

Métabolisme bactérien et phytoplanctonique de trois petits barrages de Côte d'Ivoire

Marc Bouvy

Robert Arfi

Philippe Cecchi

Daniel Corbin

Marc Pagano

Lucien Saint-Jean

Serge Thomas

L'un des axes de recherche du programme Petits Barrages dans sa composante limnologique est, en relation avec les différents facteurs agissant sur les écosystèmes, l'identification des éléments structuraux et fonctionnels qui en expliquent la productivité (CECCHI, 1998). Tout écosystème, d'une façon générale, est en équilibre entre l'homogénéité et l'hétérogénéité (LEGENDRE et TROUSSELLIER, 1993) et cela sous la pression de trois forces : exogènes, comme les énergies auxiliaires, endogènes, comme les conditions environnementales, et enfin, anthropogènes, induites par la pression humaine. Pour analyser et comprendre le fonctionnement d'un écosystème aquatique, il est nécessaire de prendre en compte les différentes théories relatives au contrôle de la dynamique spatio-temporelle des différentes communautés biologiques pélagiques. Dans ce travail seront abordés les métabolismes bactériens et phytoplanctoniques de trois petits barrages (fig. 1) étudiés au cours de quatre saisons hydrologiques, avec pour objectif de caractériser le fonctionnement trophique de ces réservoirs tropicaux : *hétérotrophie* (avec apport de matière organique allochtone) et (ou) *autotrophie* (utilisation de la matière organique phytoplanctonique).

Introduction

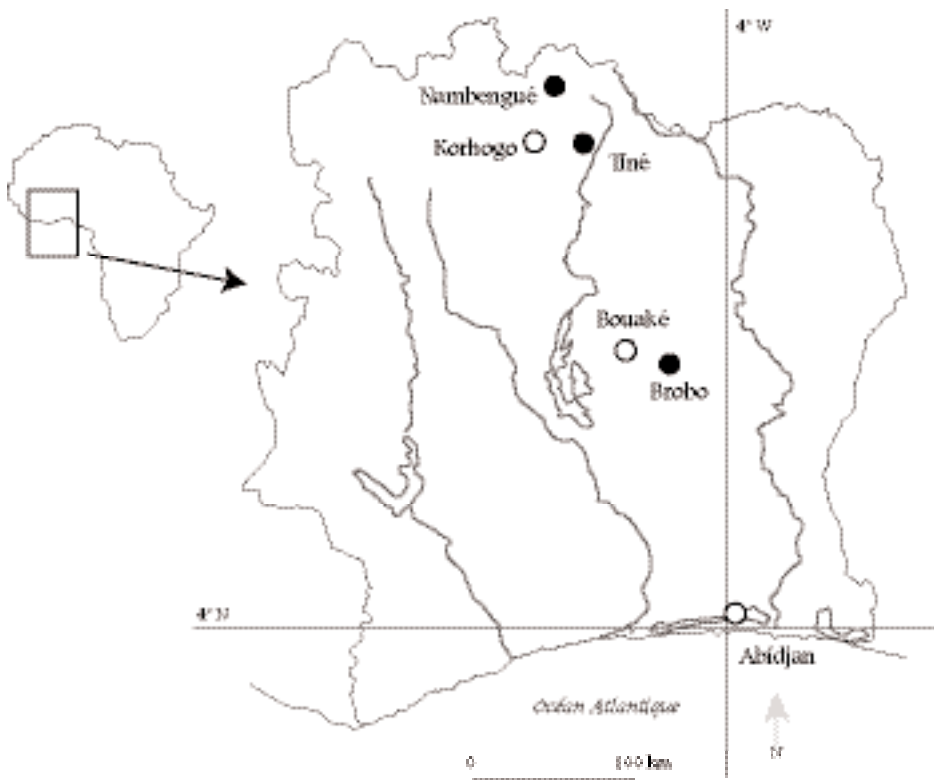


FIG. 1 - Carte de localisation des barrages de Nambengué, Tiné et Brobo.

Matériel et méthodes

Pour obtenir une bonne couverture des différentes situations écologiques rencontrées dans cette zone caractérisée par un cycle saisonnier marqué au niveau des précipitations, avec une saison des pluies de mai à septembre et une saison sèche entre novembre et mars, quatre saisons hydrologiques ont été étudiées. Les campagnes ont été réalisées en octobre (fin de la saison des crues et du remplissage avec des niveaux d'eau relativement hauts), en novembre (début de la saison sèche avec temps calme), en mars (saison sèche avec possibilité d'orages violents) et juin (début de la saison des pluies, sans crues avec des niveaux d'eau les plus bas). Nous considérons les trois réservoirs localisés sur la figure 1.

– Nambengué (10° 03' N, 5° 19' W), le plus petit réservoir étudié avec une surface de 13 ha, présente une profondeur maximale proche de 3 m et se caractérise par un usage pastoral intense et un enrichissement potentiellement important par les déjections du bétail.

– Tiné (9° 31' N, 5° 32' W) est un réservoir moyen avec une superficie de 45 ha, une profondeur maximale de l'ordre de 7 m avec une stratification transitoire. Son premier usage est l'irrigation pour le riz.

– Brobo (4° 40' N, 4° 49' W), proche de Bouaké, est le plus grand avec près de 85 ha, une profondeur maximale supérieure à 9 m et un hypolimnion souvent anoxique (THOMAS, 2000). Il s'agit d'un réservoir privé, soumis à de faibles pressions anthropiques.

Le choix des stations dans chaque réservoir a été déterminé selon la profondeur et la géométrie du site.

Les paramètres physico-chimiques classiques (température, oxygène dissous, pH et conductivité) ont été mesurés *in situ* à l'aide de sondes (YSI et WTW). Les coefficients d'atténuation lumineuse ont été déterminés à partir des profils d'extinction réalisés à l'aide d'un quantamètre sphérique LiCor 193SB. Les sels nutritifs ont été analysés selon les procédures de STRICKLAND et PARSONS (1968).

Les échantillons de bactérioplancton ont été fixés au formol et colorés au fluochrome DAPI (PORTER et FEIG, 1980). Les volumes bactériens ont été mesurés (> 100 cellules) sur des diapositives à l'aide d'une table à digitaliser et calculés en utilisant les formules de KRAMBECK *et al.* (1981). En raison de la petite taille des cellules, un facteur de conversion de 0,2 pgC μm^{-3} a été adopté pour l'estimation des biomasses carbonées (SIMON et AZAM, 1989). Les concentrations en chlorophylle *a* ont été déterminées par fluorimétrie après extraction au méthanol (YENTSCH et MENZEL, 1963). Un ratio classique (chlorophylle/carbone) de 50 a été retenu pour le calcul des biomasses algales carbonées.

La production primaire phytoplanctonique a été mesurée par incorporation de ^{14}C (2 à 3 heures d'incubation en milieu de journée) et extrapolée à la journée. La production bactérienne nette a été mesurée par incorporation de thymidine tritiée (Bouvy *et al.*, 1998). Les méthodes de mesures des biomasses et productions zooplanctoniques sont détaillées dans AKA *et al.* (2000).

Les températures varient peu, avec toutefois des minima en novembre et des maxima en mars à Nambengué, réservoir le plus petit et donc le plus sensible aux variations climatiques (tabl. I).

Les conductivités sont toujours inférieures à 200 $\mu\text{S cm}^{-1}$ avec les plus fortes valeurs enregistrées à Nambengué. Les valeurs de pH sont peu

Résultats et discussion

		BROBO				NAMBENGUÉ				TINÉ	
		Oct.	Nov.	Mars	Juin	Oct.	Nov.	Mars	Juin	Oct.	Nov.
Température (°C)	S	27,8	28,9	30,1	29,8	29,8	24,9	30,4	28,3	27,9	26,8
	F	26,7	27,8	27,5	27,9	26,7	24,1	29,6	27,3	26,4	26,4
Conductivité ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	S	50,1	nd	69,9	59,2	80,8	nd	164,4	102,3	30,6	nd
	F	48,5	nd	73,3	nd	80,1	nd	163,7	nd	30,6	nd
pH	S	7,00	nd	8,30	6,24	6,24	nd	7,76	6,36	5,9	nd
	F	nd	nd	7,61	nd	nd	nd	7,62	nd	nd	nd
Prof. euph. (m)		3,1	3,8	3,9	3,5	1,7	1,9	1,1	1,0	1,3	3,3
N-NO ₃ (μM)	S	1,00	0,74	1,53	4,01	1,44	0,68	9,66	5,22	1,67	1,45
	F	0,89	0,82	2,00	4,53	1,27	1,67	5,57	5,95	1,61	1,10
N-NH ₄ (μM)	S	6,80	4,60	3,47	4,40	4,02	3,12	3,87	5,14	4,56	5,06
	F	10,92	20,08	17,12	12,00	10,44	3,54	3,88	3,39	15,8	5,27
P-PO ₄ (μM)	S	0,15	0,08	0,26	0,35	0,09	0,08	0,19	0,38	0,23	0,09
	F	0,18	0,05	0,24	0,31	0,09	0,08	0,13	0,55	0,10	0,09

**Tabl. I - Moyennes (n = 5)
des variables chimiques
et physiques pour les trois
campagnes aux 2 profondeurs
(S, surface et F, fond) ;
nd: non déterminées.**

élevées avec une légère tendance à l'acidité. Les profondeurs de la zone euphotique sont importantes à Brobo mais faibles à Nambengué et Tiné et cela quelle que soit la saison.

Les concentrations en nitrates sont relativement faibles, sauf à Nambengué en mars et juin et à Brobo en juin, correspondant aux basses eaux. Les concentrations en ammoniacque à Brobo sont nettement plus importantes au fond, suggérant une minéralisation importante de la matière organique par les bactéries. À Nambengué, les valeurs sont identiques en surface et au fond, en raison de la faible profondeur du réservoir permettant la resuspension fréquente de l'interface eau-sédiment sous l'action du vent. Enfin, les teneurs en orthophosphates sont faibles, inférieures à 1 μM , ce qui suggère une remobilisation intense de ce nutriment par les communautés phytoplanctoniques (tabl. I).

Au total, 54 espèces phytoplanctoniques ont été identifiées dans les 3 réservoirs, appartenant à 6 grands groupes taxinomiques différents. Les chlorophycées et les cyanobactéries représentent les deux grands groupes dominants en termes de nombre d'espèces, d'abondance et de biomasse.

À Brobo, les chlorophycées dominent quelle que soit la saison, les conditions du milieu leur étant favorables (forte pénétration lumineuse).

Les cyanobactéries dominent à Nambengué et à Tiné sauf en octobre, période de hautes eaux, durant laquelle les chlorophycées sont les plus abondantes. Les espèces dominantes peuvent être considérées comme appartenant au groupe S (REYNOLDS, 1994), groupe de compétiteurs à croissance lente, typiques des lacs stratifiés et bien adaptés aux milieux saturés.

À Nambengué, se développe en mars une communauté basée sur des peuplements de cyanobactéries et de chlorophycées, mais aussi de diatomées avec une espèce de petite taille (*Melosira* sp.) qui peut être considérée comme une espèce de type C et R (REYNOLDS, 1994), tolérante aux turbulences et ayant une croissance plus rapide.

Les abondances bactériennes et algales sont significativement et positivement corrélées, avec les valeurs les plus élevées rencontrées au cours de la saison sèche (fig. 2 a). Un même schéma corréle les biomasses bactériennes aux productions bactériennes avec les valeurs les plus faibles observées en novembre à Brobo (fin de saison des pluies) et les valeurs les plus élevées au cours de la saison sèche, avec des maxima à Nambengué en juin (fig. 2 b).

Les deux régressions présentées permettent de conclure que les communautés bactériennes sont fortement contrôlées par les ressources (relation qualifiée de *bottom-up*) et qu'il existe un couplage métabolique étroit entre les communautés bactériennes et phytoplanctoniques.

Dans le but de comparer le fonctionnement des réservoirs, toutes les données ont été ramenées par unité de surface en considérant la hauteur de la couche euphotique (tabl. II).

Le rapport entre la production bactérienne nette et la production primaire nette (PBN/PPN), qui permet d'évaluer la part de la production primaire qui transite par les communautés bactériennes, s'élève en moyenne à 54 % (tabl. II), alors que la moyenne reportée par COLE *et al.* (1988) n'atteint que 30 %. La demande carbonée bactérienne moyenne (respiration) s'élève à 678 mg C m⁻² j⁻¹, qui correspondent à 81 % de la production primaire nette.

Cela suggère que ces systèmes biologiques seraient basés sur l'*autotrophie*, avec un métabolisme phytoplanctonique qui est la première source de substrats organiques pour les communautés bactériennes. À Nambengué en mars, la respiration bactérienne excède la production primaire nette, suggérant que les espèces algales libèrent d'autres composés organiques dissous moins assimilables pour les communautés bactériennes, peut-être en relation avec le pourcentage élevé de diatomées rencontré à cette

époque dans ce réservoir. Les bactéries puisent alors leur complément de matière organique dans les apports allochtones provenant principalement des déjections des troupeaux.

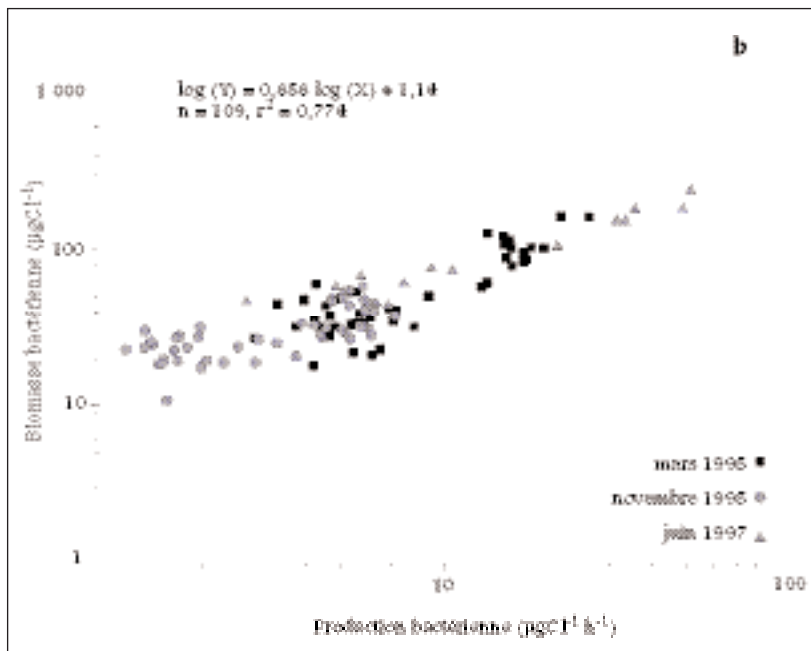
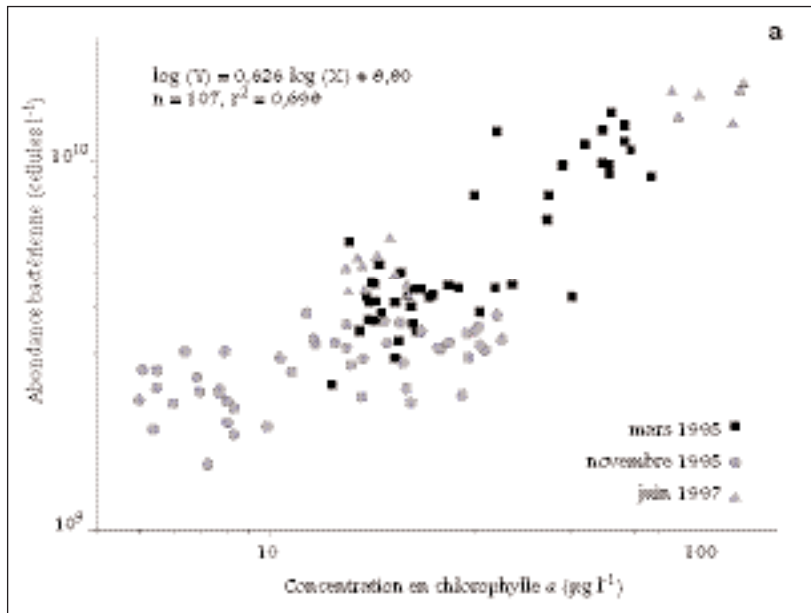
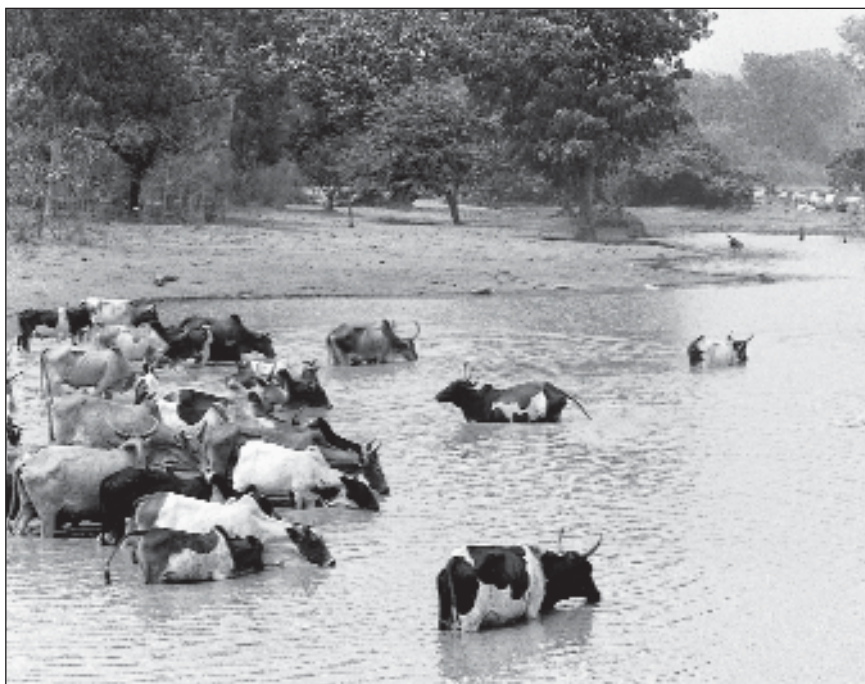


FIG. 2 - Régressions linéaires (log-log) entre l'abondance bactérienne et la concentration en chlorophylle a (a) et entre l'abondance et la production bactérienne (b) dans les 3 réservoirs.

Abreuvement du bétail au petit barrage de Korokara Serpent, sur l'axe Korhogo Diawala. En plein cœur de saison sèche, les petits barrages situés dans les principales aires de transhumance peuvent être quotidiennement visités par plusieurs milliers de têtes de bétail qui se succèdent pour s'y abreuver. Les conflits avec les agriculteurs autochtones sont fréquents, d'autant plus que les espaces seaturent avec l'extension des parcelles cultivées, et que simultanément, se ferment les espaces de parcours traditionnellement exploités par les troupeaux.



	Zone euphotique (m)	Production bactérienne (mgC m ⁻² j ⁻¹)	Respiration bactérienne* (mgC m ⁻² j ⁻¹)	Production primaire (mgC m ⁻² j ⁻¹)		PBN / PPN (%)
		Nette*		Totale	Nette*	
Brobo						
Novembre	3,5	136	204	481	289	47
Mars	3,5	414	621	1 204	722	57
Juin	3,5	451	676	1 700	1 020	44
Nambengué						
Novembre	2	273	409	1 085	651	42
Mars	1	846	1 269	1 005	603	140
Juin	1	729	1 093	2 545	1 527	48
Tiné						
Novembre	3,5	320	480	1 766	1 060	30
Moyenne		452	678	1 398	838	54

* En estimant une respiration phytoplanctonique de 40 % de la production totale pour obtenir la production primaire nette et une efficacité de croissance bactérienne de 40 % pour obtenir la respiration bactérienne.

Tabl. II - Respiration et production bactérienne nette (PBN), production primaire totale et nette (PPN) dans la zone euphotique des différents réservoirs aux trois saisons.

De forts taux de broutage ont été obtenus lors des expérimentations réalisées en mars et en juin. La quasi-absence de ciliés phagotrophes évite une étape supplémentaire dans le transfert de matière entre bactéries et macrozooplancton (Bouvy, 2001). La production bactérienne peut donc être consommée grâce au couplage de deux étapes : bactéries-flagellés-cladocères. Si 54 % de la production primaire nette transite par les bactéries, les flagellés hétérotrophes pourront en assimiler 22 % (efficacité de 40 %) et le zooplancton en consommera 9 %. L'importance de cette boucle microbienne peut paraître faible. Toutefois, comme plus de la moitié des algues du milieu n'est pas directement assimilable par le zooplancton (cyanobactéries et chlorophycées filamenteuses), ce transfert de la matière organique phytoplanctonique par la boucle microbienne joue un rôle non négligeable dans la structuration trophique des écosystèmes considérés.

Le fonctionnement des réservoirs étudiés repose ainsi pour une large part sur un réseau métabolique autotrophe, interne à l'écosystème. Excepté Nambengué en mars, les réservoirs peuvent être considérés comme des systèmes biologiques produisant des niveaux élevés d'oxygène dissous (DEL GIORGIO *et al.*, 1997).

R é f é r e n c e s

AKA M., PAGANO M., SAINT-JEAN L., ARFI R., BOUVY M., CECCHI P., CORBIN D., THOMAS S., 2000 – Zooplankton variability in 49 shallow tropical reservoirs of Ivory Coast (West Africa). *Int. Rev. Hydrobiol.*, 85 : 491-504.

BOUVY M., 2001 – *Contrôle du compartiment bactérien dans les écosystèmes aquatiques tropicaux : le rôle de la prédation*. Habilitation à diriger les recherches, univ. Montpellier-II, 60 p.

BOUVY M., ARFI R., CECCHI P., CORBIN D., PAGANO M., SAINT-JEAN L., THOMAS S., 1998 – Trophic coupling between bacterial and phytoplanktonic compartments in shallow tropical reservoirs (Côte d'Ivoire, West Africa). *Aquatic Microbial Ecology*, 15 : 25-37.

CECCHI P., 1998 – De la construction d'un objet pluridisciplinaire : les Petits-Barrages du Nord de la Côte d'Ivoire. *Natures, Sciences, Sociétés*, 6 (2) : 73-83.

COLE J. J., FINDLAY S., PACE M. M. 1988 – Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 43 : 1-100.

DEL GIORGIO P. A., COLE J. J., CIMBERLIS A., 1997 – Respiration rates in bacteria exceed phytoplankton production in unproductive aquatic systems. *Nature*, 385 : 148-151.

KRAMBECK C., KRAMBECK K. H. J., OVERBECK J., 1981 – Microcomputer assisted biomass determination of plankton bacteria on scanning electron micrographs. *Appl. Environ. Microbiol.*, 42 : 142-149.

LEGENDRE P., TROUSSELLIER M., 1993 – « Origin of spatial structures in aquatic bacterial communities: from hypotheses to numerical solutions ». In GUERRERO R., PEDROS-ALIO C. (eds.) : *Trends in Microbial ecology*, Spanish Society for Microbiology, Barcelona : 353-358.

PORTER K. G., FEIG Y. S., 1980 – The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 25 : 943-948.

REYNOLDS C. S., 1994 – The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by the physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia*, 289 : 9-21.

SIMON M., AZAM F., 1989 – Protein content and protein synthesis rates of planktonic marine bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 51 : 203-213.

STRICKLAND J. D. H., PARSONS T. R., 1968 – *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167, 309 p.

THOMAS S., 2000 – *Les différents producteurs primaires d'un petit barrage tropical africain : dynamiques et interactions (Brobo, Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat, univ. Paris-VI, 246 p.

YENTSCH C. S., MENZEL D. W., 1963 – A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence. *Deep Sea Res.*, 10 : 221-231.