

Indicateurs de pression anthropique

Menaces liées à l'eutrophisation

Nutriments
Concentrations en chlorophylle
Composition des communautés planctoniques de petite taille

Robert Arfi et Martine Rodier, IRD, Centre de Nouméa

Hugues Lemonnier, Ifremer, Délégation de Nouvelle Calédonie

Eutrophisation : définitions

- *Eau « eutrophe » : eau riche en nutriments*
- Eutrophisation : évolution vers un état « enrichi »
- Désigne à la fois les *causes* (apport de **nutriments**) et les *conséquences* de la *fertilisation* du milieu (développement de **phytoplancton** et de **macrophytes**, parfois excessif)
- Implicite : **dégradation** du milieu

Eutrophisation : définitions

- Suivi des éléments nutritifs et du phytoplancton dans les zones à problèmes
- Estimation des causes : nutriments
- Estimation des effets directs et indirects de l'eutrophisation : chlorophylle, biomasse et communautés phytoplanctoniques, oxygène dissous, matière organique...
- Cohérent avec la notion d'état du milieu

Eutrophisation : mécanismes

Production primaire : autotrophie ↔ hétérotrophie

autotrophie (photosynthèse) →



← hétérotrophie (oxydation)

En milieu aquatique, autotrophie assurée par micro-
(phytoplancton, microphytobenthos) et macrophytes
(phanérogames, macroalgues)

Selon les conditions du milieu (géomorphologie, marées,
vents), l'oxygène dissous peut s'épuiser et des
processus anaérobies se mettent en place

Eutrophisation : conséquences

- Production, accumulation puis dégradation de la biomasse
- Variation des teneurs en O_2 (sursaturation $\rightleftharpoons$ anoxie)
- Modification des communautés vivantes
- Nuisances spécifiques (gènes / mortalités liées à l'anoxie, à la toxicité, ...)
- Impact : économique, sanitaire, visuel, olfactif...

Eutrophisation : choix et pertinence des indicateurs

On peut s'intéresser

- aux facteurs déclenchant : nutriments
- aux conséquences : teneurs en MO, proxy de la biomasse végétale ou des communautés algales, niveau d'oxygénation du milieu

Choix et pertinence d'un indicateur

- Représentatif d'une large amplitude de variation
- Pertinent sur la durée
- Facilité, simplicité et rapidité des opérations
(échantillonnage, conditionnement, conservation, mesure, traitement des données)
- Possibilité d'automatisation
- Niveau technique et technologique relativement bas
- Faible coût d'investissement et de fonctionnement
- Méthodes standardisées
- Définition de niveaux critiques ou d'alerte (risque)

Indicateur : nutriments

- Présents dans les milieux aquatiques
- Limitant ou co-limitant, utilisés par divers consommateurs : bactéries, phytoplancton, micro- et macrobenthos (éventuelle concurrence)
- Intervenant à l'état de traces (fer, autres métaux, vitamines) ou en quantités importantes (silicates, orthophosphates, ammonium, nitrates)
- Origine naturelle / anthropique, apports diffus / massifs
- Répartition spatiale avec gradients : estuaires, zones d'interfaces, maximums profonds...
- Répartition temporelle : saisonnalité des apports naturels

Indicateur : nutriments

- Concentrations spécifiques dans le milieu
- Rapports entre composés (dont le N/P)
- En complément d'autres indicateurs
- Conséquences de l'enrichissement ne pouvant être prédites de manière certaine par référence à un(des) critère(s) simplificateur(s) basé(s) sur une concentration en nutriment

Nutriments : limites de l'indicateur

- Croissance d'une biomasse = épuisement de sa nourriture (biomasse à son maximum quand concentration en nutriments à son minimum)
- Limitation de la croissance algale = épuisement d'un nutriment et/ou facteurs physiques (lumière, température) et/ou chimiques (salinité)
- Hydrodynamisme : remise à disposition des nutriments pour les espèces pélagiques et dispersion des nutriments de zones enrichies (notion de temps de résidence des eaux)
- Nécessité de phasage spatial et temporel entre apports nutritifs et conditions favorables à la production

Nutriments : variables suivies

- Mesure des formes dissoutes des éléments, mobilisables et rapidement assimilables (formes particulières : complexées avec d'autres éléments et donc plus réfractaire)
- Concentrations en ammonium, nitrates et en orthophosphates ($\mu\text{M L}^{-1}$ ou mg L^{-1})
- Spécifiques des types de rejets :
 - ammonium $\rightarrow$ aquacole et urbain
 - nitrates $\rightarrow$ agricole
 - phosphates $\rightarrow$: agricole / urbain / industriel

Stratégie d'échantillonnage

- Prélèvements en sub-surface au niveau des points source des apports (estuaires, émissaires, arroyos...)
- Fréquence adaptée, réaliste au niveau opérationnel, proche de ce qui est fait en hydrologie
- Bon compromis : échantillon composite quotidien (préleveur automatique réfrigéré)
- Installation d'un autoanalyseur automatique multi-éléments *in situ*
- Stations réparties le long d'une radiale côte – large à partir de la source + une référence en zone littorale non impactée

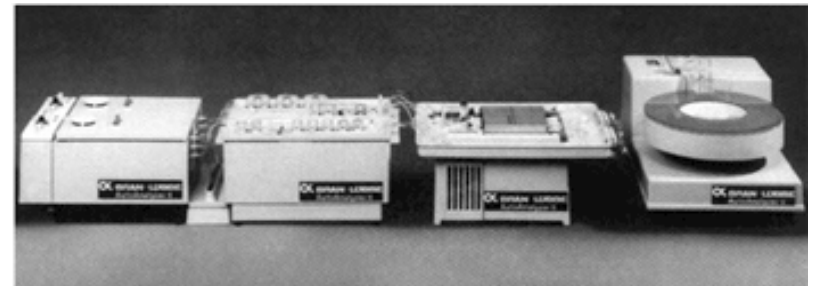
Opérations de terrain

- Prélèvement : petite embarcation, moyen de levage léger, bouteilles de type Niskin
- Autoanalyseur in situ ou préleveur automatique en bordure de la zone source, avec mélange de sous-échantillons collectés à plus haute fréquence
- Ammonium : mesures faites aussi rapidement que possible après échantillonnage
- Nitrates et orthophosphates : échantillons stockés à -20°C pour éviter toute modification chimique et biologique



Nutriments : opérations de laboratoire

- Après éventuelle décongélation à température ambiante, nitrates et orthophosphates analysés par colorimétrie (mesures automatisées en flux continu recommandées)
- Ammonium : analyses par colorimétrie ou fluorimétrie
- Calcul des concentrations : gammes de calibration pour les différents composés (effets de sel, dilutions)
- Emploi recommandé de standards certifiés

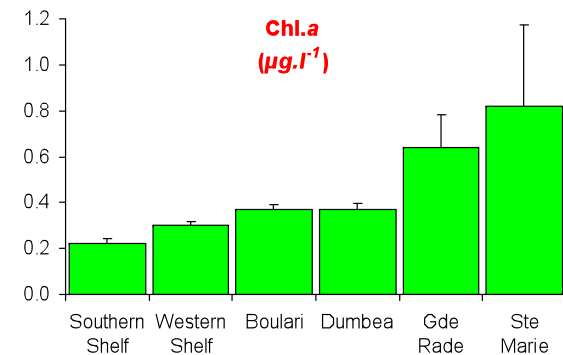


Nutriments : grille de lecture

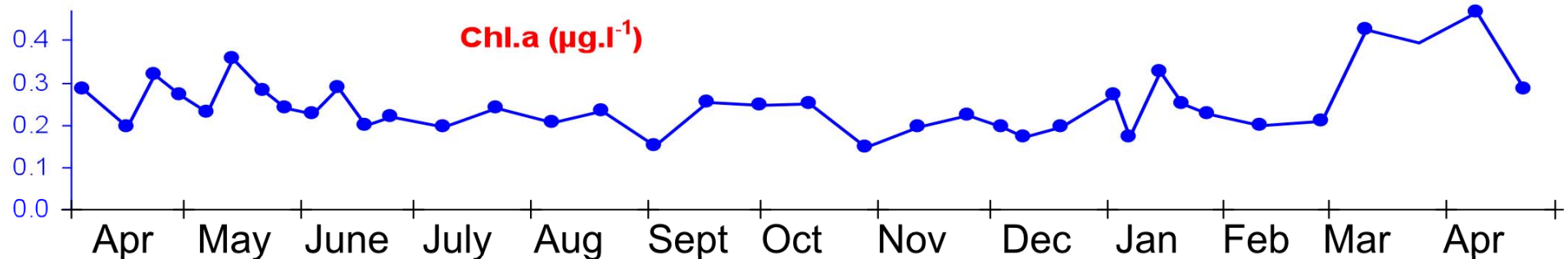
Lagons de NC	Ammonium	Nitrates	Orthophosphates
Fond de baie, littoral	[lim→0,5] ➡ 1,0] ...☹	[lim→2,0] ➡ 2,0] ...☹	[lim→0,5] ➡ 2,0] ...☹
Lagon en milieu côtier	[lim→0,3] ➡ 0,7] ...☹	[lim→0,5] ➡ 3,0] ...☹	[lim→0,3] ➡ 1,0] ...☹
Proche récif barrière	[lim→0,2] ➡ 0,5] ...☹	[lim→0,1] ➡ 0,7] ...☹	[lim→0,1] ➡ 0,2] ...☹

Indicateur : Chlorophylle *a*

- Indicateur (proxy) de la biomasse phytoplanctonique
- Origine naturelle / anthropique, apports diffus /massifs
- Répartition spatiale avec gradients : estuaires, zones d'interfaces, ...
- Variabilité temporelle +/- limitée



Jacquet et al. 2006



Torréton et Jacquet, 2005

Indicateur : Chlorophylle *a*

- Concentrations spécifiques en fonction des milieux (oligotrophe à eutrophe)
- Signe précoce d'un « changement » du milieu (caractéristiques, fonctionnement)
- Conséquences de l'enrichissement
- Indicateur robuste (reproductible, très utilisé)
- En complément d'autres paramètres

0,2 $\mu\text{g l}^{-1}$

200 $\mu\text{g l}^{-1}$

Oligotrophe

hypereutrophe

Chlorophylle *a* : limites de l'indicateur

- Information limitée (quantitative) sur le compartiment phytoplanctonique
- Robuste, signal parfois fugace
- Limitation de la croissance algale = épuisement d'un nutriment et/ou effet des facteurs physiques (lumière, température) et/ou chimiques (salinité) (exemple des arroyos dans les mangroves)
- Nécessité de phasage spatial et temporel entre apports nutritifs et conditions favorables à la production
- Grazing (production primaire plus adaptée)

Chlorophylle *a*: variable suivie

- Concentration en chlorophylle *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$ ou mg m^{-3})
- Possible de fournir une mesure de cette variable intégrée sur la colonne d'eau (mg m^{-2})

Chlorophylle *a*: stratégie d'échantillonnage

- Fréquence d'échantillonnage adaptée, réaliste au niveau opérationnel, mais suffisante pour observer les grandes tendances
- Prélèvement à différents niveaux dans la colonne d'eau si stratification
- Échantillonnage de stations réparties le long d'une radiale côte – large à partir de la source + une référence en zone littorale non impactée



Chlorophylle *a* : opérations de terrain

- Prélèvement : petite embarcation, moyen de levage léger, bouteilles de type Niskin
- Prélèvement de 100 mL à 1 L par échantillon. Conservation à l'abri de la lumière et au frais (glacière)
- Filtration au laboratoire sur filtre GF/F 25 mm
- Échantillons conservés à -80°C (ou à défaut à -20°C) avant analyse



Chlorophylle a : opérations de laboratoire

- Après éventuelle décongélation à température ambiante, le filtre est placé dans un tube en verre avec solvant pour extraction
- Analyse de la fluorescence sur extrait au moyen d'un fluorimètre
- Calcul des concentrations : gamme de calibration pour la chlorophylle a
- Calibration : emploi d'un standard certifié

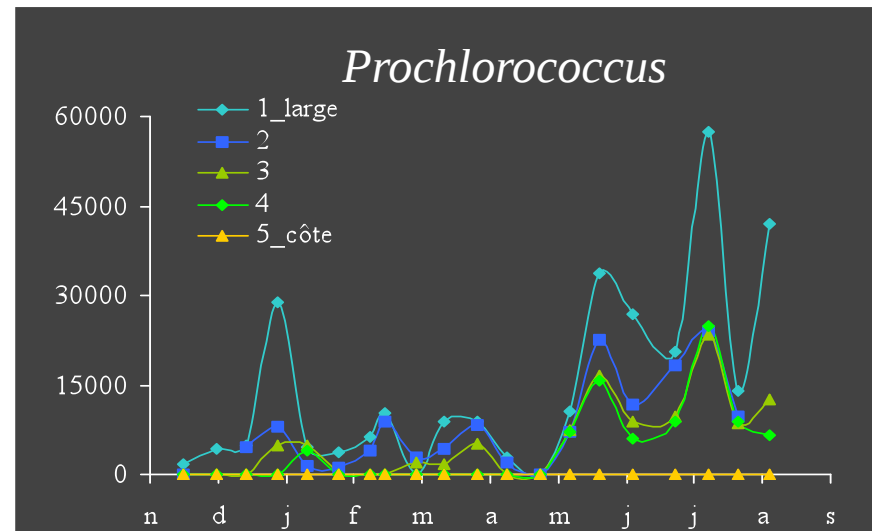
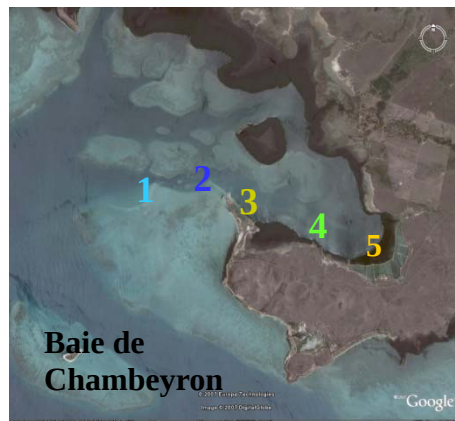


Chlorophylle *a* : grille de lecture (lagons de NC)

Milieu	« Normal »	« Perturbé »	« Eutrophisé »	
Fond de baie, littoral	0,2 – 1,5	1,5 – 5,0	> 5,0	[0,2◊ 1,5] Φ 5,0] ...Λ
Lagon en milieu côtier	0,1 – 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0	[0,1◊ 1,0] Φ 2,0] ...Λ
Proche récif barrière	< 0,3	Upwelling, bloom : > 0,3	> 0,5	[0,05◊ 0,3] Φ 0,5] ...Λ

Indicateur : communautés planctoniques < 20 μm

- Présentes dans les milieux aquatiques
- Origine naturelle / anthropique, apports diffus / massifs
- Répartition spatiale avec gradients : estuaires, zones d'interfaces, ...
- Répartition temporelle : saisonnalité des communautés



Indicateur : communautés planctoniques < 20 μm

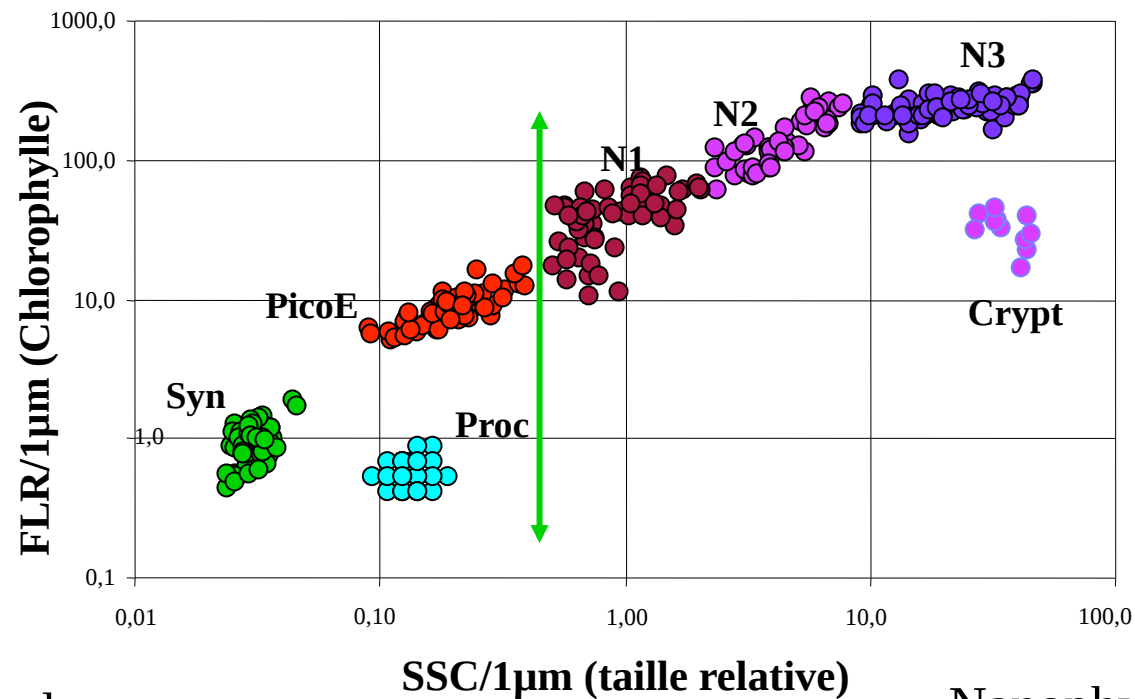
- Abondances spécifiques dans le milieu
- Dominance d'une population
- Signe précoce et sensible d'un « changement » du milieu
- Conséquences de l'enrichissement
- En complément d'autres indicateurs (Chl a...)

Limites

- Croissance d'une biomasse = épuisement de sa nourriture (biomasse à son maximum quand concentration en nutriments à son minimum)
- Limitation de la croissance algale = épuisement d'un nutriment et/ou facteurs physiques (lumière, température) et/ou chimiques (salinité)
- Grazing : fort impact sur les abondances
- Nécessité de phasage spatial et temporel entre apports nutritifs et conditions favorables à la production

Variables suivies

- Abondances des cellules appartenant aux différents groupes cytométriques identifiés (entre 0,2 et 20 μm)
- Abondances qui s'expriment en nombre de cellules par mL^{-1}



Picophytoplankton
3 à 4 classes de taille

Nanophytoplankton
+ 4 classes de taille

Stratégie d'échantillonnage

- Fréquence d'échantillonnage adaptée, réaliste au niveau opérationnel, mais suffisante pour observer les grandes tendances
- Prélèvement à différents niveaux dans la colonne d'eau si stratification
- Échantillonnage de stations réparties le long d'une radiale côte – large à partir de la source + une référence en zone littorale non impactée

Opérations de terrain

- Prélèvement : petite embarcation, moyen de levage léger, bouteilles de type Niskin
- Prélèvement de 2 mL par échantillon. Conservation à l'abri de la lumière et au frais (glacière) dans un cryotube
- Les échantillons peuvent être conservés à -80°C ou dans de l'azote liquide après ajout d'un fixateur

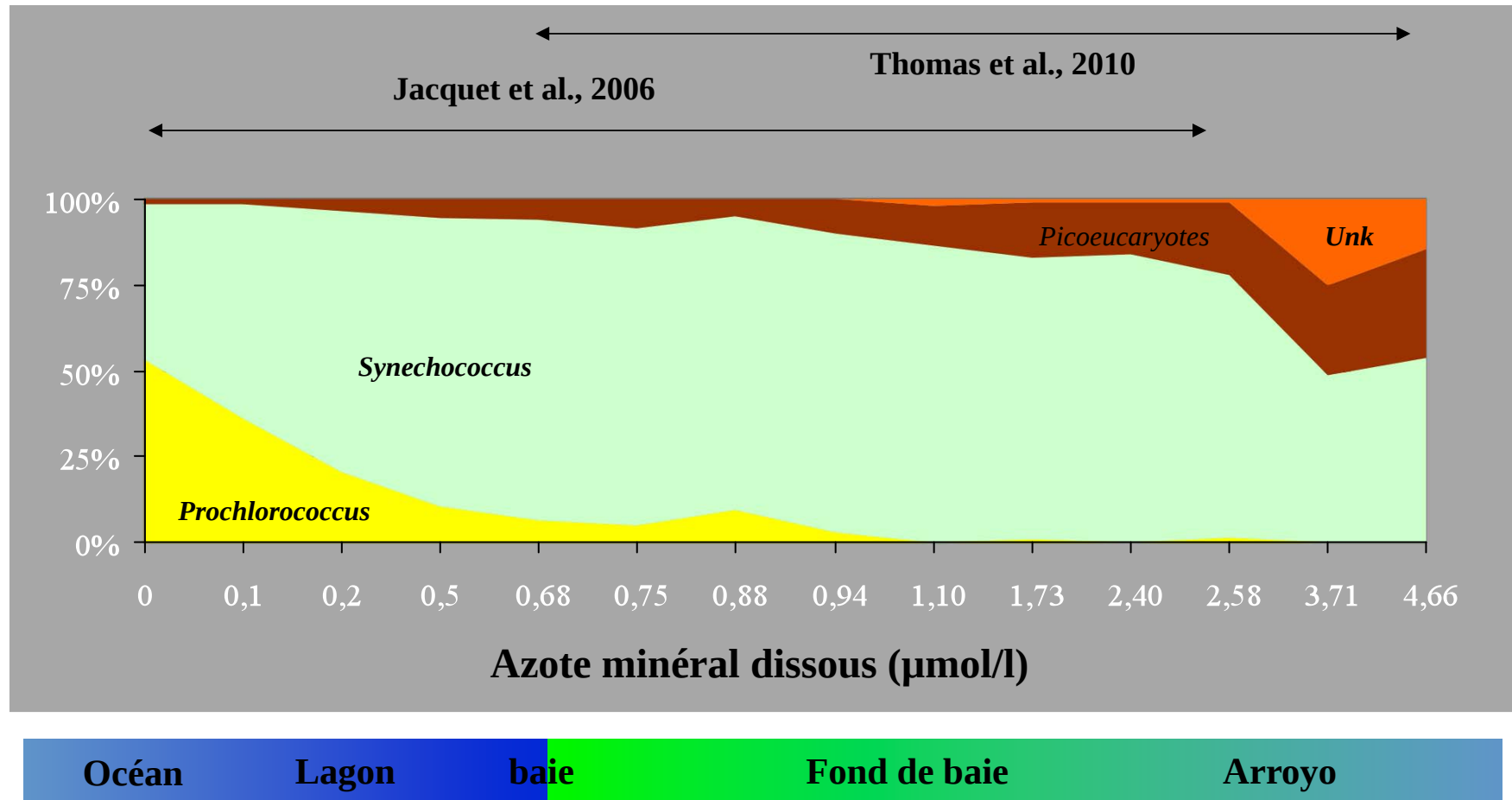
Opérations de laboratoire

- Après éventuelle décongélation à température ambiante et ajout d'un standard, comptage des cellules en fonction de leurs propriétés à l'aide d'un cytomètre

Pour les bactéries,
marquage à l'aide d'un
fluorochrome des acides
nucléiques des cellules



Grille de lecture (Lagons de NC)



Réponse à une augmentation de l'enrichissement en azote

Conclusions

Proposition de trois indicateurs complémentaires

- Éléments nutritifs (cause)
- Chlorophylle *a* (conséquence)
- Communautés phytoplanctoniques (conséquence)

Autres possibilités : carbone organique, oxygène, pH...

Indices globaux ; plusieurs indicateurs pour une même cause

Conclusions : pertinence, facilité, coûts

Critères	Nutriments	Chl. a	Communautés
Représentativité de l'amplitude de variation	😊	😊	😊
Pertinence sur la durée	😊	😊	😊
Facilité, simplicité et rapidité des opérations			
Échantillonnage, conditionnement, conservation	😊	😊	😊
Analyse, mesure	😞	😊	😊
Traitement des données	😊	😊	😞
Possibilité d'automatisation	😊	😐	😊
Niveau technique et technologique	😞	😐	😞😞
Coût d'investissement	😞	😊	😞😞
Coût de fonctionnement	😐	😊	😐
Standardisation des méthodes	😊	😊	😊
Définition de niveaux critiques ou d'alerte (risque)	😊	😊	😞

Bibliographie



Le journal périodique Marine Pollution Bulletin (ed. Elsevier) a consacré un numéro spécial entièrement dédié aux recherches sur les lagons de la Nouvelle Calédonie.

26 publications