

Résumé

Le Pacifique tropical sud-ouest présente des conditions propices au développement de cyanobactéries filamenteuses, principalement du genre *Trichodesmium*. Ces cyanobactéries ont la particularité de fixer l'azote atmosphérique dissous (diazotrophie) ce qui leur confère un rôle unique dans le cycle global du carbone. L'importance de ce rôle, la toxicité possible de ces organismes et leur impact sur l'environnement sont étudiés dans le cadre de deux programmes menés par UR099 à Nouméa. Le premier, DIAPAZON, repose sur des campagnes océanographiques réalisées entre le lagon de la côte sud-est et sud-ouest, le chenal des Loyauté et les îles Loyauté. Il vise principalement à déterminer les effets du phosphore et du fer en tant qu'éléments limitants, à estimer la diazotrophie et à examiner son devenir au sein de l'écosystème. Trois campagnes à bord du N.O. *Alis* ont été réalisées en 2003 et une réunion a eu lieu à Marseille pour une présentation des résultats et un premier bilan. Dans le cadre du second programme, ont été réalisés d'une part, un suivi régulier à la côte en baie de Sainte-Marie (Nouméa) en vue d'identifier les facteurs du milieu responsables des variations d'abondances de *Trichodesmium* et, d'autre part, une étude génotypique des différents genres de cyanobactéries filamenteuses rencontrés dans les lagons néo-calédoniens.

Parmi les cyanobactéries qui prédominent dans la composition du phytoplancton de l'océan tropical, seuls quelques genres sont capables de diazotrophie, c'est-à-dire de fixer le diazote dissous (N_2), ce qui leur confère un avantage indéniable dans les eaux épuisées en sels nutritifs azotés. Grâce à cette propriété, la vie marine peut se développer en relative abondance à partir du seul diazote. On considère aujourd'hui que la diazotrophie marine, bien que modeste par rapport à l'utilisation de nitrate dans les

bilans globaux, contrôlerait à long terme la quantité totale d'azote réactif disponible pour la photosynthèse et donc la productivité océanique toute entière. De plus, les cyanobactéries diazotrophes pourraient réagir aux variations du climat et contribuer de manière sensible à puiser le carbone atmosphérique d'origine anthropique. Par leur activité photosynthétique, ces cyanobactéries, parmi lesquelles les *Trichodesmium* sont les plus importantes, pourraient rendre compte des changements glaciaire/interglaciaire de CO_2 atmosphérique et auraient donc un rôle significatif dans les mécanismes régulateurs des variations du climat. L'étude de l'impact de la diazotrophie sur le milieu constitue l'autre volet des recherches menées à Nouméa et s'attache, en particulier, à la toxicité possible de *Trichodesmium*. Les programmes de l'UR Cyano visent donc à comprendre les conditions écologiques, physiologiques et génétiques qui déterminent la prédominance des cyanobactéries, et à évaluer leur rôle dans le fonctionnement biogéochimique de l'océan tropical.

DIAPAZON (DIAZOTROPHIE PACIFIQUE ZONE)

Cette opération, soutenue par le programme national PROOF (PROcessus biogéochimiques dans l'Océan et Flux), a été élaborée avec les objectifs principaux suivants :
- déterminer quels sont les facteurs environnementaux favorables à la croissance des *Trichodesmium* et autres cyanobactéries diazotrophes. Il s'agit de comprendre pourquoi le Pacifique tropical sud-ouest est l'une des régions océaniques où des accumulations massives de *Trichodesmium* sont le plus souvent observées ;
- estimer la quantité d'azote fixée par les *Trichodesmium* et autres organismes planctoniques diazotrophes, et son importance dans la production globale et le cycle du carbone. L'objectif ultime est de parvenir à un bilan de la diazotrophie et de ses conséquences biogéochimiques dans le Pacifique tropical sud-ouest ;



Vue aérienne montrant des accumulations en surface de *Trichodesmium* au large d'Erromango (Vanuatu). © IRD / M. Lardy

- comprendre comment et par quelles voies la matière photosynthétisée par les cyanobactéries diazotrophes circule dans la chaîne alimentaire sous les formes particulières et dissoutes avant d'être exportée en profondeur avec le matériel sédimentaire.

Campagnes océanographiques

Trois campagnes DIAPAZON à bord du N.O. *Alis* ont été réalisées au cours de l'année 2003 : DIAPAZON 7 à 9 (février, juin et octobre). Ces campagnes ont comporté des stations au milieu du Chenal des Loyauté, autour de Lifou et Ouvéa, et dans les lagons sud-est et ouest de la Nouvelle-Calédonie. En février, par mer agitée et alizé soutenu, des *Trichodesmium* sont présents en abondance à toutes les positions visitées autour des îles Loyauté et à l'extérieur du récif sud-ouest. Ces observations impliquent que les conditions de milieu étaient particulièrement favorables à ces organismes à cette période, à l'inverse des missions

DIAPALIS 3 (janvier 2002) et DIAPALIS 9 (octobre 2003) réalisées dans la même région. En février, les valeurs les plus fortes sont mesurées au sud d'Ouvéa où près de la moitié de la biomasse et de la production phytoplanctonique est due aux *Trichodesmium*. Conséquence probable de l'intensité des mélanges turbulents dans la couche de surface, les colonies de *Trichodesmium* sont le plus souvent constituées de filaments libres, généralement considérés comme indicateurs de croissance faible de ces organismes. Cependant, les taux de fixation spécifique de diazote s'avèrent relativement forts, les valeurs obtenues sont même parmi les plus élevées de la littérature (figure 1). Des concentrations de phosphate dans l'eau sont apparues partout relativement élevées, ce qui constitue un bon

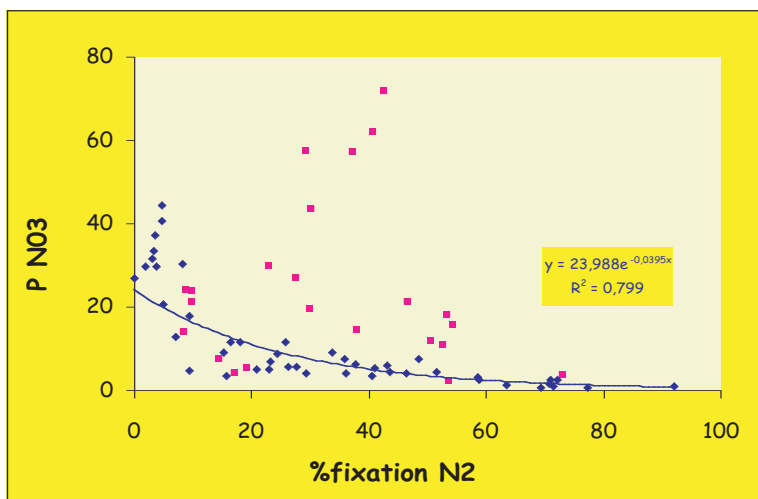


Figure 1 : Assimilation de nitrates (pNO_3) et de diazote dissous (pN_2) par le phytoplancton dans le chenal des Loyauté, au cours des campagnes DIAPALIS. La part de la diazotrophie (estimée par pN_2) diminue quand l'assimilation du nitrate augmente sauf pendant DIAPALIS 7, campagne au cours de laquelle les conditions ont été favorables aussi bien à l'assimilation de nitrates qu'à la fixation d'azote (résultats par le LOB, Centre d'Océanologie de Marseille).

argument susceptible d'expliquer l'abondance des *Trichodesmium*. Au sud d'Ouvéa, les eaux sont très riches en matière organique particulaire et dissoute, la production bactérienne est élevée et tout un faisceau d'indices sont relevés. Ils tendent à montrer qu'une bonne part de la matière organique synthétisée par les cyanobactéries diazotrophes telles que les *Trichodesmium* a été excrétée sur place et se trouve disponible, sous forme dissoute principalement, pour exploitation immédiate par les organismes auto- et hétérotrophes. En conséquence, la production des cyanobactéries diazotrophes constituerait un processus essentiel pour la région, car elle serait capable d'injecter des quantités importantes d'azote assimilable par le phytoplancton dans des eaux qui en étaient totalement dépourvues. Dans un monde marin caractérisé par l'oligotrophie la plus extrême, la présence d'efflorescences de *Trichodesmium* représente non seulement un paradoxe étonnant, mais aussi une source d'enrichissement potentiel considérable pour le milieu.

Réunion de l'équipe DIAPAZON à Marseille

Une vingtaine de personnes de l'IRD (UR Cyano, LodyC et Legos), du CNRS (LOB de Marseille et LBCM) et de l'étranger (USA et Israël) se sont réunies début juillet 2003 pour présenter leurs résultats et essayer d'établir un premier bilan des travaux menés dans le cadre du programme depuis son lancement: mesures de terrain réalisées au cours des campagnes DIAPALIS 2001 à 2003, expériences développées au laboratoire lors de l'atelier international Tricho-Bleu (Nouméa, décembre 2002), travaux de modélisation et d'exploitation des images satellites couleur de l'eau. Un point important a été de montrer comment les expérimentations réalisées au laboratoire pendant l'atelier Tricho-Bleu complétaient, mais aussi facilitaient l'interprétation des observations faites au large sur des communautés naturelles de *Trichodesmium* au cours des campagnes DIAPALIS.

DETERMINISME ET POTENTIEL TOXIQUE DES EFFLORESCENCES DE *TRICHODESMIUM*

Ce programme est l'une des composantes du chantier calédonien du Programme National d'Études Côtières (PNEC) et se concentre plus particulièrement sur l'aspect toxique possible des *Trichodesmium*. Il est en effet apparu que ces cyanobactéries contenaient une toxine proche de celle de la gratte (ciguatoxine) et il n'est pas exclu que certains cas de cette maladie puissent lui être attribués. Outre la toxicité, les concentrations abondantes de cyanobactéries peuvent entraîner des phénomènes d'anoxie et de reminéralisation intense ayant des impacts sur l'écosystème lagunaire (développement d'autres espèces de phytoplancton, impact sur le recrutement des larves de poissons, mortalité du benthos). Ce projet a pour objectifs scientifiques: l'étude des causes des efflorescences dans les lagons de la Nouvelle-Calédonie; l'identification morphologique et le génotypage des organismes responsables des efflorescences; la détermination du potentiel toxique des efflorescences de *Trichodesmium*.

Études et missions réalisées en 2003

En association avec l'Institut Pasteur de Paris, une étude a porté sur l'identification des différentes espèces de cyanobactéries filamenteuses prélevées en différents endroits des lagons néo-calédoniens. Il s'agissait de confirmer par la biologie moléculaire les identifications obtenues à partir de critères morphologiques. Quatre espèces au moins sont présentes en Nouvelle-Calédonie: *Trichodesmium erythraeum*, *T. thiebautii*, *Katagnymene spiralis* et *K. pelagica*. L'étude n'a pas mis en évidence de souches différentes mais a bien confirmé les identifications morphologiques concernant les différentes formes de cyanobactéries: filaments isolés (trichomes), colonies en forme de fuseau ou de pelotes.

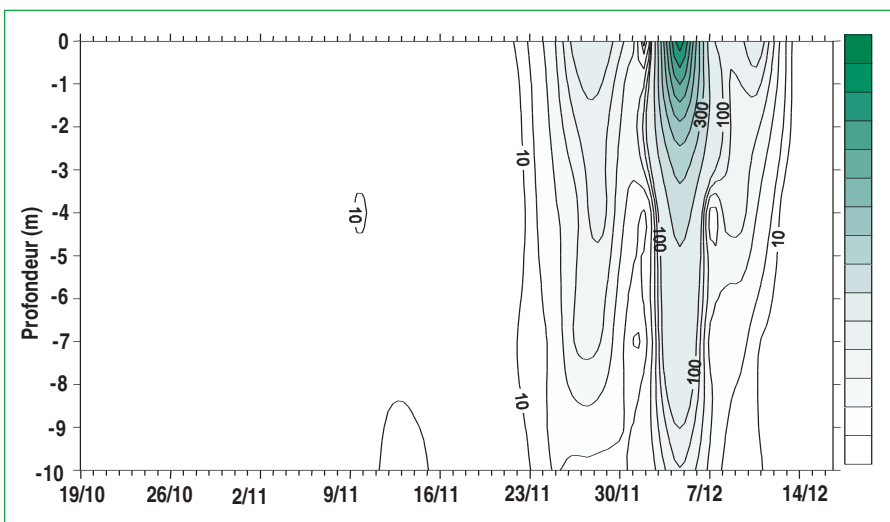


Figure 2 : Variations du nombre de filaments (trichomes) de *Trichodesmium* en Baie de Sainte-Marie (Nouméa) entre Octobre et Décembre 2003.

L'autre volet du projet s'est attaché à identifier les facteurs du milieu responsables des variations des abondances de *Trichodesmium* en baie de Sainte-Marie (Nouméa). Il a consisté en un suivi des paramètres du milieu et des abondances et caractéristiques de la cyanobactérie pendant deux mois et demi (du 7 octobre au 19 décembre 2003), à raison de trois sorties hebdomadaires. Les variations d'abondance de *Trichodesmium* sont importantes (figure 2) et reliées, en partie seulement, à la température de l'eau. Le suivi a permis de montrer également des variations nettes dans la distribution verticale de la cyanobactérie, celle-ci étant plus superficielle en période de forte abondance et répartie plus régulièrement le long de la colonne d'eau, dans le cas inverse. Il apparaît également que les variations de *Trichodesmium* se font de façon indépendante de celle du reste du phytoplancton, abondant lui aussi en baie de Sainte-Marie. L'étude a porté, enfin, sur la capacité de la cyanobactérie à fixer le diazote (N_2) et le dioxyde de carbone (CO_2) et sur sa sédimentation éventuelle. Faute d'observation de véritable efflorescence, un nouveau suivi est programmé en 2004-2005 en été austral et devrait s'attacher tant aux causes qu'au devenir des développements de *Trichodesmium*.

PARTENARIAT SCIENTIFIQUE

Local et national : Institut Pasteur de Paris et de Nouméa, Service de l'Environnement de la Province des Îles Loyauté (Nouvelle-Calédonie), Centre Océanologique de Marseille (COM) : Laboratoire d'Océanologie et de Biogéochimie, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) : Laboratoire de Biogéochimie et Chimie Marines, Institut Universitaire Européen de la Mer

(IUEM-Brest) : Laboratoire d'Écologie Marine, Laboratoire d'Océanologie de Villefranche-sur-mer.

International : Université de Virginie (USA), Université Rutgers (USA), Université Bar-Ilan (Israël).

FORMATION

Marcio Ténorio : Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. Directeur de thèse : Jacques Neveux.

Italo Masotti : Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. Directeurs de thèse : Aubert Le Bouteiller et Diana Ruiz-Pino.

Aurore Trottet : DEA Biologie et Environnement marin de Paris VI.

Thomas Rimaud : École Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes.

Catherine Rouchon : BTS Biotechnologie Lycée St-Louis à Bordeaux.

Barbara Planche : École Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles (ENITA) de Clermont-Ferrand.

Astrid Lemaire : École Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de la Ville de Paris ESPCI.

Summary

The south-western tropical Pacific provides favourable conditions for the development of filamentous cyanobacteria, mostly of the genus *Trichodesmium*. These cyanobacteria are able to use nitrogen gas dissolved in sea water (N_2 fixation) and play, therefore, a unique role in the global carbon cycle. The research unit 099 in Noumea studies the importance of such a role, as well as the possible toxicity linked to these cyanobacteria and their impact on the environment, by conducting two research programs. The first one, DIAPAZON, implies oceanographic cruises between the south-eastern and south-western lagoons, the Loyalty channel, and the Loyalty islands. This programme studies the effects of phosphorus and iron as limiting factors, and focuses on the fixation of N_2 by the cyanobacteria and its fate through the ecosystem. Three oceanographic cruises aboard the R/V *Alis* were conducted in 2003 and a meeting was held in summer in Marseille to present the DIAPAZON results. The second programme undertook a daily monitoring of the Bay of Sainte-Marie (Nouméa) to determine the causes of *Trichodesmium* developments, and initiated a study on the genotypic signature of the different genera collected in the New Caledonian lagoons.

Ressources

Martine RODIER	Chercheur
Responsable de l'implantation	
Robert LE BORGNE	Chercheur
Aubert LE BOUTEILLER	Ingénieur
Italo MASOTTI	Doctorant
Jacques NEVEUX	Chercheur
Emma ROCHELLE-NEWALL	Chercheur
Marcio TÉNORIO	Doctorant
Financement IRD	60 500 €
Financements extérieurs	27 400 €