

Résumé

En Nouvelle-Calédonie, les activités 2003 ont porté en particulier sur la modélisation du transport des particules, le devenir des métaux dissous, l'étude des communautés planctoniques et le transfert des métaux dans les organismes vivants. L'année a été consacrée à finaliser les actions en cours du chantier Nouvelle-Calédonie du Programme National Environnement Côtier (PNEC). Enfin, l'année aura été marquée par la mise en œuvre des nouvelles opérations du programme ZoNéCo dans lesquelles l'UR Camélia est largement impliquée.

A Fidji, les travaux sur le lagon de Suva ont été poursuivis avec l'organisation des campagnes BULA 3 et BULA 4 à bord de l'*Alis* en coopération avec l'University of the South Pacific (USP). Ces campagnes ont permis de poursuivre les travaux de caractérisation du milieu. L'année 2003 a également été marquée par une relance des activités de formation avec en particulier le co-encadrement d'étudiants de l'USP.

Le développement économique des pays de la zone inter-tropicale est responsable de modifications majeures de l'environnement côtier. Les états insulaires du Pacifique, qui disposent de ressources et d'espaces limités, sont particulièrement sensibles au nécessaire équilibre entre développement et gestion durable de l'environnement. L'UR Camélia s'inscrit dans le prolongement de la dynamique de recherche mise en œuvre à l'IRD depuis 1996 (programme Ecotrope 1996-2000) sur le thème général de l'influence des activités humaines sur les écosystèmes côtiers et tropicaux.

L'efficacité de l'effort de recherche à l'échelle de la région Pacifique est renforcée par une collaboration entre l'IRD et l'University of the South Pacific basée à Fidji.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

L'UR Camélia a pour objectif principal de déterminer comment l'homme influence les écosystèmes littoraux du Pacifique. Dans ce cadre, Camélia s'intéresse plus spécifiquement aux apports : en particules entraînées par l'érosion des sols et sous-sols, responsables d'hyper-sédimentation, en éléments nutritifs organiques et inorganiques, responsables d'eutrophisation en métaux potentiellement toxiques pour les organismes vivant dans le lagon. Les actions de recherche ont été définies de façon à apporter des réponses aux questions scientifiques suivantes : Quels sont les mécanismes de transport et de transformation des principaux agents d'influence terrigènes et anthropiques au niveau de la zone côtière tropicale ? Quels sont les effets des apports terrigènes et anthropiques en terme d'eutrophisation des systèmes et de bioaccumulation des métaux dans les organismes ? Dans quelle mesure la modélisation permet-elle de rendre compte de ces mécanismes de transport et de transformation ?

Valorisation pour le développement

Camélia a pour vocation de fournir des outils d'aide à la décision pour les aménageurs qui doivent gérer le développement économique de la zone côtière. Il est maintenant reconnu que les altérations du milieu liées aux activités humaines ont d'importantes incidences environnementales et financières. La nécessaire gestion des ressources côtières repose sur l'existence d'outils de diagnostic et de prédiction fiables.

L'UR Camélia cherche donc à définir les bases scientifiques de ces outils et à développer des approches (modélisation hydrodynamique, transport de sédiments, fonctionnement biologique) qui permettront d'obtenir une vision synthétique de l'état et de l'évolution de l'écosystème côtier.

CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES

Trois campagnes océanographiques ont été menées en 2003 à bord de l'*Alis* :

BULA 3 (13 au 22 mars 2003) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux, lagon de Suva (Fidji) ;

BULA 4 (25 au 30 août 2003) : Production primaire et bactérienne, lagon de Suva (Fidji) ;

CAMÉCAL 5 (19 au 27 juin 2003) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux et variabilité temporelle des processus bactériens, lagon sud-ouest (Nouvelle-Calédonie).

En complément, de nombreuses campagnes légères ont été conduites à bord de différentes unités avec pour objectif de déterminer les caractéristiques des eaux ou la typologie des fonds, les distributions des concentrations en métaux dissous ou la distribution de la couleur de l'eau à l'aide d'un radiomètre hyperspectral.

MODÉLISATION DU TRANSPORT DES COMPOSÉS DISSOUS ET PARTICULAIRES

Cette opération, qui s'appuie sur une collaboration entre l'IRD et le LSEET de l'Université de Toulon, porte sur la modélisation du transport de particules cohésives et non cohésives. Un modèle numérique de transport en suspension de sédiments cohésifs a mis en évidence deux points importants. L'influence du vent est prédominante dans les processus de dépôt et d'érosion en zones peu profondes, avec une influence plus directe sur l'érosion lorsque la profondeur est inférieure à 20 m ; la marée, qui est un phénomène permanent, contrôle largement le transport particulaire, le mélange vertical dans la colonne d'eau, et finalement le dépôt dans les zones où l'influence du vent est faible. Les résultats obtenus en 2002 avaient montré l'importance des vagues dans la remise en suspension des particules. Le modèle de génération et de propagation des vagues de vent, WaveWatch III, développé par la NOAA, a été adapté au lagon sud-ouest





Modélisation du champ de vagues de vent dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. © IRD / Ali Bel Madani

de la Nouvelle-Calédonie. Des mesures réalisées en 2003 à l'aide d'un houlomètre Aanderaa ont permis de débiter la validation du modèle à partir de mesures non directionnelles (période et amplitude des vagues).

TRANSPORT PARTICULAIRE ET TÉLÉDÉTECTION

La télédétection est le seul moyen offrant instantanément une vue d'ensemble de la distribution spatiale des particules en suspension dans l'eau en zones côtières. Les informations à haute densité spatiale qu'elle fournit permettent de tester et de valider les modèles de transport de particules. Une carte de turbidité issue de données Landsat a été utilisée en 2003 avec des mesures in situ pour ajuster, par zones au sein du lagon, l'érodabilité des fonds qui est un paramètre essentiel du modèle. À partir de ces résultats, la distribution du taux d'érosion pour les vases fines responsables de la turbidité a été estimée par une méthode d'optimisation par moindres carrés entre simulations numériques et données spatia-

les (Ouillon *et al.*, 2004). Cette approche est soutenue par l'Action Concertée Incitative « Observation de la Terre » du Ministère de la Recherche dans le cadre du programme BISSECOTE.

TEMPS DE RÉSIDENCE DES PARTICULES

L'utilisation de rapports isotopiques tels que $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$ et $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ permet de calculer un temps de résidence vertical des particules avant leur dépôt mais également de déterminer l'importance respective des voies physiques et biologiques de transfert vertical de ces particules. Les premiers travaux conduits sur la base de cette approche radio-écologique en collaboration avec l'Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) ont permis de mettre en évidence une forte différence entre les zones lagunaires avec des temps de résidence moyens de 2 à 4 jours principalement contrôlés par les processus physiques et l'océan où le temps de résidence moyen est de 22 jours et principalement contrôlé par des processus biologiques.

RÉPONSES DES BIOCÉNOSES PÉLAGIQUES

Les travaux conduits en 2003 avaient pour objectif d'établir *in situ* la nature du contrôle exercé sur les peuplements planctoniques. Les résultats obtenus permettent d'apporter des éléments de réponse aux questions posées.

Nature du contrôle : les résultats à ce jour montrent que l'azote minéral dissous (DIN) est le facteur expliquant le mieux la variance des biomasses et activités bactériennes et phytoplanctoniques.

Modifications induites par les apports : la taille moyenne du phytoplancton augmente pour des concentrations croissantes en azote minéral dissous. On observe : 1) l'augmentation de la proportion de Chlorophylle a entre 2 et 10 μm ; 2) l'augmentation de la proportion de la production primaire entre 2 et 10 μm ; 3) la diminution du

rapport picoplancton autotrophe/Chl. a ; 4) l'augmentation du rapport nanoalgues/Chl. a. Ces changements de communautés ont d'importantes conséquences sur le réseau trophique.

MODÈLE BIOGÉOCHIMIQUE

Les premiers résultats obtenus à partir de la modélisation à maillage fin ne prenaient pas suffisamment en compte la spécificité des processus de minéralisation en environnement côtier tropical, en particulier liée à la boucle microbienne. Une phase de complexification du modèle a donc été conduite en 2003 avec l'établissement d'un modèle sans dimension cherchant à traduire au mieux la complexité du système biologique. Les résultats obtenus permettent maintenant de passer au couplage de ce modèle 0D avec le modèle hydrodynamique 3D pour arriver à un modèle biogéochimique plus réaliste.

BIOACCUMULATION DES MÉTAUX

Les opérations réalisées en 2003 se sont intéressées, entre autres, à la détermination des cinétiques d'accumulation et de dépuration des métaux chez une espèce d'algue et trois espèces de bivalves du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Il s'agissait de déterminer les voies préférentielles d'accumulation des métaux : sédiments, eau de mer et nourriture (phytoplancton). Pour cela, des organismes ont été expédiés à l'AIEA Monaco où ils ont été mis en incubation dans des mésocosmes maintenus en conditions tropicales contrôlées simulant les conditions de terrain. Les expériences utilisaient les techniques de radiotraçage dont la sensibilité permet de travailler avec des concentrations identiques à celles rencontrées dans le milieu naturel. À partir des cinétiques d'accumulation des métaux, il a été démontré que la nourriture (phytoplancton) constituait la voie prépondérante de contamination chez les 3 espèces de bivalves étudiées.

DISTRIBUTION DES CARACTÉRISTIQUES DE SUBSTRATS ET D'HABITATS

En 2003, des campagnes de terrain (reconnaisances sous-marines et prélèvements pour analyse sédimentologique) supplémentaires ont été effectuées en Baie de Dumbéa. En effet, la variabilité et l'hétérogénéité des fonds y sont très importantes et rendent l'interprétation de la sédimentation et des signatures acoustiques du fond extrêmement complexes. L'essentiel des activités 2003 a porté sur le traitement et l'interprétation des données sédimentologiques et acoustiques recueillies : travail au laboratoire pour l'obtention des dernières données sédimentologiques manquantes, traitement des données acoustiques et de vérité terrain, début de la mise en forme des bases de données sédimentologiques et « Acoustique » ainsi que de la photothèque.

MOYENS DISPONIBLES

Les moyens à la mer sont constitués de petites embarcations, du *Coris* et de l'*Alis*. Les moyens analytiques gérés par un personnel qualifié se répartissent entre le laboratoire de chimie marine (CHN, analyseur Technicon, spectrophotomètre, fluorimètre, compteur à scintillation, etc.) et le laboratoire commun de chimie (spectromètre de flamme, spectromètre AA à four graphite, ICP-OES analyseur Technicon, etc.). L'UR Camélia dispose d'un parc informatique conséquent (PC, poste PAO, Sun Ultrapark). De plus, chaque discipline de recherche en océanographie dispose d'équipements ou d'outils spécifiques (courantomètre à effet doppler, houlomètre, sonde CTD, classificateur hydroacoustique RoxAnn, limnigraphes, turbidimètres autonomes in situ, spectroradiomètre, etc.). En 2003, un deuxième spectromètre hyperspectral a été acquis pour conduire de nouveaux travaux dans le domaine de l'optique marine et de la télédétec-

tion. Fin 2003, une station benthique comprenant un courantomètre ADV Sontek, un capteur de pression haute précision et deux turbidimètres, est venue compléter le pool d'appareils de mesures. Cette station servira à caractériser *in situ* les influences respectives des courants près du fond et de la houle sur la remise en suspension des particules fines.

CONSULTANCES

Goro Nickel: Caractéristiques des eaux et bioaccumulation des métaux.

SLN: L'environnement marin aux environs du site de Doniambo: courantologie, caractérisation des types de fond et d'habitat, caractéristiques physico-chimiques des eaux, devenir des métaux.

PARTENARIAT SCIENTIFIQUE

Local: Ifremer: bioaccumulation des métaux dans les tissus vivants des invertébrés benthiques.

Programme ZoNéCo: Étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux; courantologie; caractérisation acoustique des fonds.

National: Collaboration avec 11 institutions de recherche ou universités métropolitaines dans le cadre du chantier Nouvelle-Calédonie du Programme National Environnement Côtier (PNEC).

International: Australian Nuclear Science et Technology Organisation (ANSTO), Australie: Géochimie et bioaccumulation des métaux; International Atomic Energy Agency (IAEA), Monaco: transfert des métaux dans les organismes; James Cook University, Townsville, Australie: transport des particules et sédimentation; University of the South Pacific (USP), Fidji: biologie, chimie et physique marines.

Summary

In New Caledonia, major achievements in 2003 were related to particle transport modelling, fate of dissolved metals, plankton community studies and metal transfer in organisms living in the lagoon. The year has been dedicated to finalize the actions of the 'New Caledonia Pilot Site' from the National Program on Coastal Environments (PNEC). Finally, the Camelia Research Unit played a significant role in the new projects of the ZoNeCo programme, designed as in interface between science and management of marine resources and environment.

In Fiji, scientific work on the Suva lagoon has been reinitiated after the brutal stop consecutive to the 2000 coup. This new start was more specifically conducted through oceanographic cruises BULA 3 and BULA 4 on board R/V *Alis* in collaboration with the University of the South Pacific in Fiji (USP). These cruises pursued previous works dealing with the determination of environmental conditions in the Suva lagoon.

FORMATION

Thèses

Ludovic Breau: Université Aix-Marseille II. Accumulation des métaux dans les organismes marins du lagon de la Nouvelle-Calédonie.

Séverine Jacquet: Université Paris VI, Fonctionnement du compartiment planctonique dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Julien Thébault: Université de Bretagne Occidentale. Enregistrement des conditions environnementales dans les coquilles d'un pectinidé du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Hélène Viret: Université de Pau et des Pays de l'Adour. Relation entre micro-organismes benthiques et métaux.



L'UR Camélia a pour objectif de déterminer comment l'homme modifie les écosystèmes littoraux du Pacifique.

© IRD / J. Orempuller

Laetitia Hedouin : Université de La Rochelle. Radio traçage de la bioaccumulation des métaux dans les organismes marins du lagon de la Nouvelle-Calédonie.

Vincent Faure : Université d'Aix-Marseille II. Modélisation biogéochimique du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Aymeric Jouon : Université du Sud Toulon-Var, Étude intégrée du transport particulaire dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Autres

Enora Briand : DEA, Université Paris VI. Détermination de l'efficacité de croissance des bactéries hétérotrophes dans un gradient d'eutrophisation côtière.

David Borgna : DESS, Université du Sud Toulon-Var, Modélisation du champ de vagues dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Shereen Sharma : Master University of the South Pacific, Suva. Contamination en métaux au voisinage du centre d'enfouissement des ordures de Lami, Suva, Fidji.

Shivanesh Rao : Master University of the South Pacific, Suva. Modélisation 3D de la circulation et du transport particulaire dans le lagon de Suva, Fidji.

Ali Bel Madani : Stage de fin d'études, ENSEEIHT, Modélisation du champ de vagues de vent dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Ressources

Renaud FICHEZ	Chercheur
Directeur de l'UR 103	
Ludovic BREAU	Doctorant
Christophe CHEVILLON	Chercheur
Sandrine CHIFFLET	Ingénieur
Angelo DI MATTEO	Technicien
Pascal DOUILLET	Chercheur
Vincent FAURE	Doctorant
Philippe GERARD	Technicien
Bernard GERNIGON	Technicien
Laetitia HEDOUIN	Doctorant
Séverine JACQUET	Doctorant
Aymeric JOUON	Doctorant
Alain LAPETITE	Technicien
Romain LEGENDRE	VCAT
Benjamin MORETON	Ingénieur, CDD
Sylvain OUILLON	Chercheur
Jean-Yves PANCHE	Ass. Ingénieur
Olivier PRINGAULT	Chercheur
Julien THEBAULT	Doctorant
Jean-Pascal TORRETON	Chercheur
Hélène VIRET	Doctorant
Financement IRD	100 000 €
Financements extérieurs	137 000 €