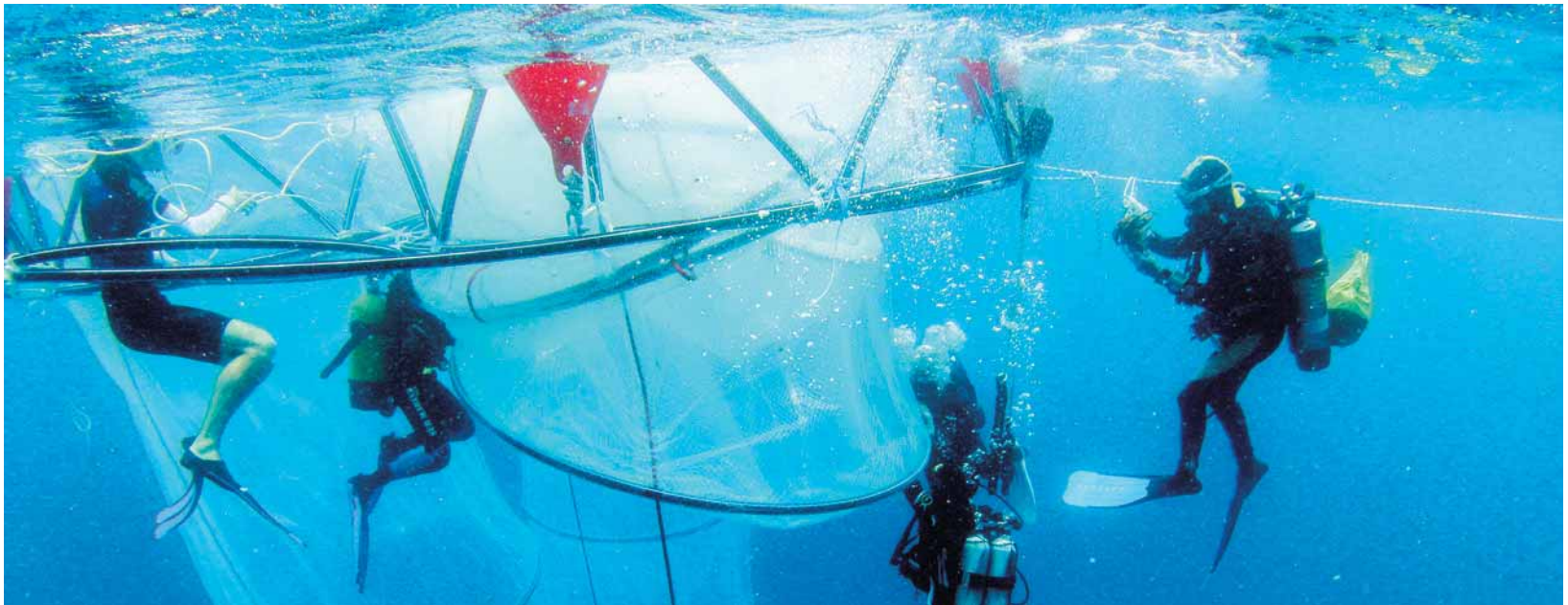


Des eaux cristallines qui regorgent d'organismes microscopiques

Sophie Bonnet, Renaud Fichez, Cécile Dupouy et Martine Rodier



Mésocosmes déployés dans le cadre du projet Vahine en Nouvelle-Calédonie. © IRD/J.-M. Boré et IRD/E. Folcher

Les récifs coralliens et les lagons de Nouvelle-Calédonie baignent principalement dans des eaux aux allures cristallines. Cette clarté de l'eau, ou oligotrophie (eau faiblement nourrie, du grec « oligo », peu, « trophéin », nourrir), provient des très faibles concentrations en éléments nutritifs des eaux de la province océanique qui entourent la Nouvelle-Calédonie et qui pénètrent dans le lagon sous l'action des courants de marée ou du déferlement par-dessus le récif. Les programmes de recherche conduits sur le lagon ont permis d'identifier deux grands facteurs structurants qui expliquent, à eux seuls, l'essentiel de la variabilité spatiale des caractéristiques des eaux (FICHEZ *et al.*, 2010) : un gradient d'enrichissement trophique et un gradient de salinité qui manifestent clairement que les eaux du lagon

font l'objet d'une lutte d'influence permanente entre les apports de l'océan et ceux de la terre. Si l'enrichissement trophique au voisinage de la côte peut-être imputable à des facteurs naturels liés en particulier au temps de renouvellement élevé des eaux dans les zones les plus abritées, certains sites s'écartent résolument de ce schéma d'organisation général, révélant des conditions d'enrichissement anormales principalement attribuables aux rejets en eaux usées au voisinage des zones urbanisées. Par ailleurs les variations saisonnières et interannuelles de température et salinité sont amplifiées sur la côte ; les baies jouent ainsi un rôle de caisse de résonance dans le fonctionnement physique du lagon, avec des répercussions tant dans la répartition des espèces que dans la vulnérabilité des milieux.

Si les récifs coralliens et les lagons de Nouvelle-Calédonie baignent principalement dans des eaux aux allures cristallines, chacune des gouttes d'eau qui composent le lagon regorge de millions d'organismes microscopiques qui constituent le plancton (du grec « phyton », plante et « planktos », qui dérive au gré des courants) et qui se sont remarquablement adaptés à l'environnement très spécifique qui les accueille et les transporte au gré des courants.

Méconnus car invisibles à l'œil nu, ces micro-organismes en suspension dans l'eau de mer sont composés en majorité de bactéries, de microalgues (aussi appelées « phytoplancton »), et de plancton animal (aussi appelé « zooplancton »). À l'instar des végétaux terrestres, le phytoplancton est composé d'organismes photosynthétiques pourvus de chlorophylle grâce à laquelle il peut capter l'énergie solaire. La lumière du soleil, le dioxyde de carbone (CO_2) et les sels minéraux dissous dans l'eau (l'azote, le phosphore, les micronutriments) suffisent au phytoplancton pour croître et se développer. Le phytoplancton joue un rôle clé à plusieurs titres. D'abord, il est à la base de la chaîne alimentaire marine. Ensuite, en réalisant la photosynthèse, il produit de l'oxygène. À l'échelle globale, on estime que le phytoplancton produit plus de la moitié

de l'oxygène sur Terre, alors qu'il ne représente que 1 % de la biomasse d'organismes photosynthétiques (la majeure partie étant constituée par les végétaux terrestres). Enfin, il intervient dans la régulation du climat : il effectue la photosynthèse et utilise ainsi le CO_2 atmosphérique. À sa mort, une partie sédimente vers le fond des océans, permettant de séquestrer durablement le CO_2 au travers d'un processus appelé « la pompe biologique à carbone ». Dans les lagons, ces organismes phytoplanctoniques qui sédimentent contribuent à nourrir les organismes fixés sur le fond tels que les coraux (chap. 7).

Le sud-ouest du Pacifique – incluant la Nouvelle-Calédonie et l'ensemble des archipels allant de l'Australie à Tonga – présente une singularité : il est le siège des plus fortes abondances de microalgues fixatrices d'azote de l'océan mondial (BONNET *et al.*, 2017) (fig. 1). Ces microalgues aussi appelées « diazotrophes » ont un avantage compétitif dans ces déserts : elles sont capables de s'affranchir des éléments minéraux azotés qui font défaut car elles ont la capacité d'utiliser l'azote de l'air (une ressource inépuisable) en réalisant la fixation d'azote. Ainsi ce processus permet de fertiliser les eaux de surface en azote tel un engrais naturel, et ainsi de soutenir la vie dans ces déserts.

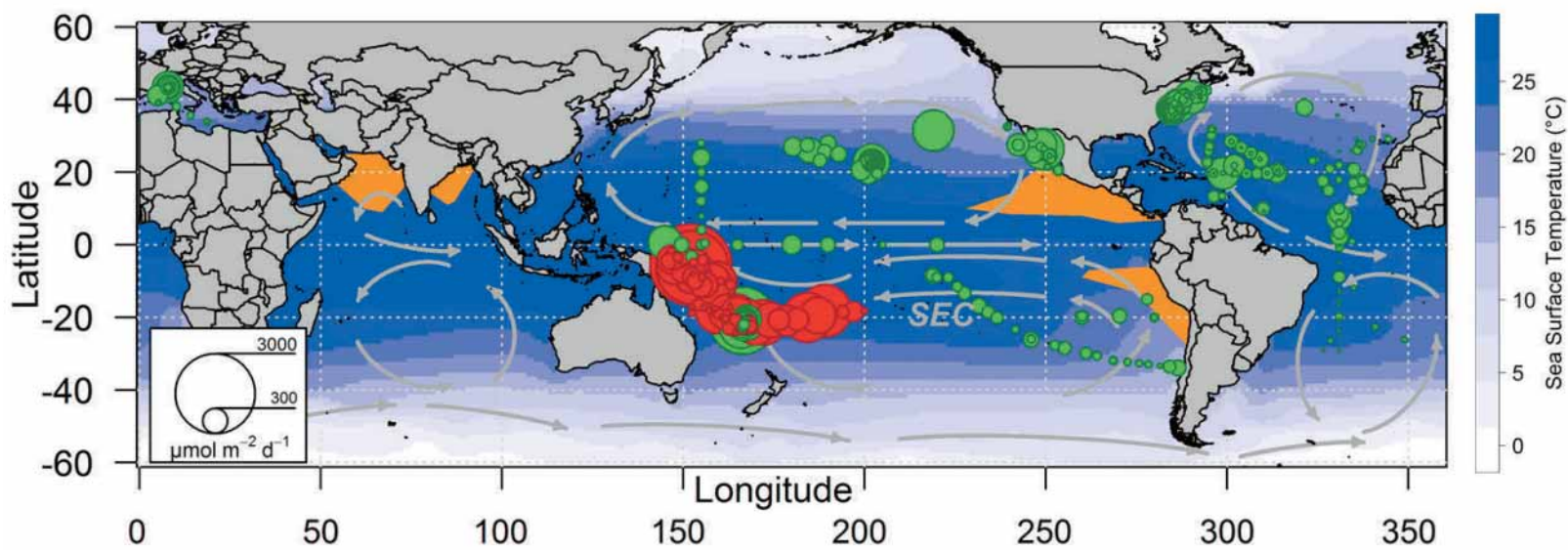


Figure 1 : Taux de fixation d'azote ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{j}^{-1}$) dans le Sud-Ouest Pacifique (en rouge) comparativement aux taux mesurés dans le reste de l'océan mondial (vert). Source : BONNET *et al.*, 2017

Les cyanobactéries filamenteuses appelées *Trichodesmium* sont des organismes présents toute l'année dans les eaux tropicales. Associées en faisceaux et s'accumulant à la surface sous forme de poussière dorée, elles sont très souvent observées par les navires sillonnant la région et sont notées comme « eaux colorées » sur les plus anciennes cartes marines. Les échantillons prélevés par la Marine nationale jusqu'au Vanuatu, Fidji et Tonga révèlent une grande diversité d'espèces qu'on retrouve autour en Nouvelle-Calédonie. Ces 98 échantillons de surface ont servi à calibrer un algorithme de détection automatique (DUPOUY *et al.*, 2011). Les efflorescences vues par satellite peuvent en effet couvrir des milliers de kilomètres carrés. En assumant une distribution homogène des *Trichodesmium* sur la surface couverte (90 000 km²) et un taux de fixation d'azote moyen, la quantité d'azote fixée par le développement massif de diazotrophes (*bloom*) pendant 10 jours est estimée entre 0,02 à 1,17 × 10⁹ g d'azote (DUPOUY *et al.*, 1988).

Dans les lagons néo-calédoniens, la croissance des *Trichodesmium* est forte en été et les *blooms* d'environ une semaine se produisent à la faveur de faibles vents et d'enrichissements en sels nutritifs sur la côte Ouest, en baie de Sainte-Marie où domine *T. erythraeum*, ou sur la côte Est, en baie de Ouinné, où domine l'espèce océanique *T. thiebautii* (RODIER et LE BORGNE, 2010).

Pour étudier en détail le rôle de ces organismes sur le fonctionnement de l'écosystème lagunaire néo-calédonien, une équipe de chercheurs pilotée par l'IRD a déployé pendant un mois dans le lagon de Nouvelle-Calédonie des « mésocosmes », sortes de tubes à essai géants (50 000 l) qui permettent d'étudier les premiers maillons de la chaîne alimentaire marine. L'objectif était d'étudier « à qui profite la fertilisation par les microalgues diazotrophes » ? Les résultats principaux issus de ce projet montrent que la quasi-totalité de la production biologique nouvelle dans la colonne d'eau du lagon néo-calédonien est soutenue par l'activité de ces microalgues diazotrophes en période estivale. Le *bloom* dans les mésocosmes a augmenté la productivité du système d'un facteur 2 et l'export de carbone d'un facteur 5 (BERTHELOT *et al.*, 2015). Le devenir de la fixation d'azote dans l'écosystème dépendait des organismes en présence.

Lorsque les diazotrophes vivant en symbiose avec d'autres microalgues n'ayant pas la capacité de fixer le diazote (les diatomées) dominaient la communauté, l'azote issu de la diazotrophie (NDD) était exporté (directement) (BERTHELOT *et al.*, 2015) ; aucun transfert ne se produisait vers les premiers maillons de la chaîne alimentaire planctonique (phytoplancton/bactéries), mais celui-ci était transféré au plancton animal (ou zooplancton) par broutage direct (HUNT *et al.*, 2016). Lorsque les diazotrophes libres et unicellulaires (UCYN, *Cyanobacterium*) dominaient, environ 20 % du NDD était rapidement (24 h) transféré au plancton non diazotrophe (BONNET *et al.* 2016) et au zooplancton dont la nutrition azotée était soutenue à 35 % par la fixation d'azote (HUNT *et al.*, 2016), soit directement (par broutage), soit indirectement par broutage du plancton qui s'était développé sur le NDD. L'efficacité du système à exporter du carbone par rapport à la production primaire (e-ratio) était plus élevée lorsque les UCYN dominaient. Cet export était à la fois direct, par la chute des petites cellules d'UCYN (5,7 ± 0,8 µm) agrégées en grosses particules (100-500 µm) ayant des taux de chute élevés, et indirect, c'est-à-dire lié à la chute de plancton non diazotrophe s'étant développé à partir du NDD (BONNET *et al.*, 2016). In fine, 60 % de la production exportée était soutenue par la diazotrophie.

Les résultats acquis dans le cadre de Vahine (Variability of Vertical and Trophic Transfer of Diazotroph-derived Nitrogen in the South West Pacific) ont permis d'obtenir les premières données quantitatives sur le devenir de la fixation d'azote dans l'écosystème marin et de réaliser des typologies par type d'organisme dominant. Elles ont été intégrées dans un modèle autorisant les simulations numériques pour réaliser des prévisions sur l'évolution de la productivité du lagon et des eaux environnantes (GIMENEZ *et al.*, 2016). De nombreuses études montrent que la diazotrophie devrait augmenter dans l'océan du futur plus chaud, plus acide et plus stratifié, ce qui renforce l'intérêt de ces prévisions.



Trichodesmium vue au microscope. © IRD/G.Dirberg et C. Dupouy

Références bibliographiques

Biogeochemical and biological response to a diazotroph bloom in a low-nutrient, low-chlorophyll ecosystem : results from the Vahine mesocosms experiment. *Biogeosciences* :

https://www.biogeosciences.net/special_issue193.html

BERTHELOT H. *et al.*, 2015 Dinitrogen fixation and dissolved organic nitrogen fueled primary production and particulate export during the Vahine mesocosm experiment (New Caledonia lagoon). *Biogeosciences*, 12 : 4099-4112.

BONNET S. *et al.*, 2016 Dynamics of N₂ fixation and fate of diazotroph-derived nitrogen in a low nutrient low chlorophyll ecosystem: results from the Vahine mesocosm experiment (New Caledonia). *Biogeosciences*, 13 : 2653-2673.

BONNET S. *et al.*, 2017 A hot spot of N₂ fixation in the western tropical South Pacific pleads for a spatial decoupling between N₂ fixation and denitrification. PNAS. doi : 10.1073/pnas.1619514114, 2017.

DUPOUY C., PETIT M., DANDONNEAU Y., 1988 Satellite detected cyanobacteria bloom in the southwestern tropical Pacific. Implication for

nitrogen fixation. *International Journal of Remote Sensing*, 8 (3) : 389-396.

DUPOUY C. *et al.*, 2011 A new algorithm for detecting *Trichodesmium* surface blooms in the South Western Tropical Pacific. *Biogeosciences*, 8 : 1-17. doi : 10.5194/bg-8-1-2011.

FICHEZ R. *et al.*, 2010 Biogeochemical typology and temporal variability of lagoon waters in a coral reef ecosystem subject to terrigenous and anthropogenic inputs (New Caledonia). *Marine Pollution Bulletin*, 61 : 309-322.

GIMENEZ A. *et al.*, 2016 Biogeochemical fluxes and fate of diazotroph derived nitrogen in the food web after a phosphate enrichment: Modeling of the Vahine mesocosms experiment. *Biogeosciences*, 13 : 5103-5120.

HUNT B.P.V. *et al.*, 2016 Contribution and pathways of diazotroph derived nitrogen to zooplankton during the Vahine mesocosm experiment in the oligotrophic New Caledonia lagoon. *Biogeosciences*, 13 : 3131-3145.

RODIER M., LE BORGNE R., 2010 Population and trophic dynamics of *Trichodesmium thiebautii* in the SE lagoon of New Caledonia. Comparison with *T. erythraeum* in the SW lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 61 : 349-359.

Bonnet Sophie, Fichez Renaud, Dupouy Cécile,
Rodier Martine.

Des eaux cristallines qui regorgent
d'organismes microscopiques.

In : Payri Claude (ed.), Moatti Jean-Paul
(pref.). Nouvelle-Calédonie : archipel de
corail. Marseille (FRA), Nouméa : IRD, Solaris,
2018, p. 67-70.

ISBN 978-2-7099-2632-4