

## La biomasse algale dans les rizières du Sénégal : importance relative des Cyanophycées fixatrice de N<sub>2</sub>

PAR

Pierre ROGER et Pierre REYNAUD

*O.R.S.T.O.M. B.P. 1.386 Dakar, République du Sénégal*

### I. — INTRODUCTION

Parmi les travaux relatifs à l'écologie de la microflore tellurique très peu concernent le groupe des Algues et les résultats fragmentaires obtenus découlent en majeure partie d'études ayant un caractère botanique et taxonomique (Florenzano, G., 1963).

L'étude du rôle des Algues fixatrices de N<sub>2</sub> dans les rizières fait exception à cette situation. Les nombreux travaux publiés (ROGER, P., 1972) concernent principalement des sols du Japon (WATANABE, A., 1951 ; OKUDA, A., 1960) et de l'Inde (VENKATARAMAN, G. S., 1972).

Plus récemment des études ont été effectuées en Égypte (EL-NAWAWY, A. S. ; HAMDI, Y. A., 1974) et au Maroc (RENAUT, J. et coll., 1974).

Toutefois il n'existe que fort peu de travaux portant sur les variations qualitatives de la flore algale en sol de rizière (GUPTA, A., 1966) et les résultats quantitatifs sont pratiquement inexistantes.

Une première étude effectuée sur une rizière cultivée en contre saison dans le delta du fleuve Sénégal a permis de suivre les variations quantitatives et qualitatives de la flore algale au cours d'un cycle de végétation du riz (ROGER, P. ; REYNAUD, P., 1976).

Il était ensuite nécessaire de déterminer si le mode d'évolution observé sur une parcelle se retrouvait ou non dans les différents sols de rizière du Sénégal.

Reçu le 7-7-76.

30 JUIN 1976

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

M n° 9286 Bio. Sols

Pour ce faire nous avons évalué la biomasse des composants de la flore algale sur un échantillonnage de trente rizières différant par leur situation géographique, le stade de développement du riz et la fertilisation.

## II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

### A. Sites étudiés.

Les parcelles étudiées ont été choisies dans les deux zones rizicoles du Sénégal : Delta du Fleuve (9 parcelles), Casamance (20 parcelles) et dans la Région du Cap Vert (1 parcelle). Au point de vue



— La flore fixatrice d'azote, de faible importance en début de cycle, atteint son maximum absolu à la montaison et son maximum relatif en fin de cycle.

Les résultats de la seconde étude sont regroupés au tableau II. En raison du petit nombre de rizières étudiées (trente) les moyennes calculées n'ont qu'une faible signification statistique mais sont utilisables pour faire ressortir des tendances. Nous les avons donc fait figurer dans les résultats.

### **B. Biomasse algale totale.**

Les biomasses totales, exprimées en kg d'algues fraîches par hectare, varient entre 5,6 et 5 860 kg/ha. La valeur moyenne pour l'ensemble des sites étudiés est de 1 112 kg/ha.

Deux facteurs semblent avoir une influence marquée sur l'importance de la biomasse algale : le stade de développement du riz et la fertilisation.

En début de culture la biomasse totale est faible. Elle augmente assez rapidement, atteint des valeurs élevées entre le tallage et la montaison puis diminue à partir de l'épiaison.

La fertilisation a un effet marqué sur le développement de la flore algale : en sol non fertilisé les valeurs trouvées varient entre 54 et 376 kg/ha avec une moyenne de 233 kg/ha ; en sol fertilisé elles atteignent une valeur maximale de 5 860 kg/ha et la moyenne est de 1 640 kg/ha.

### **C. Variations du spectre algal.**

Le tableau III présente l'évolution moyenne de la composition de la flore en fonction du stade de développement du riz.

TAB. II Résultats des mesures effectuées sur un échantillonnage de 30 parcelles

VOL. 14, N° 4

	N° du sol	pH in situ	Fertilisation (N.P.K.)	Stade de développement du riz	Indice couvert végétal	Biomasse algale				Composition de la flore algale : Biomasse de chaque composant exprimée en % de la biomasse totale							
						Totale		Fixatrice		Diatomées	Chlorophycées		Cyanophycées				
						Absolue en kg/ha		Relative % du total			Unicellu- laires	Filamen- teuses	non hétérocystées filamenteuses	Hétérocystées		Unicellu- laires	
							moy.		moy.					Anabaena Nostoc	Autres genres		
Jachère	8	6,5	0	—	2	83		10		12,0	6,5	6,2	56,9	15,6	3,4	8,6	2,8
	18	6,6	0	—	1	335		0,1		0,0	1,7	2,1	0,1	84,1	0,0	0,0	9,3
	25	5,6	0	—	5	229		141		61,7	0,7	0,7	29,5	7,1	6,7	55,0	0,6
Riz en début de cycle	27	5,3	+	Plantule	1	6		0		0,0	48,1	37,8	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0
	21	5,6	0	3 feuilles	1	54	1504	2	2	4,1	46,8	13,5	26,2	8,3	3,5	0,0	1,7
	2	5,0	0	tallage	2	126		6	2	4,4	20,7	28,0	4,8	42,1	4,4	0,0	0,7
	28	5,9	+	tallage	3	5830		0		0,0	57,6	41,7	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0
Riz en milieu de cycle	29	6,6	+	tall-mont	4	3290		290		8,8	8,7	0,4	7,8	74,4	0,5	8,3	0,1
	4	6,3	+	tall-mont	2	812		15		1,9	1,7	0,2	0,0	92,6	1,8	0,0	4,8
	1	6,5	+	montaison	5	4350	1867	34	71	0,8	0,5	5,7	87,4	5,6	0,8	0,0	0,2
	17	6,4	+	montaison	1	605		0,1		0,0	3,8	0,8	35,7	57,5	0,0	0,0	2,1
	10	5,2	0	montaison	2	280		17		6,3	1,3	0,0	22,7	63,2	6,7	0,0	6,7
Riz en fin de cycle couvert végétal faible	9	6,0	0	mont-épi	3	181		25		14,1	7,5	17,1	0,0	62,4	10,2	3,9	0,0
	5	5,8	+	épiaison	2	603		0,7		0,2	2,0	0,3	1,2	88,9	0,1	0,0	7,5
	12	5,5	+	grain-pât	3	137		12	12,9	8,5	25,0	13,7	49,3	10,3	8,5	0,0	0,6
	13	6,1	+	grain-pât	3	170	273	14		8,2	21,9	14,8	56,4	3,9	8,2	0,0	0,4
Riz en fin de cycle couvert végétal moyen ou fort	3	6,1	+	épiaison	6	444		79		17,9	6,0	0,8	2,4	72,7	4,1	13,8	0,2
	23	5,9	+	épiaison	6	1350		173		12,8	5,5	3,6	75,0	2,9	12,7	0,0	0,4
	22	6,4	0	grain-lait	5	156		75		48,1	19,9	8,1	16,4	7,1	2,1	46,0	0,6
	24	6,2	0	grain-lait	5	347		103		29,7	2,5	1,0	15,8	45,8	24,6	5,0	0,2
	6	6,1	0	maturité	4	180		106		58,9	1,8	1,4	30,5	7,8	2,3	56,7	0,3
	19	6,4	0	maturité	4	95		43		46,0	3,7	5,1	0,0	41,5	42,7	3,2	3,7
	*20	6,3	+	maturité	6	2280	609	2260*	303	99,1	0,2	0,1	0,0	1,1	99,1	0,0	0,0
	*14	6,4	0+*	maturité	5	673		332		49,3	1,8	1,9	24,7	21,7	3,7	45,6	0,6
	16	6,0	+	maturité	5	509		148		29,1	4,7	3,0	25,0	36,5	23,0	6,0	1,1
	11	5,9	+	maturité	5	542		104		19,2	6,9	2,1	11,1	60,3	9,9	9,4	0,4
	15	5,7	+	maturité	4	164		14		8,5	19,6	15,6	23,3	31,6	8,5	0,0	1,0
	30	6,9	+	maturité	5	573		199		34,7	1,8	3,7	0,0	51,4	4,3	30,4	8,4
	Cas parti- culiers	*7	?	0	grain pât	5	376		0,3		0,1	0,1		17,9	79,8	0,1	0,0
*26		6,5	0	maturité	5	366		25		6,9	3,4	56,3	8,8	20,3	6,9	0,0	4,5

LA BIOMASSE ALGALE DANS LES RIZIÈRES DU SÉNÉGAL

Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus lors de la première étude (Tab. I).

#### D. Biomasse algale fixatrice.

En l'absence de données et de méthodes plus précises nous avons admis que la flore fixatrice était constituée uniquement de formes hétérocystées.

TAB. III

Évolution moyenne de la composition de la flore algale au cours d'un cycle de culture du riz. Les valeurs sont exprimées en % de la biomasse totale

Stade de développement du riz	Diatomées	Chlorophycées unicellulaires	Chlorophycées filamenteuses	Cyanophycées non hétérocystées	Cyanophycées hétérocystées
Du semis au tallage.....	43	30	8	17	2
Du tallage à la montaison.....	3	1	37	56	3
Après la montaison avec couvert végétal moyen faible.....	13	10	33	37	7
Après la montaison avec couvert végétal moyen ou fort.....	6	4	19	33	38

Cette approximation est entachée de deux erreurs :

1° on néglige les formes non hétérocystées fixatrices et plus particulière-

b) *Biomasse fixatrice relative* (% de la biomasse totale).

Jusqu'au stade montaison la biomasse fixatrice relative reste très faible avec des valeurs moyennes de 2 % en début et 3 % en milieu de cycle. (Tab. II et III). A partir du stade montaison deux cas sont à envisager :

1° Sous couvert végétal faible, la proportion de Cyanophycées hétérocystées reste relativement basse avec une valeur moyenne de 7 % ;

2° Sous couvert végétal moyen ou dense on observe une augmentation nette de la biomasse fixatrice relative qui constitue en moyenne 38 % de la biomasse totale et atteint une valeur de 99 % dans l'un des sites étudiés.

La fertilisation a un effet *négligable* sur la biomasse fixatrice *relative*. Sur sols fertilisés on trouve une valeur moyenne de 12 % contre 25 % sur les sols non fertilisés.

#### IV. — DISCUSSION

Un premier examen des résultats fait ressortir l'influence de trois facteurs sur l'importance et la composition de la biomasse algale dans les sols étudiés :

- le stade de développement du riz ;
- la fertilisation ;
- la densité du couvert végétal.

Par contre, l'influence du pH du sol n'apparaît pas immédiatement à l'examen direct des résultats. Pour cette raison nous avons fait appel au test des rangs de Spearman (SPEARMANN, 1904) pour rechercher les corrélations pouvant exister entre le pH du sol et la flore algale. Nous l'avons aussi utilisé pour mettre en évidence de façon plus précise l'influence du couvert végétal.

Rappelons que ce test est un test d'interdépendance entre deux variables dont les fonctions de répartition ne sont pas connues et dans lequel les valeurs absolues sont remplacées par les rangs.

##### A. Influence du pH.

Un pH légèrement alcalin favorise le développement des Cyanophycées (FOGG et coll., 1973). Nous avons déjà observé une corrélation positive entre le pH du sol et le nombre de Cyanophycées sur un échantillonnage de sols secs prélevés dans les régions rizicoles du Sénégal (GARCIA et coll., 1973).

Le test de Spiermann appliqué à l'ensemble des parcelles étudiées indique une absence de corrélation entre le pH du sol et la biomasse fixatrice ; ce résultat n'est pas étonnant en raison du nombre de facteurs impliqués dans le développement de la flore fixatrice.

Par contre, si l'on se limite aux parcelles en fin de cycle sous couvert végétal moyen ou fort on élimine l'influence des facteurs « couvert végétal » et « stade de développement du riz ». Dans ce cas on observe une corrélation hautement significative entre la biomasse fixatrice relative et le pH du sol :

$r_s$  critique = 0,59 ;  $r_s$  calculé = 0,76. Toutefois on ne trouve pas de corrélation avec la biomasse fixatrice absolue ; ceci traduit l'influence du facteur « fertilisation » que l'on peut éliminer en scindant les données en deux lots :

— Sur sols fertilisés on trouve une corrélation significative au seuil de 5 % entre le pH et la biomasse fixatrice absolue :  $r_s$  crit. : 0,738 ;  $r_s$  calculé : 0,773.

— Sur sols non fertilisés le test n'est pas applicable en raison du trop petit nombre de cas observés.

Il existe donc une corrélation positive entre le pH du sol et la biomasse algale fixatrice absolue et relative. Cette corrélation n'apparaît que pour des lots homogènes.

### B. Influence du couvert végétal.

Nous avons recherché les corrélations pouvant exister entre l'indice de couvert végétal et les différents composants de la flore algale.

Les seuls résultats significatifs concernent la biomasse fixatrice absolue et relative :  $r_s$  critique = 0,392,  $r_s$  calculés respectifs : 0,780 et 0,620. Ce résultat est traduit graphiquement pour la biomasse fixatrice absolue par la figure 1. Cette corrélation hautement significative entre la densité du couvert végétal et la biomasse algale fixatrice peut être expliquée *pro-parte* en considérant que les Cyanophycées fixatrices ne peuvent devenir concurrentielles par rapport au reste de la flore algale que dans un milieu appauvri en azote minéral et que cet appauvrissement est consécutif à l'augmentation du couvert végétal.

Toutefois le facteur « azote minéral » n'est pas seul en cause. En effet les sols à faible couvert végétal, non fertilisés, en fin de cycle ou au terme d'une période de submersion équivalente (jachères) sont caractérisés par une biomasse fixatrice faible en valeur absolue ou relative, malgré la pauvreté du milieu en azote minéral.

Il semble que le couvert végétal ait une influence directe sur la biomasse fixatrice par un effet d'écran à la lumière : Les Cyanophycées, plus sensibles aux fortes intensités lumineuses que les autres Algues (BROWN et RICHARDSON, 1968) ne pourraient se développer que lorsque le couvert végétal est suffisamment dense pour les protéger de l'intensité lumineuse incidente élevée (70 000 lux à 13 h) caractéristique de la zone géographique étudiée.

### C. Détermination des successions algales.

Les résultats de cette étude ne peuvent prêter qu'à la formulation d'hypothèses ; mais compte tenu des connaissances déjà acquises dans ce domaine nous proposons une interprétation non exclusive des variations de composition de la flore algale au cours du cycle de culture.

En début de cycle végétatif du riz, les sols qui viennent d'être mis sous eau sont caractérisés par :

1° Un pH bas favorable aux Chlorophycées et défavorable aux Cyanophycées (SHAPIRO, 1973).



2° Une intensité lumineuse au niveau du sol élevé (par suite de l'absence de couvert végétal) favorable au Chlorophycées et Diatomées (WHITFORD, 1960) et défavorable aux Cyanophycées (BROWN & RICHARDSON, 1968).

3° Une teneur en azote minéral élevée correspondant d'une part au pic de minéralisation de l'azote consécutif à la réhumectation du sol et d'autre part, dans le cas des sols fertilisés, à un apport d'engrais. Par le jeu des compétitions, les Algues fixatrices de  $N_2$  sont défavorisés.

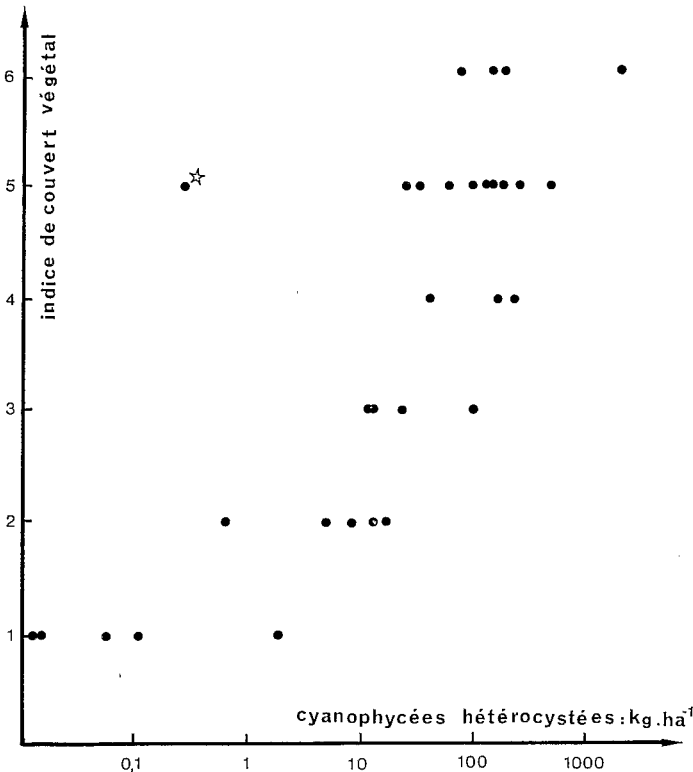


FIG. 1. — Corrélation entre l'indice de couvert végétal et la biomasse des Algues procaryotes fixatrices exprimée en kg/ha (échelle logarithmique). Le point marqué d'un astérisque correspond à un sol sableux, sec en surface, portant une culture de riz pluvial.

4° Une teneur en  $CO_2$  disponible élevée qui correspond au pic de minéralisation du carbone consécutif à la réhumectation et qui favorise les Chlorophycées aux dépens des Cyanophycées. (KING, 1970).

Au cours du cycle ces conditions vont évoluer pour aboutir en fin de cycle à une situation inverse favorable aux Cyanophycées fixatrices de  $N_2$  : pH plus élevé, lumière incidente faible, basse teneur en azote minéral.

Signalons qu'une évolution similaire de la composition de la flore algale a été observée en rivière par WAGER et SCHUMACHER (1970). D'autres facteurs,

en particulier nutritionnels et de compétitivité, interviennent dans la succession des différents groupes algaux (VANCE, 1965), toutefois les mesures effectuées ne permettent pas de les mettre en évidence. Pour cela des expériences en modèle simplifié doivent être réalisées.

## V. — CONCLUSION

Cette étude nous a permis de :

- 1° confirmer les résultats obtenus lors d'une première étude effectuée sur une parcelle suivie au cours d'un cycle de végétation du riz ;
- 2° mettre en évidence l'influence de certains facteurs physico-chimiques sur l'évolution de la composition de la flore au cours du cycle ;
- 3° chiffrer approximativement l'importance de la biomasse algale et de ses constituants dans les sols de rizière du Sénégal.

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

La biomasse algale totale, faible en début de cycle croît rapidement pour atteindre un maximum vers le stade tallage. Elle garde des valeurs élevées jusqu'à l'épiaison puis diminue jusqu'à la fin du cycle.

Les valeurs absolues exprimées en kg d'algues fraîches par hectare présentent des variations importantes liées au stade de développement du riz et à la fumure reçue par le sol :

	sols non fertilisés	sols fertilisés	ensemble des sols étudiés
Valeur maximale ..	376 kg/ha	5 860	5 860
Valeur moyenne ..	233	1 640	1 110

les Cyanophycées hétérocystées constituent en moyenne 40 % de la flore algale totale et leur biomasse de l'ordre de quelques centaines de kilos (valeur moyenne 300 kg/ha) peut atteindre dans certains cas des valeurs très élevées (2 260 kg/ha).

La fertilisation (N.P.K.) a un effet positif sur la biomasse fixatrice absolue, négatif sur la biomasse fixatrice relative.

Le rôle des Cyanophycées dans l'équilibre azoté des sols de rizière n'est plus à démontrer et de nombreux travaux portant sur les possibilités d'applications agronomiques (VENKATARAMAN, A., 1972) ont été publiés.

Between tillering and panicle initiation, filamentous green algae and non heterocystous blue-green algae were dominant.

After panicle initiation, heterocystous and non heterocystous blue-green become

- Addendum -

FLORENZANO (G.), 1963. - Prmières recherches microbiologiques sur les algues du sol.

Annls. Inst. Pasteur Paris : 105 : 195-201.

GUPTA (A.B.), 1966. - Algal Flora and its importance in the economy of rice fields. Hydrobiol. 28 (2) 213-224.

OKUDA (A.), YAMAGUCHI, (M.), KOBAYASHI (M.), 1956.

Nitrogen fixing microorganisms in paddy soils - Part II  
Soil and Plant food : 6 35-39.

WATANABE (A.), 1951. - Effect of nitrogen fixing blue-green algae on the growth of rice plant. Nature (London 168, 748-749.