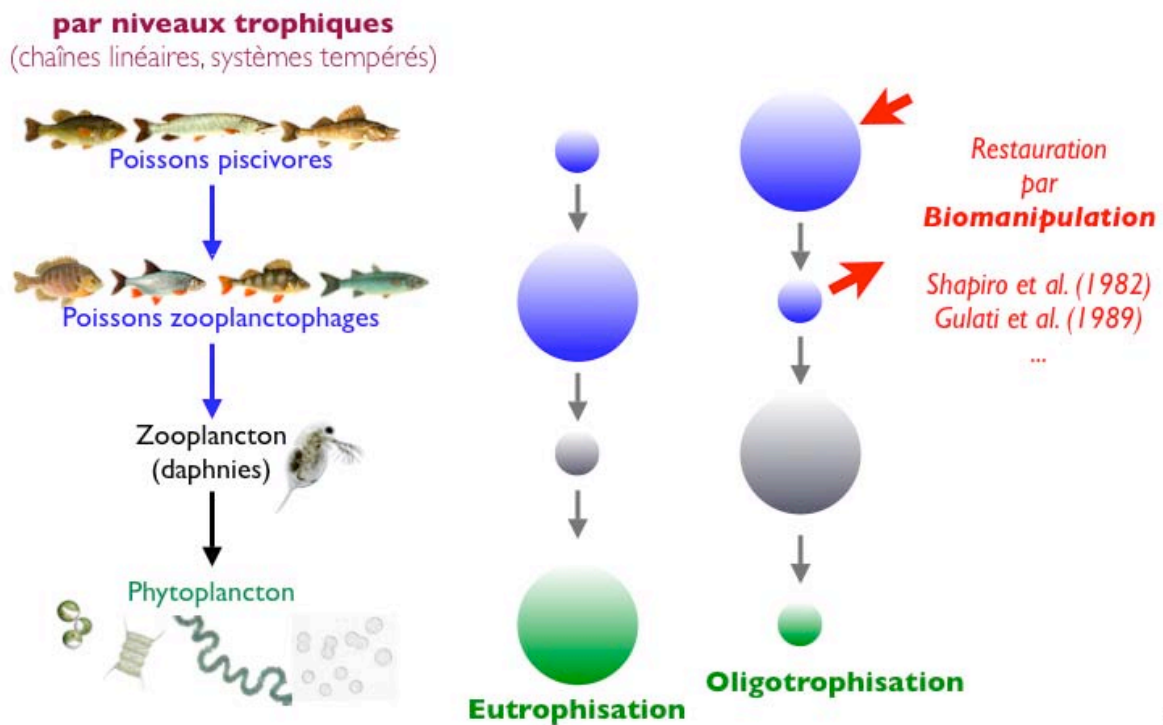


CYBIOM – EUTROPHISATION, CYANOBACTERIES ET BIOMANIPULATIONS : APPROCHES EXPERIMENTALES EN LACS TROPICAUX PEU PROFONDS

Programme Ecosystèmes Tropicaux
Rapport scientifique de fin de contrat

Figures



9•

Figure 1 – Le modèle des « cascades trophiques » induites par les poissons zooplanctonophages (chasseurs à vue), démontré en lacs tempérés (modifié d'après Carpenter et al. 1985, Carpenter & Kitchell 1993)

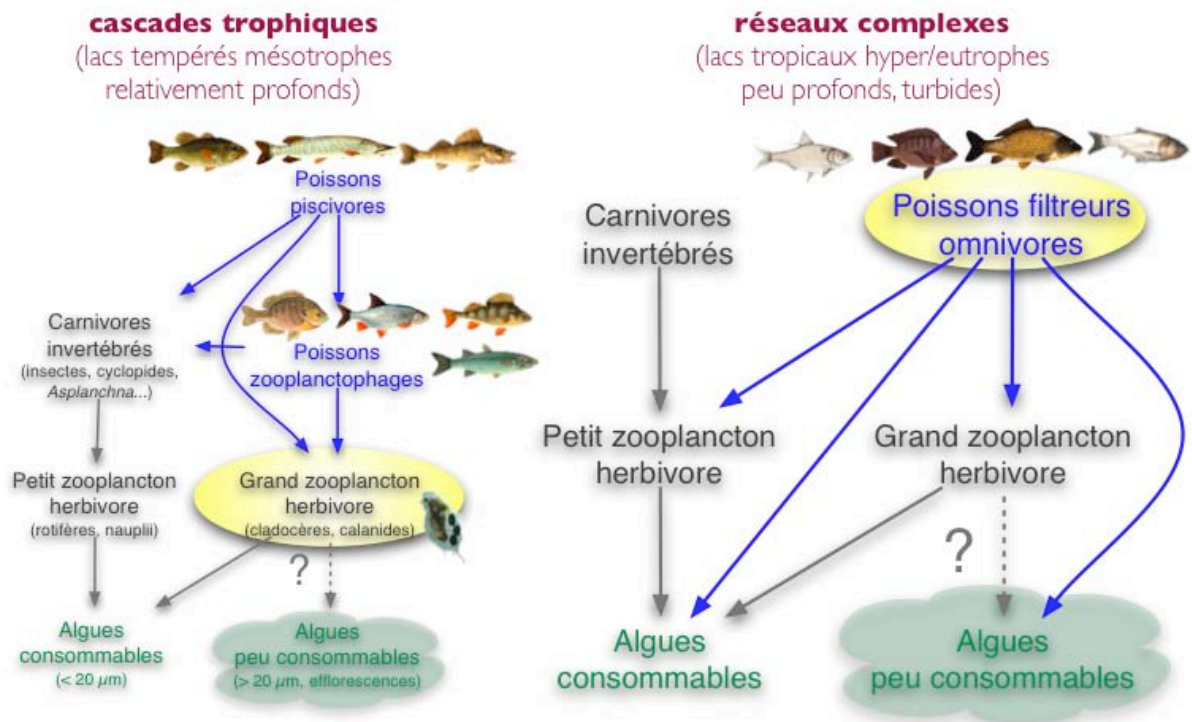


Figure 2 – Cascade trophique linéaire typique des lacs tempérés (à gauche) vs. réseau trophique complexe des lacs (sub)tropicaux (à droite), où le grand zooplancton herbivore (cladocères et copépodes calanoïdes) et les poissons filtreurs omnivores sont les prédateurs clés, respectivement. Il est suggéré que la biomasse des algues peu ou non consommables (macrophytoplancton > 20 μm) est globalement favorisée par les poissons filtreurs omnivores.

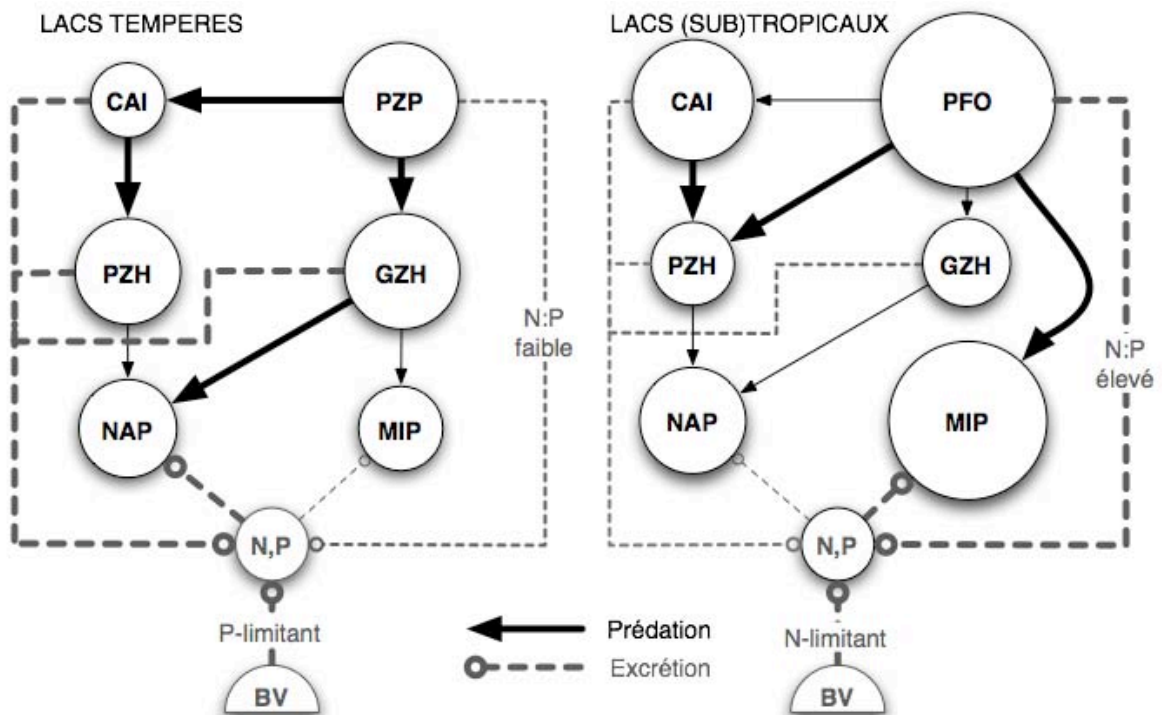


Figure 3 – Schéma de comparaison des biomasses (cercles de diamètre proportionnel à la biomasse), des taux de prédation (flèches continues noires, épaisseur proportionnelle au

taux) et des taux d'excrétion (pointillés gris terminés par un cercle ouvert, épaisseur proportionnelle au taux) entre les lacs tempérés dominés par des poissons zooplanctonophages (schéma de gauche) et les lacs tropicaux dominés par des poissons filtreurs omnivores (schéma de droite). Les types de limitation (par l'azote = N, par le phosphore = P) et les rapports stoechiométriques d'excrétion (N:P) sont indiqués sur ces connecteurs. Abréviations: PZP = poissons zooplanctonophages; PFO = poissons filtreurs omnivores; GZH = grand zooplancton herbivore; MIP = microphytoplancton; N,P = nutriments (N, P); NAP = nanophytoplancton; PZH = petit zooplancton herbivore; CAI = carnivores invertébrés (modifié d'après Danger et al. 2009).

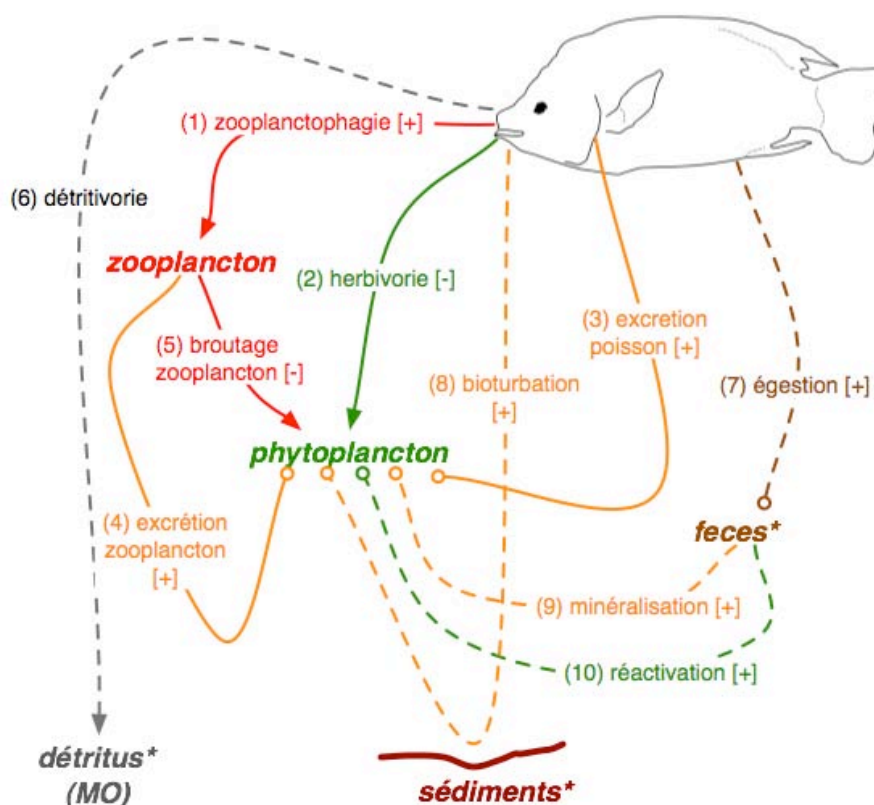


Figure 4 – Complexité et antagonisme des flux bioénergétiques engendrés par un poisson planctonophage filtreur omnivore, comme le tilapia du Nil adulte (*Oreochromis niloticus*), prépondérant dans les lacs (sub)tropicaux peu profonds, qui consomme à la fois du zooplancton, du phytoplancton et des détritus. Le sens des effets des différents mécanismes sur la biomasse du phytoplancton est indiqué entre crochets par le signe + (augmentation) ou – (réduction). L'ensemble feces-sédiments-détritus représente le pool de matière organique (MO) disponible (Lazzro X., non publié).

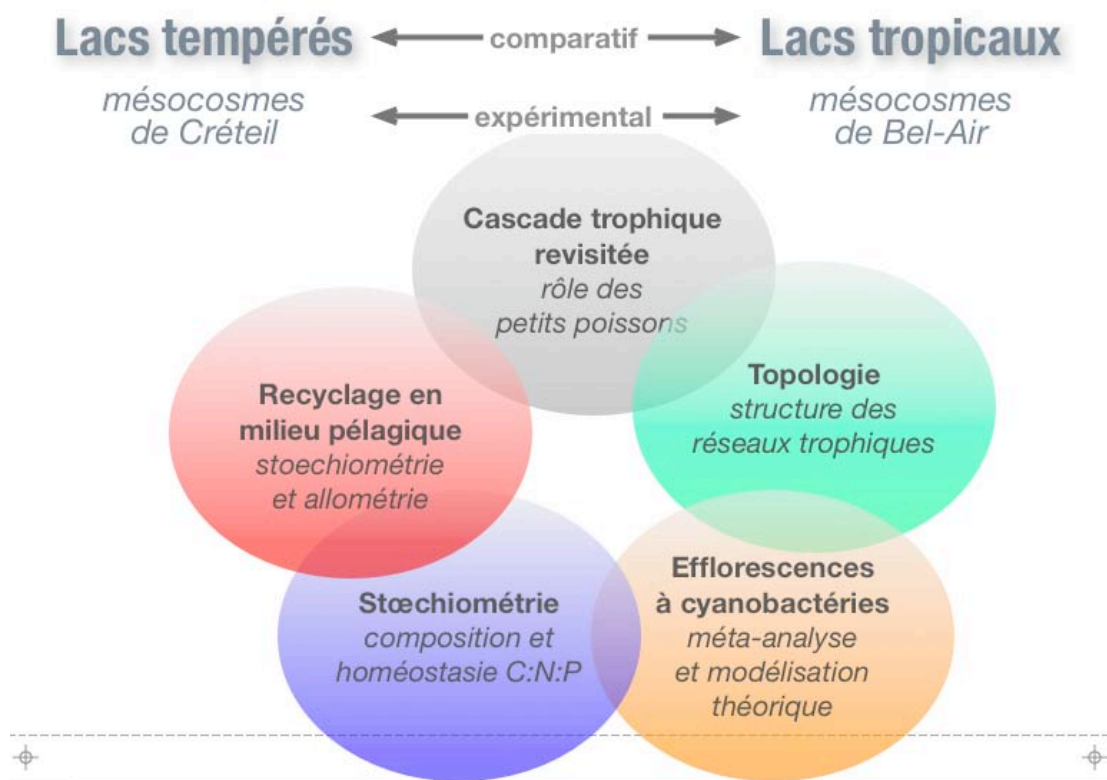


Figure 5 – Les cinq thématiques du projet CYBIOM, avec les approches comparatives (lacs tempérés vs. (sub)tropicaux) et les approches expérimentales en mésocosmes (Lac de Créteil, France vs. réservoir de Dakar-Bango, Sénégal, respectivement).

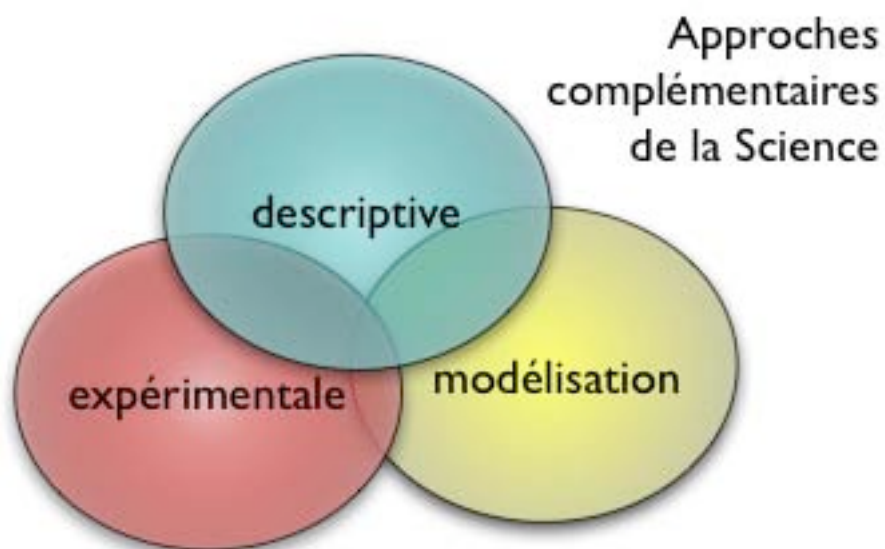


Figure 6 – Les trois approches méthodologiques de CYBIOM, complémentaires en sciences.

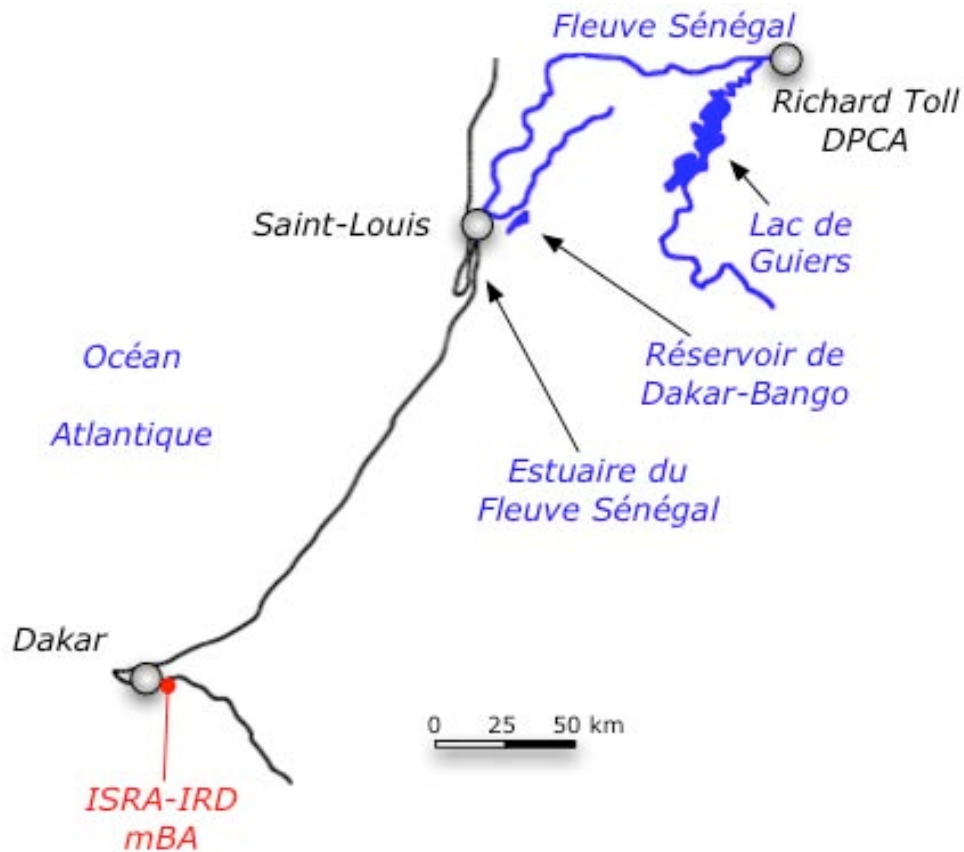


Figure 7 – Plan de localisation (i) du Campus ISRA-IRD et de la plateforme des mésocosmes de Bel-Air (mBA) à Dakar, (ii) du réservoir de Dakar-Bango (près de Saint-Louis) et du Lac de Guiers, tous deux à 300 km au Nord de Dakar, et (iii) de la Station d’Alevinage de la DPCA, près de Richard Toll (120 km au Nord-Est de Dakar-Bango).



**Plateforme
des mésocosmes
de Bel-Air (mBA)**
Campus mixte ISRA-IRD

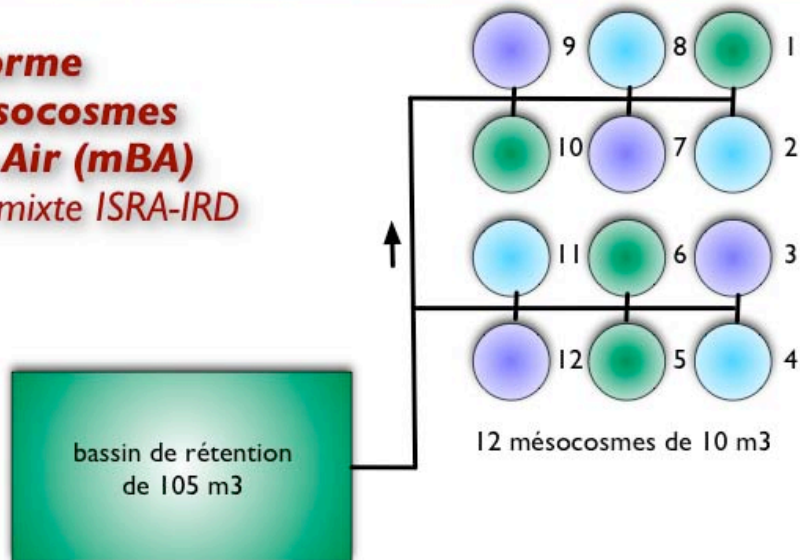
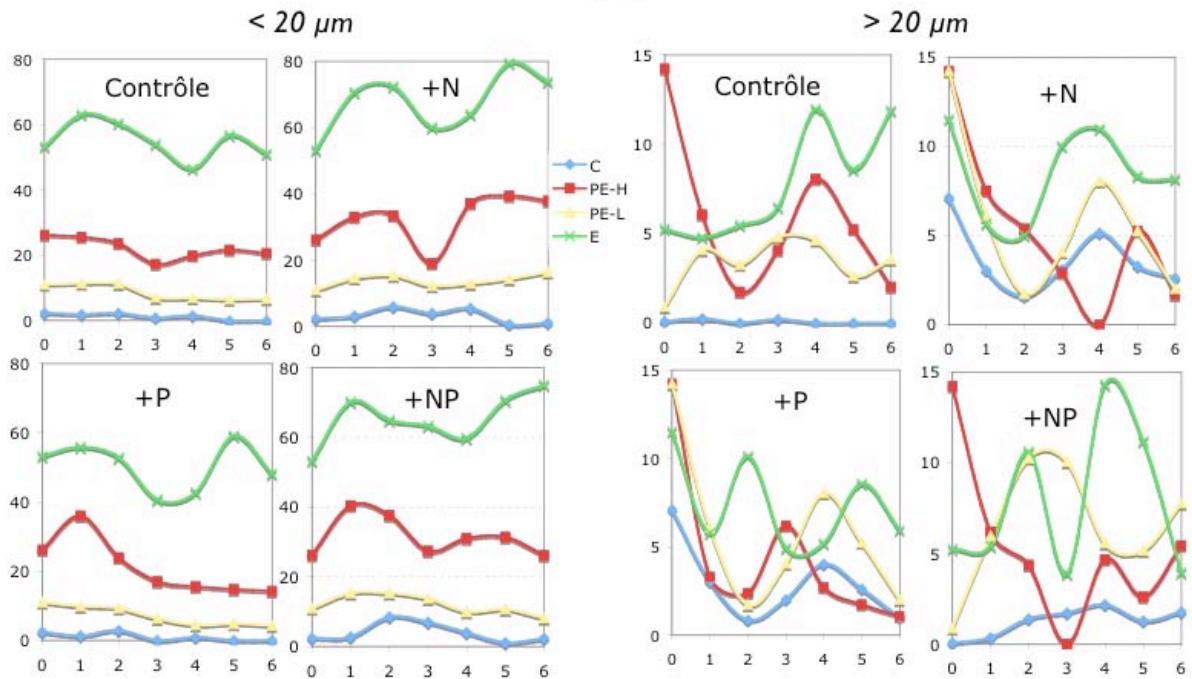


Figure 8 – Infrastructures de la Plateforme des mésocosmes de Bel-Air (MBA) sur le campus ISRA-IRD à Dakar, avec schéma de connexion entre le bassin de rétention et les 12 bassins expérimentaux .

Chlorophycées



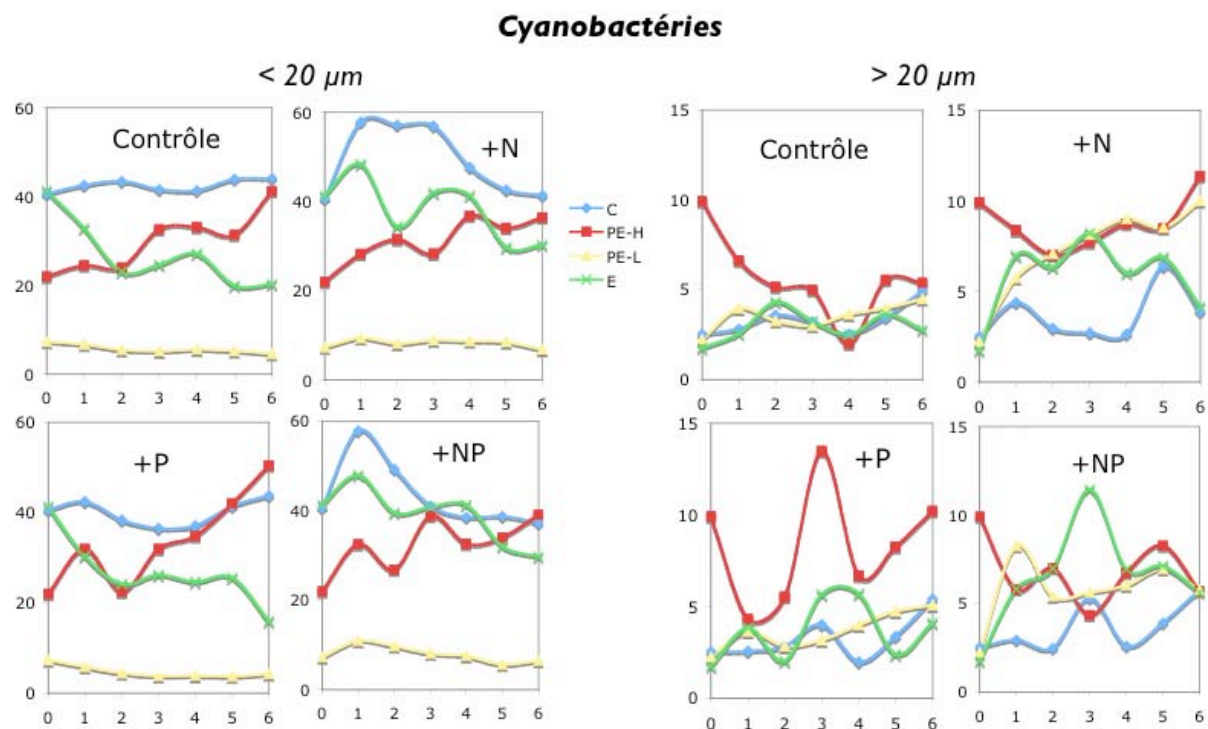


Figure 9. Expérience MBA05 : Effets de la présence de tilapia du Nil sur la limitation en N et P. Résultats des tests de limitation au cours de l'expérience sur la Plateforme de Bel-Air. Réponses de la concentration en chlorophylle (mesures par fluorescence *in vivo* avec la sonde Fluroroprobe BBE Moldaenke) aux ajouts de nutriments : Contrôle = sans ajout de nutriments ; + N = ajout de $5 \mu\text{M N/L}$ (NH_4) ; + P = ajout de $0,5 \mu\text{M P/L}$ (PO_4) ; + NP = ajout de $5 \mu\text{M N/L} + 0,5 \mu\text{M P/L}$ ($\text{NH}_4 + \text{PO}_4$). Mesures de l'évolution quotidienne (0-6 jours) des réponses des deux classes de taille Chlorophycées et des Cyanobactéries : l'une consommable par le zooplancton herbivore ($\leq 20 \mu\text{m}$) et l'autre inconsommable ($> 20 \mu\text{m}$), en fonction des traitements : C = contrôle sans poisson ; PE-H = effet global des tilapias (omnivorie + excréation, poissons libres) avec enrichissement (N:P = 10:1) des bassins ; PE-L = effet global des tilapias sans enrichissement ; effet seul de l'excrétion des tilapias (maintenus en cages moustiquaire) sans enrichissement des bassins (Lazzaro et al., non publié).

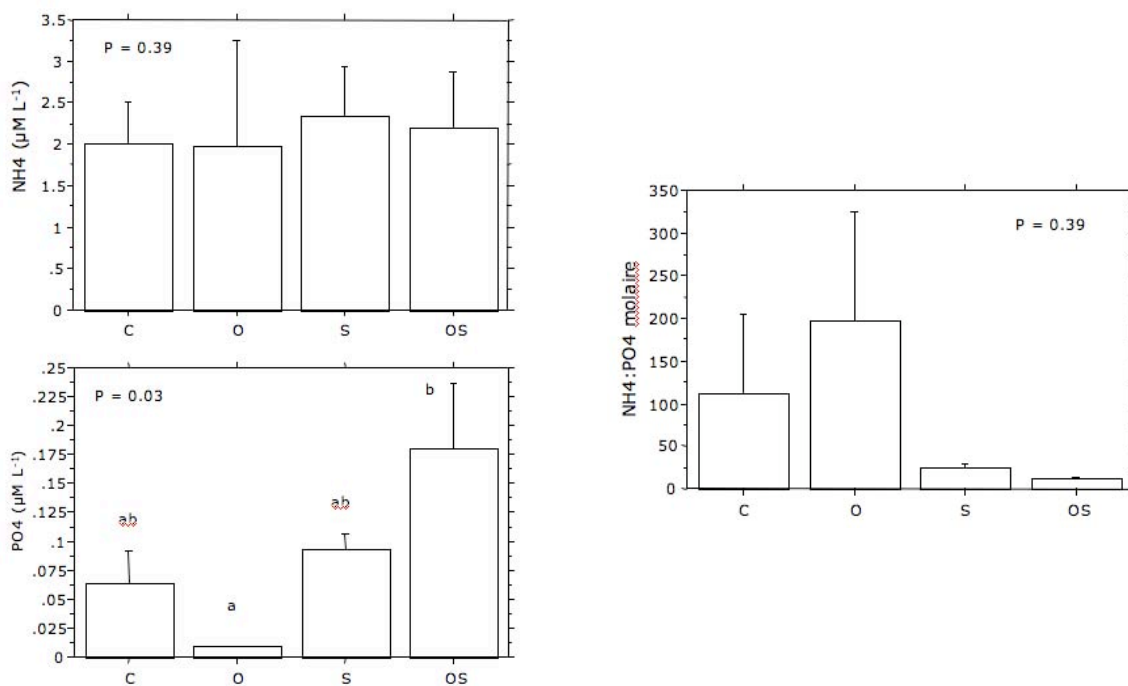


Figure 10 – Expérience MBA06 : Taux moyens d'excrétion (NH_4 et PO_4 en $\mu\text{M/L}$) et ratio d'excrétion ($\text{NH}_4:\text{PO}_4$, molaire) de la communauté du zooplancton dans les traitements : C = contrôle sans poisson ; O = *Oreochromis niloticus* ; S = *Sarotherodon melanotheron heudelotii* ; OS = *O. niloticus* et *S. m. heudelotii* combinés. Mesures sur 30 min, données non corrigées (Lazzaro et al., non publié).

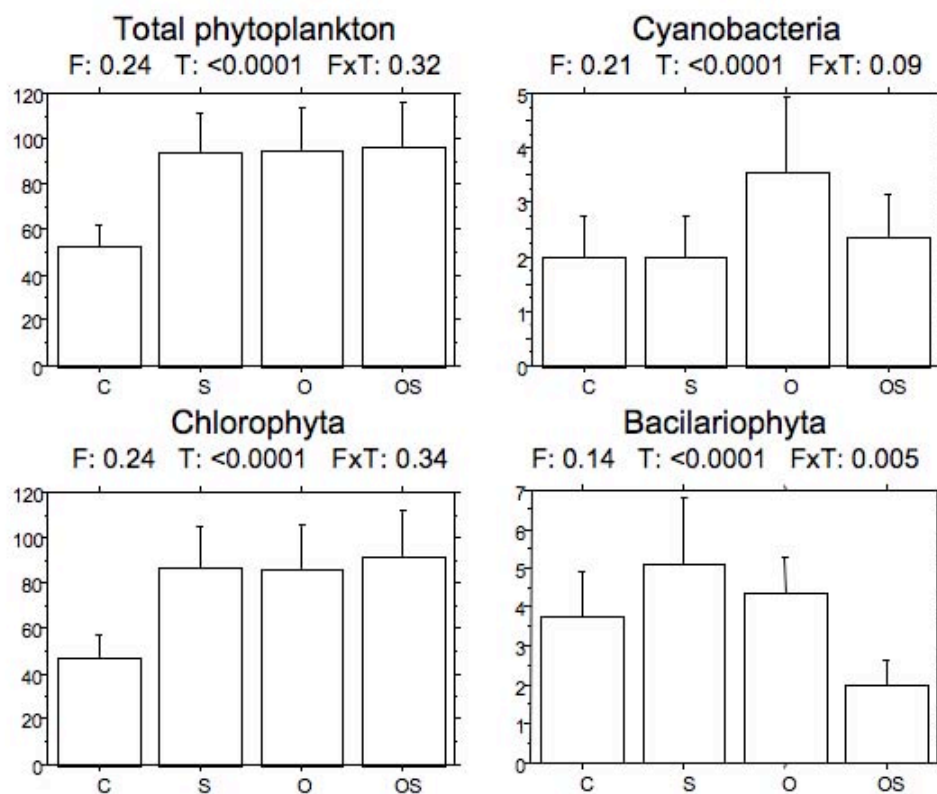


Figure 11 – Exp. MBA6 : Biomasses moyennes des trois principaux groupes du phytoplancton et du phytoplancton total, mesurées par fluorescence *in vivo* (BBE Moldaenke

probe) en $\mu\text{g Chl-a L}^{-1}$ en fonction des traitements : C = contrôle sans poisson, S = S. melanotheron heudelotii, O = Oreochromis niloticus, et OS = O niloticus + S. m. Heudelotii (Lazzaro et al., non publié).

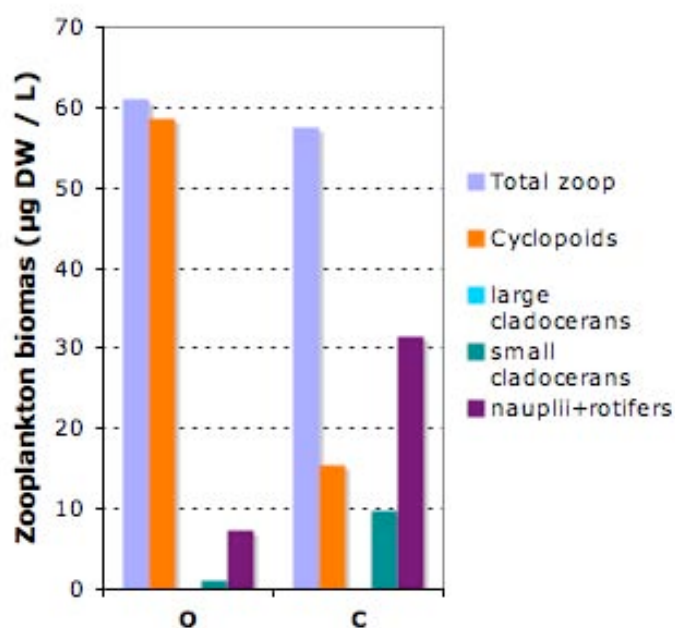
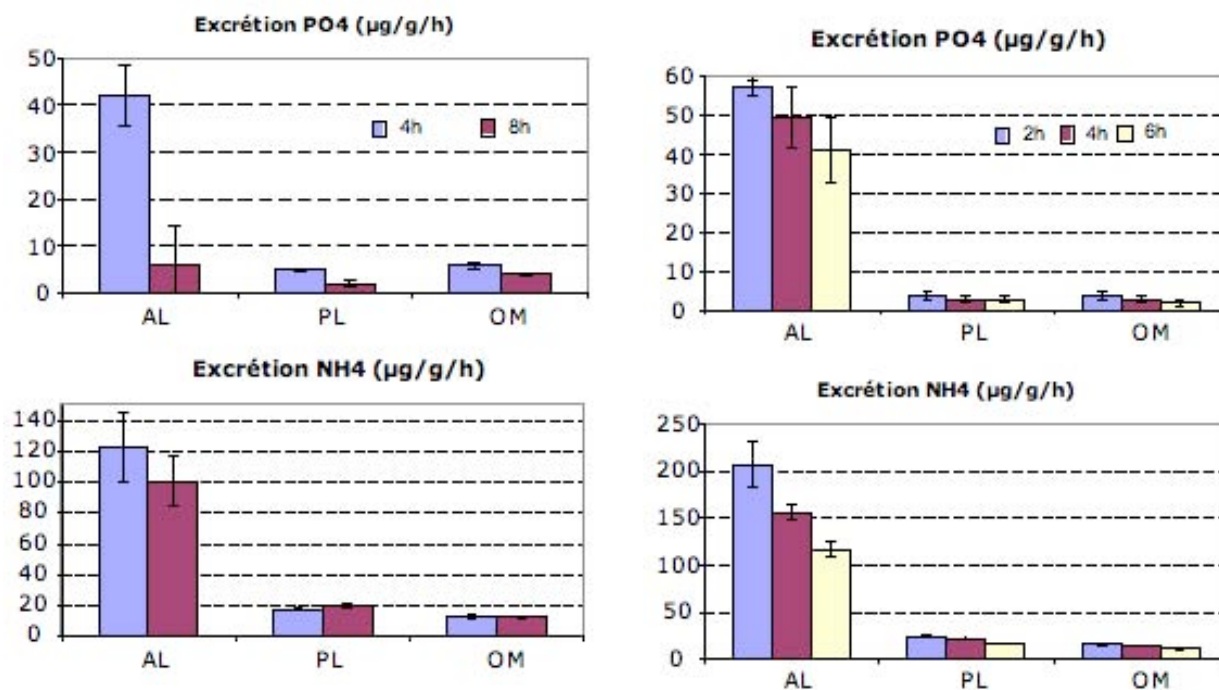


Figure 12 – Expérience MBA06 : Biomasses moyennes des principaux groupes du zooplancton et du zooplancton total ($\mu\text{g DW L}^{-1}$) en présence de *O. niloticus* (O) et en l'absence de poisson (C) (Lazzaro et al., non publié).



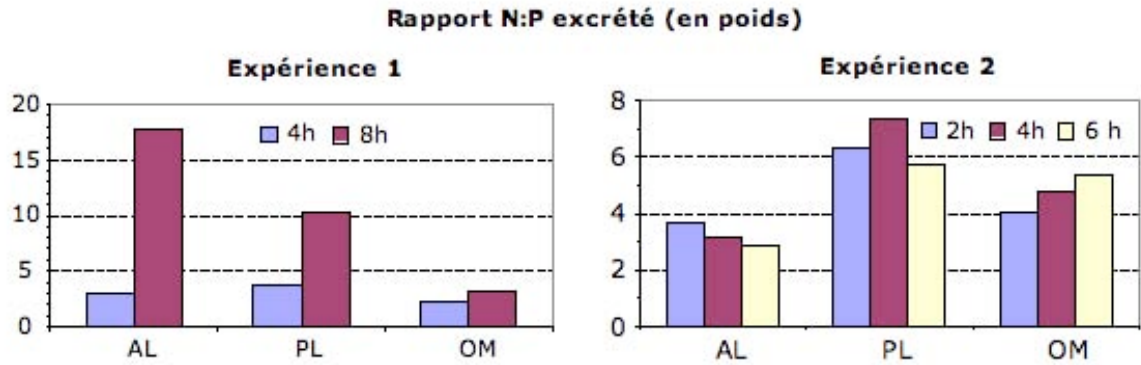


Figure 13. Taux d'excrétion (NH_4 et PO_4 en $\mu\text{g/g/h}$) et ratio d'excrétion ($\text{NH}_4:\text{PO}_4$, en poids) de trois classes d'âge de tilapia du Nil : AL = alevins zooplanconophages, PL = juvéniles planctonophages, OM = subadultes filtreurs omnivores. Résultats de deux expériences, mesures après 4h et 8h d'incubation (exp.1) et 2h, 4h et 6h (exp.2), réalisées avec les poissons, l'eau et le plancton de l'expérience en enceintes à Dakar-Bango (DB03) (Lazzaro et al., non publié).

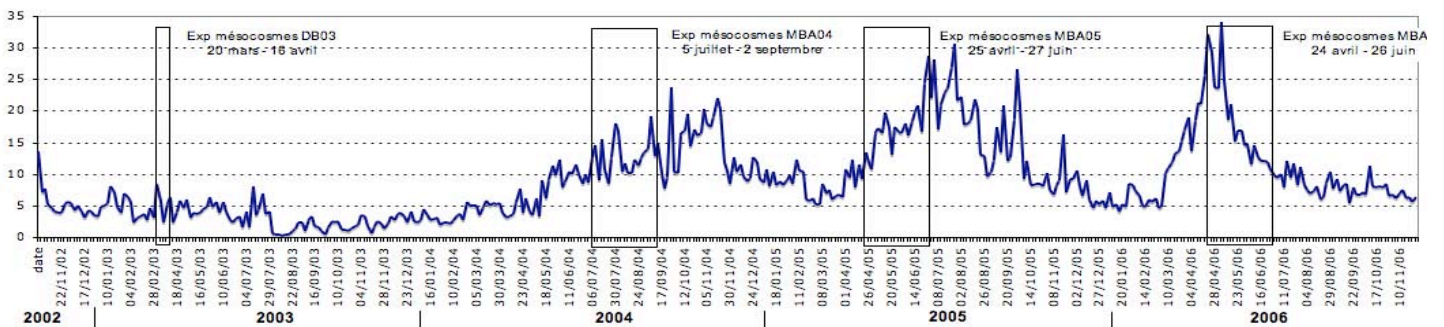


Figure 12. Evolution temporelle 2002-2006 de la concentration en chlorophylle ($\mu\text{g Chl-a L}^{-1}$) au cours du suivi bihebdomadaire du réservoir de Dakar-Bango réalisé par R. Arfi & D. Corbin dans le cadre du projet de l'UR IRD 167 CYROCO, avec indication des périodes de réalisation des expériences DB03, MBA04, MBA05 et MBA06 sur l'eau et le plancton de ce plan d'eau.

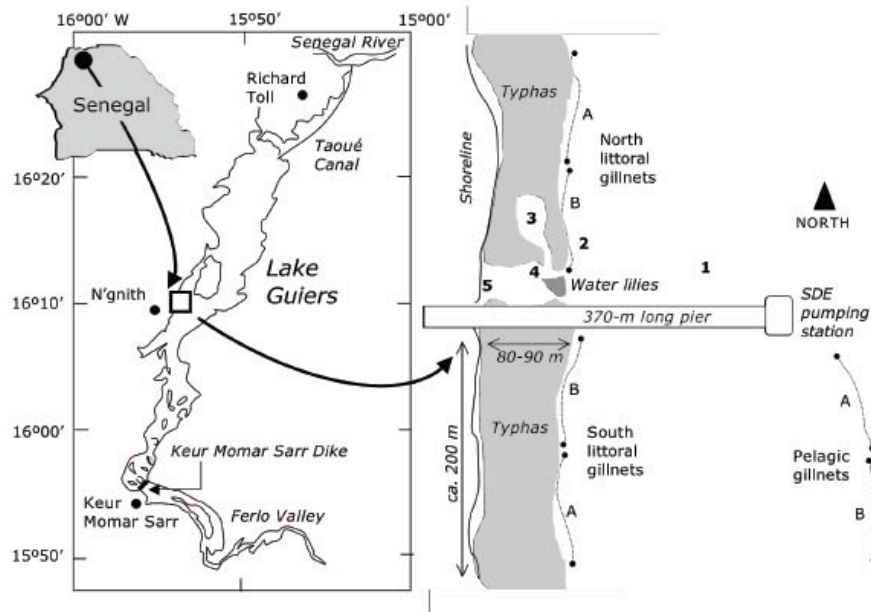


Figure 13 – Zone d'étude (carré ouvert) dans le Lac de Guiers, avec la localisation des stations d'échantillonnage pour le zooplancton (1-5), et les filets maillants (lignes pointillées). Ouvertures de mailles des filets maillants : A = 12, 25, 35, et 70 mm; B = 20, 30, 50, et 70 mm (Kâ et al., à soumettre).

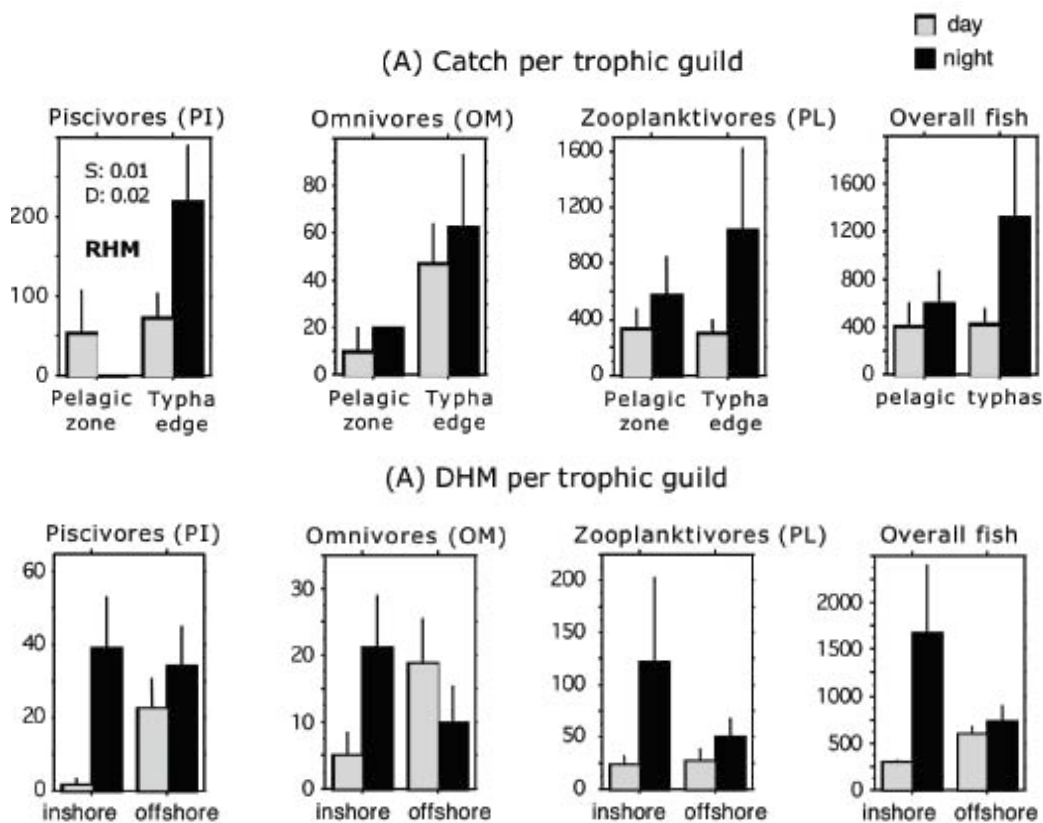


Figure 14 – Expérience LG03 : (haut) Variation de la capture moyenne par guilde trophique, entre la zone pélagique et la limite des typhas, pendant les périodes diurne et nocturne. Les captures sont exprimées en captures par unité d'effort (CPUE, ind. $1000 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (bas) Variation de la direction moyenne des poissons, par guilde trophique, dans les migrations horizontales (DHM, i.e. à la côte vs. vers le large) le long de la limite des typhas pendant les périodes diurne et nocturne. La direction est exprimée comme le pourcentage de la capture

globale (% CPUE, somme de tous les filets maillant) par période ; n/a = pas de capture (Kâ et al., à soumettre).

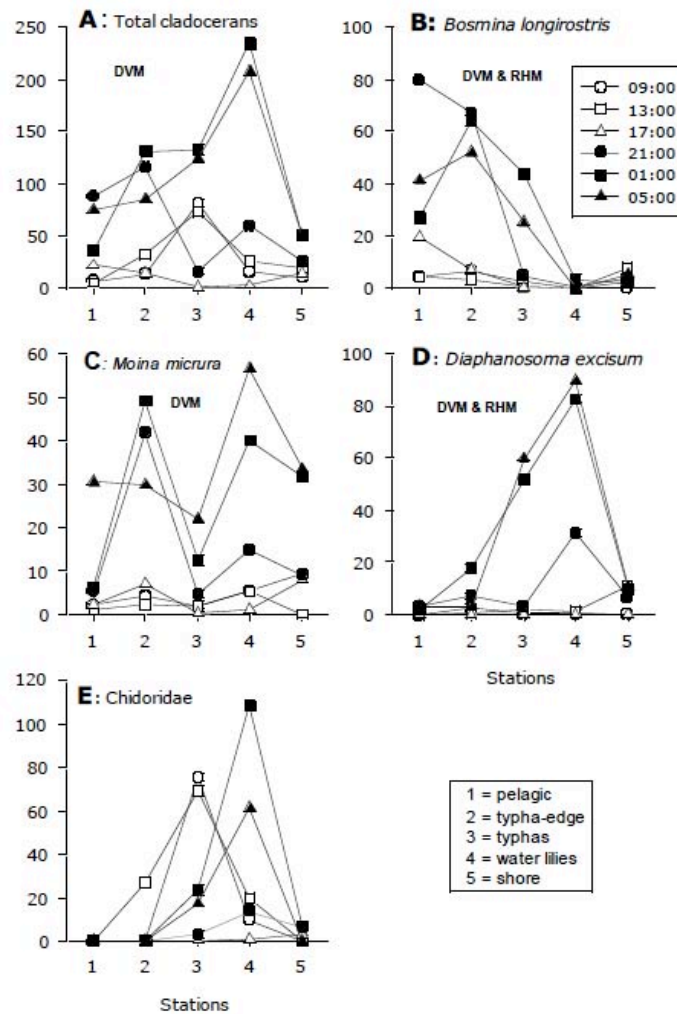


Figure 15 – Expérience LG03 : Variation nyctémérale des densités de cladocères le long des stations d'échantillonnage de la zone pélagique à littorale (Kâ et al., à soumettre).

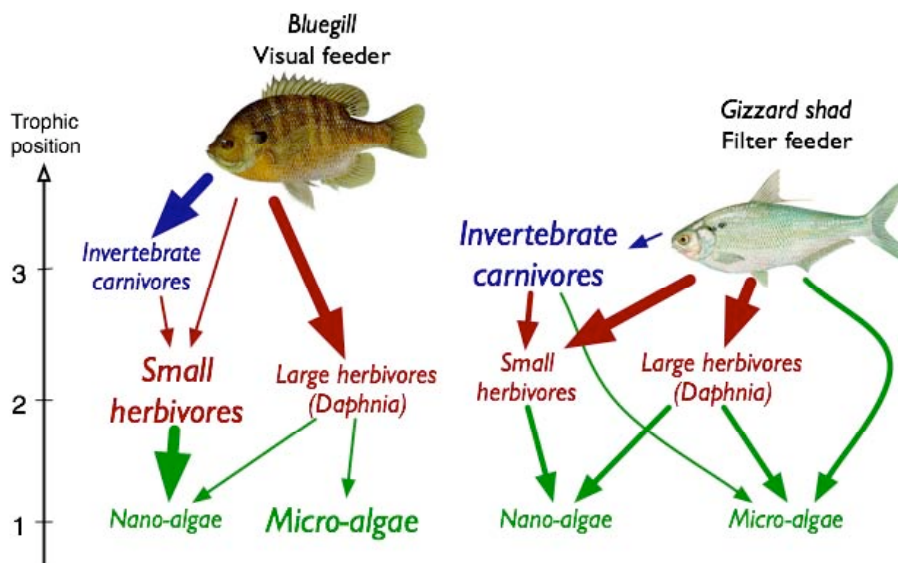


Figure 16 - Modèle topologique : Interactions hypothétiques de réseaux trophiques entre les groupes fonctionnels du plancton et la présence d'espèces modèles de poissons planctonophages de types de « foraging » distincts : soit le bluegill, un spécialiste prédateur visuel, ou le gizzard shad, un généraliste filtreur omnivore. Étant donné la définition de l'omnivorie (i.e., consommer des proies appartenant à plus d'un niveau trophique), les deux poissons planctonophages sont des omnivores. L'intensité du contrôle par la prédation et le broutage est indiquée par trois grosseurs de lignes. L'importance résultante (biomasse, richesse) des groupes fonctionnels est indiquée par trois tailles de police de caractères. Les positions trophiques des groupes fonctionnels sont indiquées par les positions verticales le long de l'axe y.

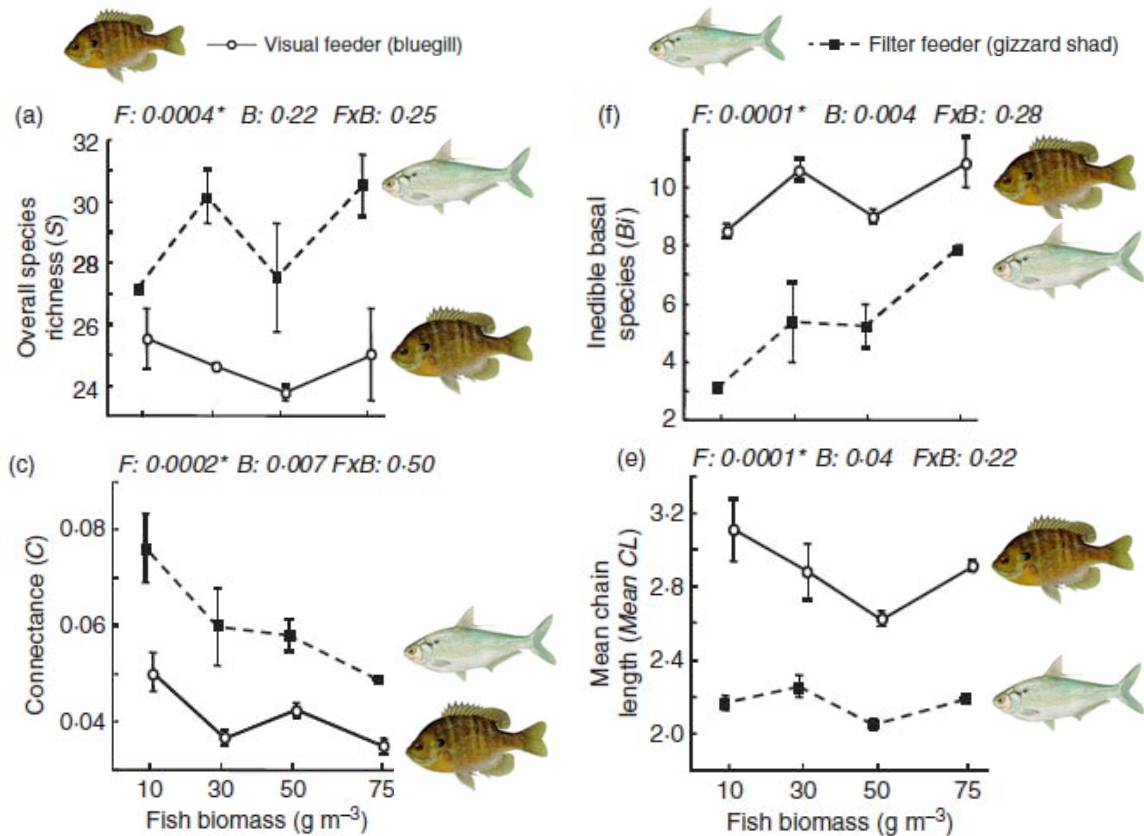


Figure 17 – Modèle topologique : Réponses moyennes des descripteurs de catégories trophiques pour la richesse spécifique, le nombre d'espèces basales non consommables, la connectance et la longueur moyenne des chaînes, prenant en compte 4 dates d'échantillonnage (jours 5, 12, 19 et 26). Les points de données et les barres d'erreur représentent la moyenne \pm SE de 8 valeurs (2 mésocosmes répliqués \times 4 dates d'échantillonnage). Les valeurs de probabilité obtenues à partir d'ANOVA en mesures répétées dans le temps pour les effets principaux du type de poisson planctonophage (F) et la biomasse des poissons (B), et leurs interactions (FxB) sont indiquées au-dessus de chaque graphe. Les astérisques indiquent les valeurs de probabilité significatives ($P < 0,05$) après ajustements séquentiels de Bonferroni (Lazzaro et al. 2009).

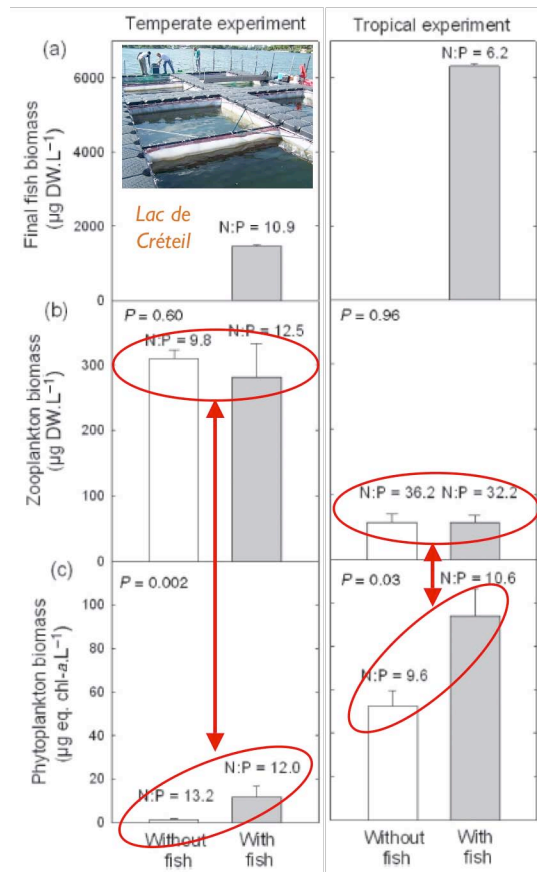


Figure 18 – Étude expérimentale comparative: Moyennes \pm SE des biomasses (a) des poissons en poids sec, (b) du zooplancton en poids sec, et (c) du phytoplancton en concentration en chlorophylle-a, sur une base volumétrique comparative, dans les traitements sans et avec poissons (gardon, *Rutilus rutilus*, et tilapia du Nil, *O. niloticus*, respectivement) des expériences tempérée (Lac de Créteil, région parisienne) et tropicale (réservoir de Dakar-Bango, Sénégal). Les données de phytoplancton et zooplancton correspondent aux valeurs moyennes de 4 et 2 dates d'échantillonnage dans les expériences tempérée et tropicale, respectivement. Les rapports molaires N:P des poissons (fondés sur Dantas & Attayde 2007), du zooplancton et du seston sont indiqués au-dessus des barres des graphes correspondants (Danger et al. 2009).

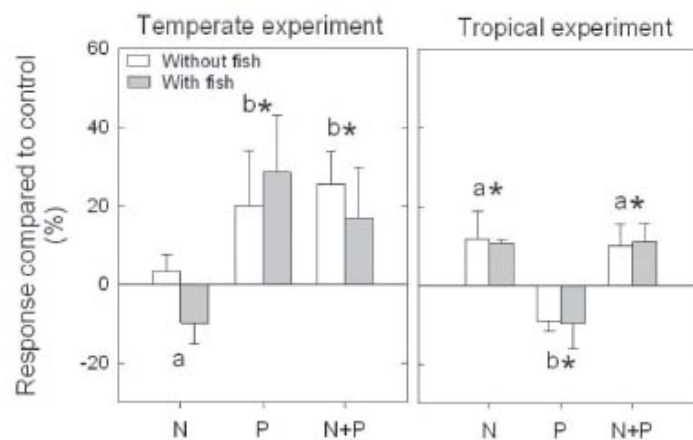


Figure 19 – Étude expérimentale comparative : Moyennes \pm SE des réponses du phytoplancton aux tests de limitation pour les expériences tempérée et tropicale, mesurées en fluorométrie *in vivo* avec la sonde BBE Moldaenke. Abréviations : N = enrichissement en

azote, P = enrichissement en phosphore, $N+P$ = enrichissement en azote plus phosphore.

Pour chaque enrichissement (E), la réponse est calculée comme le pourcentage d'augmentation (positif) ou de diminution (négatif) par rapport au niveau de contrôle non enrichi (C), i.e., $(ExC)*100/C$. Les nutriments limitants sont indiqués par des croissances positives. Les différences dans les réponses quantitatives entre les additions de nutriments sont indiquées par une lettre, fondées sur des tests posthoc de Tukey. Les réponses significatives positives et négatives (i.e., différences avec la valeur zéro) sont indiquées par une astérisque (Danger et al. 2009).

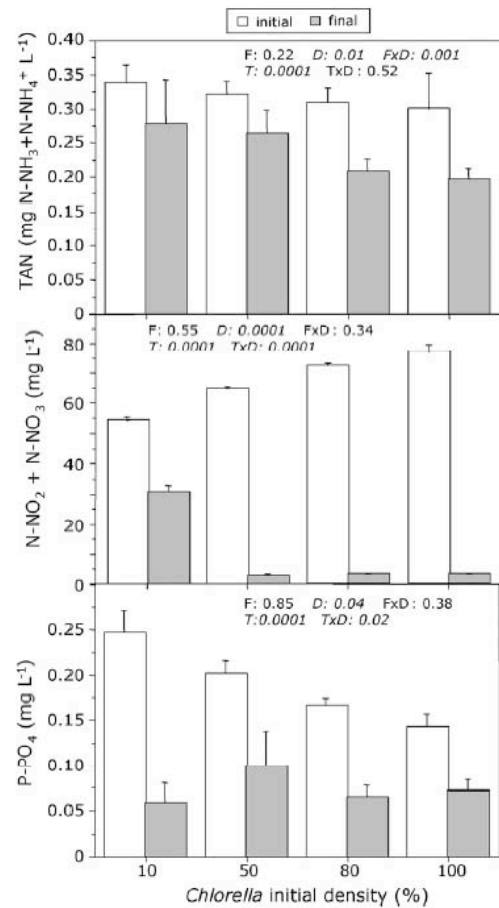


Figure 20 – Mutualisme Chlorella – Sarotherodon : Réponses moyennes des concentrations en TAN (i.e., $NH_3 + NH_4$), $NO_2 + NO_3$, et PO_4 au traitement poisson (F), aux concentrations initiales en Chlorella (D) et au temps (T). Valeurs significatives ($P < 0,05$) indiquées en italiques. Tests post hoc de Tukey significatifs ($P < 0,005$) indiqués par des lettres au-dessus des barres (Gilles et al. 2008).