

Annexe 5

Apport de l'optique marine pour l'estimation de la diazotrophie à l'aide des images satellitales (Projet TOPAZE, Tropiques, OPTique et AZotE)

Cécile DUPOUY

Résumé du projet :

La fixation d'azote par les cyanobactéries marines à l'échelle globale de l'océan résulte d'une adaptation au milieu oligotrophe qui requiert toutefois la présence d'un ou de plusieurs éléments limitants. Ce vaste désert océanique est sous-échantillonné et les satellites seuls sont capables d'en apporter une vision synoptique et temporelle à toutes les échelles. Les capteurs de couleur de la mer doivent permettre de détecter les efflorescences de cyanobactéries en raison de leur signature spectrale particulière mais certaines ambiguïtés doivent encore être levées par des mesures *in situ*. Par ailleurs, afin d'établir le lien entre les facteurs climatiques et les efflorescences à une échelle plus globale, il est nécessaire de coupler les informations sur la biomasse phytoplanctonique avec celles du milieu physique détectées par satellite. Les eaux du Pacifique tropical sud ouest constituent un excellent laboratoire pour cette étude qui prépare l'utilisation des prochains capteurs MERIS, GLI et POLDER-II en ce qui concerne l'analyse fine de la couleur de l'eau, et utilise le couplage entre données satellites de différentes origines en ce qui concerne l'interaction entre la réponse biologique et le climat (signal saisonnier et El Nino).

Laboratoires et participants concernés :

DUPOUY Cécile (CRI, LODYC) : mesures optiques <i>in situ</i> et traitement de données satellites	80%
LAPETITE Alain (Technicien, IRD Nouméa)	40%
Ingénieur informaticien (IR-CDD, IRD Nouméa)	10%

Le projet concerne l'impact des *Trichodesmium* sur les radiances marines captées par satellite et l'extraction du signal lié à leurs pigments photosynthétiques (chlorophylles, phycoérythrine), la partie détritus, et la matière organique dissoute colorée. Une banque de signatures spectrales et satellitales des efflorescences des milieux tropicaux dans leur environnement naturel sera constituée pendant les campagnes DIAPALIS et le projet DIAP'ATHIO avec des matériels acquis dans les années précédentes (Hydroscat-6, spectrofluorimètre, spectrophotomètre) ou prêtés (SIMBADA, Ocean Optics). Par ailleurs, l'observation satellitale par SeaWiFS et autres capteurs permettra de suivre les efflorescences

algales liées à *Trichodesmium* dans la région du Pacifique Sud Ouest et de comprendre la dynamique des efflorescences et leur variabilité inter-annuelle.

Objectifs principaux

- 1) identifier les cyanobactéries type-*Trichodesmium* et calculer leur biomasse en milieu tropical par la mise au point d'un algorithme spécifique destiné aux futurs capteurs satellites en identifiant in situ leurs signatures spectrales à différents stades de floraisons en relation avec leurs capacités physiologiques
- 2) utiliser une base de données multi-satellitaire permettant de définir les conditions physiques des efflorescences fixatrices d'azote et de mieux comprendre leur variabilité interannuelle et leur lien au climat.

Etat de l'art et projet d'étude

Les différents indices permettant d'identifier *Trichodesmium* sont - un fort signal rétrodiffusé dû aux vacuoles de gaz contenues dans les colonies, modulé par l'absorption et la fluorescence des phycoérythrine entre 495 et 550 nm, par l'absorption des MAA's entre 300 à 400 nm (CDOM). La variabilité naturelle des spectres d'absorption et de rétrodiffusion (des réflectances) selon la taille et la dispersion des colonies, l'association avec d'autres phytoplanctons, la quantité de débris associés et de matériel dissout n'a pas été totalement explorée (Subramaniam et al., soumis). Se rajoute à cela l'incertitude sur les concentrations intra-colonies de chlorophylle a et de PE (Haxo, 1989 ; Subramaniam et al., 1999a ;b ; Navarro et al., 1999a,b,c ; Kahru and Mitchell, 1999). Une des hypothèses émises pour *Trichodesmium* est qu'une grande partie du carbone est excrété sous forme dissoute. Une partie de ce carbone excrété pourrait constituer le CDOM (forte absorption par Jones et al., 1986; Prufert-Bebout et al., 1993 ; Gordon et al., 2002 et nos propres mesures). Une autre fraction du carbone organique relargué pourrait coaguler pour former des colloïdes, et ensuite des TEP (Transparent Exo-Polymers). Une question nouvelle serait de caractériser ces TEP (Mari et al., 2001) issus de *Trichodesmium* au cours d'une efflorescence et d'en connaître le devenir dans le milieu naturel.

La région du sud-ouest de l'océan Pacifique est propice à des efflorescences régulières associées à *Trichodesmium* (Dupouy et al., 2000). Les 5 années de données satellites couleur de la mer POLDER-OCTS (novembre 1996) indiquent que les blooms se répartissent entre les latitudes 15°S-20°S et les longitudes 160°E-170°W (autour de la Nouvelle Calédonie, des Iles Fiji et de l'archipel des Tonga) et apparaissent en période estivale australe (décembre à mars). Cette apparition régulière en été austral est modulée par une forte variabilité interannuelle qui reste à expliquer.

Stratégies et méthodes (outils/Chantiers)

Les mesures

Les données d'optique marine *in situ* seront recueillies pour en extraire les signaux liés aux cyanobactéries (*Trichodesmium*) et pouvoir valider les données satellitaires (SeaWiFS, MODIS, puis à partir de 2002, MERIS, GLI, POLDER-II) au cours des campagnes DIAPALIS et au cours du projet côtier DIAPA'THIO prévu en novembre-décembre 2002.

En priorité autour de l'heure du passage du satellite, les réflectances au-dessus de la mer sont mesurées à 13 longueurs d'onde grâce à SIMBADA du LOA (longueurs d'onde de MERIS), et occasionnellement par un spectroradiomètre miniature portable Ocean Optics SD2000 (1024 canaux de 350 à 850 nm) équipé d'une fibre optique.

Particules et débris : le coefficient spectral d'absorption de la lumière par les particules et débris sera mesuré par la méthode des filtres GF/F (Dupouy et al., 1997). Le coefficient de rétrodiffusion à 6 longueurs d'onde sera mesuré par l'Hydroscat-6 (Hobilabs) acquis par le LODYC et dont les longueurs d'onde ont été choisies spécifiquement pour détecter *Trichodesmium* (442, 488, 510, 555, 620 et 676 nm). L'Hydroscat-6 permet de plus de détecter la fluorescence en utilisant les couples d'excitation/émission 442/676 (chlorophylle) et 488/555 (phycoérythrine). L'Hydroscat-6 sera utilisé systématiquement en profileur lors des campagnes, et en point fixe de dizaines de minutes sur les efflorescences en mer, ou encore sur des bacs.

Matière organique dissoute : le coefficient spectral d'absorption par la matière colorée dissoute sera mesuré après filtration sur Nucléopore 0.2 μm de diamètre 47 mm et les densités optiques mesurées entre 200 et 800 nm sur cuves de 10 cm (protocole SeaWifs, Fargion et Mueller, 2000). Une caractérisation in situ du CDOM et des TEP de *Trichodesmium* par les méthodes développées par Mari et al. (2001) et Rochelle-Newall et al.

Les signaux seront interprétés en terme de pigments, carbone organique particulaire, nombre et nature des particules, détermination des tailles de cellules par cytométrie en flux et microscopie et concentrations des TEP et de la capacités de fixation d'azote et d'assimilation de différentes formes azotées, microbiologie. L'intérêt des mesures est de déterminer le lien entre réflectances des colonies, la matière organique dissoute relarguée et la production de TEP et de disposer de données de validation des nouveaux canaux du capteur MERIS, essentiellement 620 nm, 681, 705 et 760 nm et GLI (380 nm).

Les données satellites

Analyse du signal satellite

La couverture des campagnes DIAPALIS par SEAWIFS est assurée par l'enregistrement systématique des données à bord (accord GSFC/NASA) et par l'envoi dans les 2 jours des données numériques de niveau I qui sont archivées au centre IRD de Nouméa. Les données de niveau 2 archivées au GSFC sont récupérés aux périodes des campagnes. L'extraction des radiances satellites de niveaux 1 (1 km x 1 km) et 2 (4 km x 4 km) de SeaWiFS se fera à l'aide de subroutines Seadas (SUN/UNIX) spécialement développées. On espère disposer pour le projet des données MERIS-2002 (puis en 2003 des données GLI (projet de PI) et POLDER-II).

Analyse de données multi-satellites

Les données de niveau 3 de Seawifs (9 km x 9 km) seront extraites sur la zone d'étude à l'aide de subroutines Seadas et archivées au centre IRD de Nouméa. Les données Seawifs seront interpolées et grillées (idem pour les températures de la mer, anomalies du niveau de la mer et vents) afin d'effectuer une analyse en EOF. La méthode d'EOF sera appliquée aux données 1997-2002.

Moyens disponibles :

- Hydrocat-6 6 canaux + PC-Portable (+ logiciel Hobilabs)
- Spectrophotomètre UV-VIS Beckman DU-600, sphère intégrante, logiciel acquisition Beckman)
- Matériel de filtrations et stokages
- Espace laboratoire de chimie
- Station SUN/UNIX (36 Ga)
- Seadas + disponibilité IDL
- PIII-800 Mhz 20 Ga
- SIMBADA (prêt du LOA, Lille) DIAPALIS et DIAP'A THIO
- Spectroradiomètre hyperspectral portable SD2000 Ocean Optics (350-850)
- *prêt par Sylvain Ouillon dans le cadre de l'ACI, UR CAMELIA, IRD

Références récentes de l'équipe :

Dupouy C., Neveux J., Subramaniam A., Mulholland M.R., Montoya J.P., Campbell L., Capone D.G., and Edward J. Carpenter, 2000. SeaWiFS captures *Trichodesmium* blooms in the South Western Tropical Pacific Ocean. EOS, Transactions, AGU, 81, n°2, 13, 15-16.

Dupouy C., Loisel H., Neveux J., Brown S. L., Moulin C., Blanchot J., Le Bouteiller A. and M. R. Landry. Microbial absorption and backscattering coefficients from *in situ* and satellite data during an ENSO cold phase in the equatorial Pacific (180°). Soumis à J. Geophys. Research. Janvier 2002.

Mari X., Beauvais, S., Lemée, R., and M. L. Pedrotti, 2001. Non-Redfield C :N ratio of transparent exopolymeric particles in the northwestern Mediterranean sea. *Limnol. Oceanogr.* 46 (7), 1831-1836.

En co-auteur

Brown S. L., Landry M. L., Neveux, J. and **C. Dupouy**. Microbial community abundance and biomass along a 180° transect in the equatorial Pacific during an ENSO cold phase. Soumis à J. Geophys. Res.

Gross, L., **Dupouy, C.**, Thiria S., J.M. André and R. Frouin. Impact of the biological variability on the inversion of marine reflectance into chlorophyll a concentration. En prép. à J. Geophys. Res.

Landry M. R., Brown S., Neveux J., **Dupouy C.**, Blanchot J., Christensen S. and R. Bidigare. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in HNLC waters of the equatorial Pacific : Community and taxa-specific rate assessment from pigment and flow cytometric analyses. Soumis à J. Geophys. Res.

McClain C., Christian J. R., Signorini, S. R., Lewis M. R., Asanuma I., Turk D., and **Dupouy C.** Satellite ocean color observations of the Pacific Ocean. Sous presse à Deep Sea Res. Special Issue on JGOFS Equatorial Pacific Synthesis and Modelling.

Neveux, J., **Dupouy C.**, Blanchot J., Le Bouteiller A., and Landry M. and S. Brown, Diel dynamics of chlorophylls in HNLC waters of the equatorial Pacific (180°): Interactions of growth, grazing, physiological responses and mixing. En révision à Journal of Geophys. Res.

Radenac, M. H., Menkes, C., Vialard J., Moulin C., Dandonneau Y., Delcroix T., **Dupouy C.**, A. Stoens. and P. Y. Deschamps, 2001. Modeled and observed impacts of the 1997-1998 El Niño on nitrate and new production in the equatorial Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 106, 26879-26898.

Simeon J., Roesler, C., Pegau, S., and **C. Dupouy**, 1999. Sources of variability in light absorbing components along an Equatorial transect from 165°E to 150°W, (in prep., JGR).

Liste des principales communications

Dupouy C., Neveux, J., and D. Capone, 2000. Estimate of nitrogen fixation in the South Western Tropical Pacific with ocean colour remote sensing. 2000-Ocean Sciences Meeting, Janvier 24-28, San Antonio, (résumé p.269).

Dupouy C., Neveux J., Deschamps P. Y. and F. Thieuleux, C. Moulin and S. Colzy, 2000. *Trichodesmium* : *in situ* ocean color signatures in POLDER channels. CD-ROM Ocean Optics XV, Monaco, 16-20 Octobre 2000, 6 pp. CDROM.

Dupouy C., Neveux J., Deschamps P. Y. and F. Thieuleux, C. Moulin and S. Colzy, and A. Subramaniam. *Trichodesmium* : a retrospective of ocean color observations. Poster au 3^{ème} OCEAN FROM SPACE, Venise, 9-13 octobre 2000.

Deschamps P. Y., Dandonneau Y., **Dupouy C.**, Frouin R., Loisel H., Moulin C., Neveux J., and J. M. Nicolas. Contribution to a global climatology of surface pigments from ocean colour sensors. NASA Research Announcement SIMBIOS, Janvier 2002.