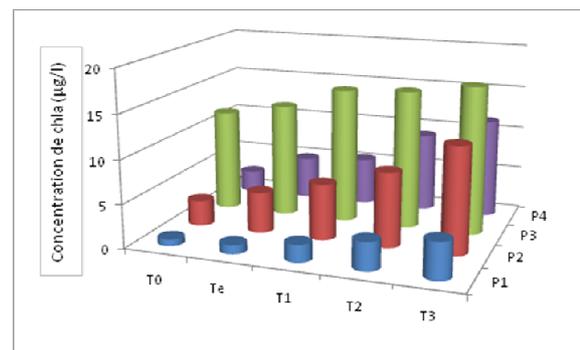
- le témoin absolu et le témoin relatif ne sont pas significativement différentes entre elles (ANOVA,  $p = 0,37$ ) ;
- ce premier groupe de traitements présente des différences significatives avec un deuxième groupe formé par les trois types d'amendement phosphaté (Tableau ANOVA) ;
- entre les trois types d'amendement phosphaté, le phospal présente une différence significative avec le phosphogypse et le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique (Tableau ANOVA).

Il apparaît ainsi que les amendements phosphatés stimulent le développement des algues et cyanobactéries planctoniques. Cette stimulation est plus importante avec le phospal que les deux autres amendements phosphatés.

Enfin, au cours du quatrième prélèvement (P4), les concentrations de chlorophylle-a mesurées avec les traitements témoin absolu, témoin relatif et phosphogypse ne sont pas significativement différentes (Tableau ANOVA). Ces concentrations sont inférieures à celles obtenues avec les traitements mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et le phospal. Entre ces deux derniers traitements, il n'existe pas de différence significative (ANOVA,  $p = 0,27$ ) de concentrations de chlorophylle-a.

Il ressort de ces résultats que la stimulation du développement des algues et cyanobactéries planctoniques est plus soutenue avec le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et le phospal que le phosphogypse seul.

En ce qui concerne l'évolution temporelle de la biomasse des algues et des cyanobactéries planctoniques au sein des parcelles élémentaire, elle est caractérisée pour tous les traitements par la même allure (Fig. 5).



**Figure 5** : Evolution de la concentration de chlorophylle-a des différents traitements au cours des 4 prélèvements

Les concentrations augmentent du premier prélèvement jusqu'au troisième prélèvement où elles sont optimales. Par la suite, ces concentrations baissent au cours du quatrième prélèvement. Le

développement important des algues et cyanobactéries planctonique s'est traduit au cours du 3<sup>e</sup> prélèvement par l'apparition de fleur d'eau à la surface des rizières.

L'action des amendements phosphatés sur le développement des algues et cyanobactéries planctoniques est maximale pour tous les traitements au cours du troisième prélèvement à partir duquel leur effet diminue.

## 5. Discussion

Le suivi de la croissance des algues et cyanobactéries planctoniques a montré un effet positif des amendements phosphatés sur l'augmentation de la biomasse de ces microorganismes.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Paloheimo & Zimmerman, [9] qui ont montré, au cours d'expériences de fertilisation par divers éléments sous des formulations diverses, qu'un apport en azote exerçait peu ou pas d'effet sur la production primaire alors que une petite quantité de phosphore suffit à stimuler la production d'une façon considérable. Ces résultats corroborent également les travaux de la FAO, [10] montrant que les faibles teneurs en phosphore limitent le développement des algues et cyanobactéries planctoniques. En effet, les sols du Sénégal sont pauvres en phosphore assimilable dont la teneur a été évaluée à 0,1% (Ndiaye, [1]). Il en est de même pour les eaux douces naturelles où le phosphore est l'élément pour lequel la demande des algues et des végétaux pour leur croissance est la moins bien satisfaite (Lemercier, [11]).

Il ressort également des résultats que le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique et le phospal stimuleraient plus le développement des algues et cyanobactéries planctoniques que le phosphogypse seul. Cette forte stimulation peut être liée à la différence de teneur en phosphore des amendements utilisés et à la capacité de fixation du phosphore sur certains éléments du sol. En effet, le mélange phosphogypse/

phosphate tricalcique et le phospal ont des teneurs en phosphore plus élevées, respectivement de 37% et 35%, que celle du phosphogypse qui n'en contient que 1,7%. En outre, les sols Hollaldé sont des sols hydromorphes caractérisés par une forte capacité de fixation vis à vis du phosphore (Diouf *et al.*, [12]) par rapport aux autres types de sols.

Comparé au mélange phosphogypse/phosphate tricalcique, le phospal présente une action stimulatrice plus importante notamment au cours du troisième prélèvement. Cette différence peut être expliquée par la variation au cours du temps de la disponibilité du phosphore. Le phosphogypse et le phosphate tricalcique sont en effet caractérisés par la présence de carbonate de calcium et d'oxyde de calcium qui sont des éléments très solubles et dont la dissolution augmente le pH (Silverman *et al.*, [13]). Cette hausse du pH peut entraîner d'une part la réduction de la dissolution des phosphates naturels (Anderson *et al.*, [14] ; Robinson *et al.*, [15]) et d'autre part favoriser la fixation du phosphore sous forme de phosphate de calcium (Novozamsky *et al.*, [16]).

Les fortes biomasses marquées par l'apparition de fleurs d'eau particulièrement au cours du troisième prélèvement peuvent être également liées, en plus de la disponibilité du phosphore, à d'autres facteurs comme les températures élevées et la stabilité de la colonne d'eau qui sont des conditions favorables au développement des cyanobactéries (Richardson *et al.*, [17], Dokulil *et al.*, [18] ; Oliver *et al.*, [19]). En effet, Robarts *et al.*, [20] ont montré que les cyanobactéries possèdent un optimum de croissance à des températures élevées (autour de 25°C) bien qu'elles soient capables de tolérer et de survivre à des températures bien plus basses (Briand, [21]). En outre, avec la présence de pieds de riz, la colonne d'eau est moins soumise à l'action des vents. Cette stabilisation de la colonne d'eau provoque un remplacement des espèces incapables de se maintenir dans

la colonne d'eau comme les diatomées présentes au cours des périodes de brassage et de crue, par des espèces comme les cyanobactéries (Jones *et al.*, [22]). Ces dernières, grâce aux vacuoles gazeuses qu'elles contiennent, se maintiennent à la surface de la colonne d'eau pour optimiser leur activité photosynthétique. Ces observations confirment les travaux de Reynolds, [23] qui a montré que lorsque certaines conditions sont réunies comme la stabilité de la colonne d'eau, l'éclairement, les températures élevées associées à des niveaux élevés d'éléments nutritifs d'origine anthropique ou naturelle, certaines espèces peuvent proliférer de manière significative.

La diminution de la biomasse, notée au cours du 4<sup>e</sup> prélèvement, peut être due à une baisse de l'activité photosynthétique. En effet le développement végétatif important du riz, en empêchant la pénétration de la lumière, entraîne une baisse de la quantité de lumière reçue par la couche d'eau. La poussée phytoplanctonique liée à la photosynthèse est alors ralentie. Ces résultats corroborent les travaux de Hall *et al.*, [24] qui ont montré qu'aux faibles valeurs de l'intensité lumineuse, l'activité photosynthétique d'une suspension d'algue du genre *Chlorella* en bon état, mesurée par la production d'oxygène, augmente en fonction de l'intensité de la lumière.

## 6. Conclusion

Ce travail a été mené pour mesurer l'impact des amendements phosphatés sur le développement des algues et cyanobactéries planctoniques d'eau douce en rapport avec les opérations de phosphatage des rizières. Les résultats obtenus ont montré que globalement les trois types d'amendement phosphatés stimulent le développement des algues et cyanobactéries planctoniques. Cette stimulation est plus importante avec le phospal et le mélange phosphogypse/phosphate tricalcique qu'avec le phosphogypse. Par ailleurs, l'évolution de la biomasse au cours du temps montre que

la croissance des algues et cyanobactéries est maximale au cours du troisième prélèvement, période correspondant à une plus grande biodisponibilité du phosphore et à des conditions climatiques stationnelles (températures et vents) favorables.

## 7. Bibliographie

- [1] Ndiaye O.P. Essai de synthèse des recherches effectuées sur le phospal au Sénégal. Institut Sénégalais de Recherches agricoles (ISRA). Rapport de synthèse, 1977, 70p.
- [2] Ba N., Noba K., Dieye M. et Ba A.T. Les Cyanophycées de quelques rizières de la Moyenne vallée et du Delta du fleuve Sénégal : étude systématique, Webbia., 2006, **61** (2) : 261-269.
- [3] Roger P.A., Reynaud P.A. Dynamique de la population algale au cours d'un cycle de culture dans une rizière sahélienne. Cahier ORSTOM, série biol., 1976, **13**, 545-560.
- [4] Janusiewicz J.C. Etude préliminaire sur les cyanophycées et leur possibilité d'application agronomique dans un sol de rizière du Sénégal. ORSTOM. Rapport, 1974, 30p.
- [5] Ba N. Les microalgues et cyanobactéries de quelques rizières de la moyenne vallée et du delta du fleuve Sénégal : caractérisation et impacts des amendements phosphatés sur leurs développements. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences et Techniques. Université Cheikh Anta Diop Dakar, Sénégal. 2001, 62p.
- [6] Diouf P. S., Bousso T. Fleuve Sénégal : environnement aquatique et pêche. Rapport de synthèse bibliographique. UICN, 1988, 84p.
- [7] Dia A., Reynaud P.A. Le phytoplancton du lac de Guiers : approche qualitative et quantitative. Cahiers ORSTOM, série Biologie, 1982, **45** : 35-47.

- [8] Dia A., 1981. Phytoplancton du lac de Guiers : approche qualitative et quantitative. Mémoire de DEA en Science de l'environnement, UCAD. 84p.
- [9] Paloheimo J.E., Zimmerman A.P. Factors influencing phosphorus-phytoplankton relationships. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1983, **40**: 1804-1812.
- [10] FAO. Méthode simple pour l'aquaculture piscicole continentale : les étangs et leurs eaux. Rome. 1997, **21**, 1-45.
- [11] Lemercier B. La pollution par les matières phosphorées en Bretagne. Rapport, Direction Régionale de l'Environnement, France. 2003, 83p.
- [12] Diouf T., Sène M. Etude d'adaptabilité et de stabilité de rendement de quelques espèces céréalières (riz, maïs, sorgho) dans la vallée du fleuve Sénégal. Projet de Développement Agricole Sénégal- Indien (PDASI). ISRA-CRA de Saint-Louis, Rapport analytique, 2001, 42p.
- [13] Silverman, S.R., Fuyat, R.K., Weiser, J.D. Quantitative determination of calcite associated with carbonate-bearing apatites, US Geological Survey, 1952, pp. 211-222.
- [14] Anderson, D.L., Kussow, W.R., Corey, R.B. Phosphate rock dissolution in soil: indications from plant growth studies. Soil Sci. Soc. Am. J., 1985, **49**: 918-925.
- [15] Robinson, J.S., Syers, J.K., Bolan, N.S. Importance of proton supply and calcium-sink size in the dissolution of phosphate rock materials of different reactivity in soil. J. Soil Sci., 1992, **43**: 447-459.
- [16] Novozamsky, I., Beek, J. Common solubility equilibria in soils. In: Soil chemistry. A. Basic elements, G.H. Bolt and M.G.M. Bruggenwert. Elsevier, Amsterdam. Ed. 1978. 96-125.
- [17] Richardson K., Beardall J., Raven J.A. Adaptation of unicellular algae to irradiance: An analysis of strategies. New Phytologist, 1983, **93**: 157-191.
- [18] Dokulil M. T., Teubner K. 2000. Cyanobacterial dominance in lakes. Hydrobiologia, **438**: 1-12.
- [19] Oliver R.L., Ganf G.G., Freshwater blooms. In The Ecology of Cyanobacteria - Their Diversity in Time and Space. Whitton B. A. & Potts M. Eds. 2000. 149-194.
- [20] Robarts R.D., Zohary T. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. New Zeal. J. Mar. Fresh. Res., 1987, **21**: 391-399.
- [21] Briand J.F. Cyanobactéries toxiques : prolifération et production toxinique de deux espèces de la région parisienne, *Cylindrospermopsis raciborskii* et *Planktotrix agardhii*. Développement d'un bio-essai sur neuroblastomes pour la détection des toxines de type PSP. Thèse doctorat MNHN. 2001.
- [22] Jones G.J., Poplawski W. Understanding and management of cyanobacterial blooms in subtropical reservoirs of Queensland, Australia. Water Sci. Technol., 1998, **37**: 161-168.
- [23] Reynolds C.S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? Hydrobiologia, 1998, **11** (26): 369-370.
- [24] Hall D.O., Rao K.K., 1978. Photosynthèse. Vuibert. Paris. Ed. 12-13.