



## Journal de la Société des Océanistes

126-127 | Année 2008  
Spécial environnement dans le Pacifique

---

# Origine, transport et devenir des apports naturels et anthropiques dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie

R. Fichez, L. Breau, C. Chevillon, S. Chifflet, P. Douillet, V. Faure, J.-M. Fernandez, P. Gérard, L. Hédouin, A. Lapetite, S. Ouillon, O. Pringault et J.-P. Torréton

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/jso/5072>

DOI : 10.4000/jso.5072

ISSN : 1760-7256

### Éditeur

Société des océanistes

### Édition imprimée

Date de publication : 15 décembre 2008

Pagination : 41-58

ISBN : 978-2-85430-012-3

ISSN : 0300-953x

### Référence électronique

R. Fichez, L. Breau, C. Chevillon, S. Chifflet, P. Douillet, V. Faure, J.-M. Fernandez, P. Gérard, L. Hédouin, A. Lapetite, S. Ouillon, O. Pringault et J.-P. Torréton, « Origine, transport et devenir des apports naturels et anthropiques dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie », *Journal de la Société des Océanistes* [En ligne], 126-127 | Année 2008, mis en ligne le 15 décembre 2011, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/jso/5072> ; DOI : 10.4000/jso.5072

---

Ce document a été généré automatiquement le 19 avril 2019.

© Tous droits réservés

---

# Origine, transport et devenir des apports naturels et anthropiques dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie

R. Fichez, L. Breau, C. Chevillon, S. Chifflet, P. Douillet, V. Faure, J.-M. Fernandez, P. Gérard, L. Hédouin, A. Lapetite, S. Ouillon, O. Pringault et J.-P. Torréton

---

1 Les zones côtières tropicales sont le lieu de concentrations humaines où les impératifs liés à la survie des populations et à leur développement économique menacent l'équilibre des écosystèmes marins côtiers (Hatcher *et al.*, 1989). 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. C'est dans ce contexte qu'un programme de recherche pluridisciplinaire est conduit depuis 10 ans, en Nouvelle-Calédonie, par l'Institut de recherche pour le développement (IRD), sur le thème général de l'influence des activités humaines sur les écosystèmes insulaires tropicaux. Le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie a été retenu comme site-atelier principal (figure 1) pour les travaux conduits, tout d'abord dans le cadre du programme Ecotrope, puis au sein de l'unité de recherche Camélia (UR103). Les programmes IRD ont été conduits en synergie avec différents autres Programmes nationaux (PNRCO, PNEC, PNETOX, EC2CO) ainsi qu'avec le Programme ZoNéCo au niveau local. L'UR Camélia s'est fixé comme objectif principal de déterminer l'influence exercée sur l'écosystème lagunaire de Nouvelle-Calédonie par trois grandes types d'apports d'éléments potentiellement perturbants :

- Les apports détritiques terrigènes résultant de l'érosion des sols engendrée par les activités humaines (urbanisation, agriculture, exploitation minière). Cette érosion d'origine anthropique constitue un processus important en Nouvelle-Calédonie, comme dans beaucoup d'autres pays insulaires, car elle favorise l'accumulation de particules dans le

lagon et provoque, dans ses eaux, une diminution de la pénétration de la lumière aux dépens de la croissance des macrophytes et du plancton végétal.

- Les activités minières très spécifiques à la Nouvelle-Calédonie, quatrième producteur mondial de nickel et qui posséderait le quart des ressources mondiales en minerai nickélifère latéritique (source : CNUCED, <http://www.unctad.org/infocomm/francais/nickel/marche.htm>). Ces activités génèrent des transferts de métaux potentiellement toxiques pour les organismes vivant dans le lagon.
- L'expansion des populations humaines, enfin, entraîne également, de façon diffuse dans l'environnement, une augmentation des apports en éléments nutritifs tendant à eutrophiser localement les milieux aquatiques. Le lagon de Nouvelle-Calédonie, comme la plupart des écosystèmes coralliens, est un environnement oligotrophe (pauvre en éléments nutritifs), favorisant l'expression d'une formidable diversité. L'étude des effets des apports eutrophisants sur ces écosystèmes constitue donc un sujet dont l'importance n'est pas suffisamment bien évaluée par les décideurs, voire même par une partie de la communauté scientifique concernée.

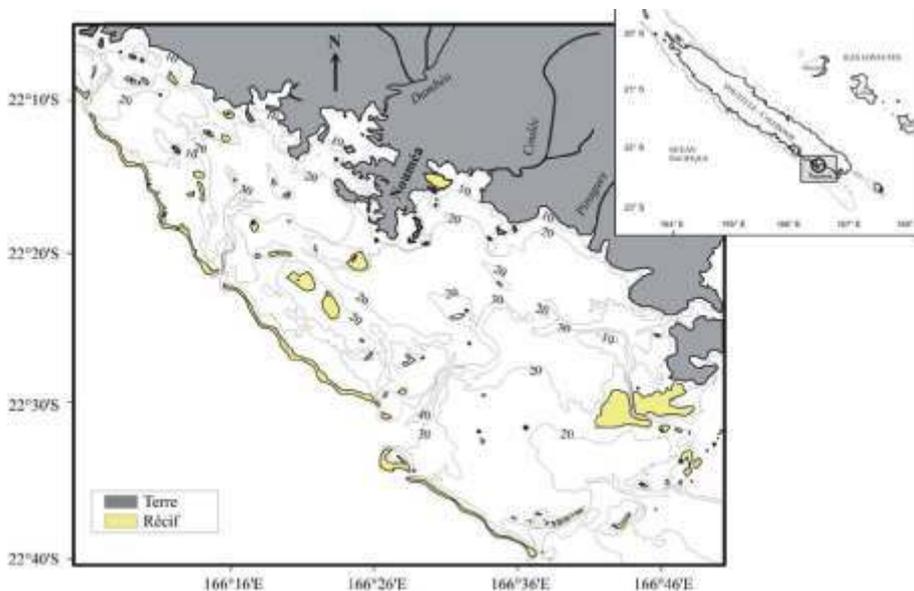


Figure 1. – Bathymétrie de la zone d'étude située au sud de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie (profondeurs en mètres).

- 2 Les résultats présentés ici ne constituent que quelques exemples particuliers des résultats obtenus dans le cadre de ce programme, leur présentation ayant été, autant que possible, déjà rendue accessible à une large communauté. Ces résultats scientifiques sont, en outre, présentés en conservant à l'esprit les objectifs d'un programme de recherche pour le développement qui est de définir les bases scientifiques permettant d'identifier des outils de diagnostic et de gestion environnementale et de développer des approches synthétiques et prédictives de l'état et de l'évolution de l'écosystème côtier.

# Le rôle essentiel des courants dans la dispersion des apports terrigènes naturels et anthropiques

## Une approche combinant mesure et modélisation des caractéristiques des courants

- 3 La connaissance de la circulation des eaux (l'hydrodynamique) est indispensable pour comprendre la distribution et la dispersion des apports naturels et anthropiques dans les eaux du lagon. Au-delà des informations qui peuvent être obtenues par la mesure directe des orientations et des vitesses du vent, des courants ou des vagues, la compréhension fine de la circulation ne peut être obtenue que par des approches de modélisation numérique permettant de prévoir la force et la direction des courants à différentes profondeurs et en tout point du lagon. La modélisation des courants, ou modélisation hydrodynamique, offre en outre une dimension prédictive puisqu'elle permet de simuler des scénarios d'évolution sous différentes contraintes (climatiques, d'apports anthropiques...) et qu'elle constitue une étape indispensable à la modélisation d'autres processus essentiels tels que le transport des éléments dissous et des particules, ou le fonctionnement biologique de l'écosystème dans son ensemble. Cette approche de modélisation de la circulation côtière, dont l'application aux écosystèmes lagunaires reste encore limitée, a été initialement développée en Nouvelle-Calédonie sur la base d'un premier modèle en deux dimensions ne prenant en compte que le forçage de la circulation par la marée (Douillet, 1998), puis d'un modèle en trois dimensions (code MARS3D de l'Ifremer) prenant en compte les forçages de la circulation par la marée et par le vent (Douillet *et al.*, 2001). Ce modèle a été ensuite largement amélioré par l'adjonction de modules permettant de calculer la génération et la propagation des vagues par le vent, le déferlement de la houle par-dessus le récif barrière et, enfin, le couplage du modèle hydrodynamique avec un modèle de simulation du vent local. Toutes ces améliorations ont pour objectif de réaliser des simulations aussi réalistes que possible. La modélisation présente le considérable avantage de fournir des données sur la direction et la force du courant en chaque point d'une maille de 300 m de côté couvrant l'ensemble du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie (figure 2) et cela à 20 niveaux de profondeur entre la surface et le fond. De plus, le modèle numérique permet de déterminer mathématiquement des indicateurs, souvent rassemblés, indifféremment et improprement, sous le terme de « temps de résidence », qui décrivent différents aspects de l'évolution temporelle des masses d'eau (âge de la masse d'eau, temps de renouvellement local, temps moyen de vidange, Jouon *et al.*, 2006). Les fortes interactions récemment mises en évidence entre les indicateurs du fonctionnement hydrodynamique, différentes manifestations du fonctionnement biologique et la typologie environnementale (morphologie, à différentes échelles) du lagon (Mari *et al.*, 2007; Torréton *et al.*, 2007; Fichez *et al.*, soumis) démontrent bien le caractère fondamentalement structurant de la circulation des eaux.

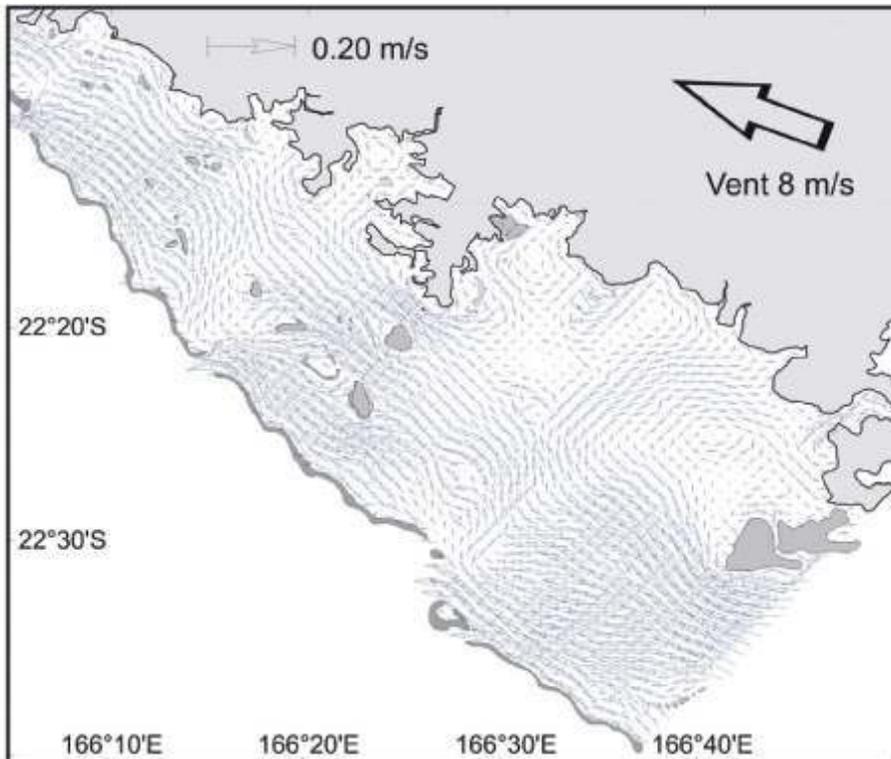


Figure 2. – Exemple de distribution des courants de fonds générés par modélisation hydrodynamique en trois dimensions (la longueur de la flèche de référence en haut à gauche correspond à une vitesse de courant de 0,2 m/s).

- 4 Les perspectives d'applications de cette approche n'ont pas échappé aux pouvoirs publics de Nouvelle-Calédonie et le programme ZoNéCo a financé la constitution d'un Atlas des courants, livré sur supports-papier et sous forme informatique, qui a depuis été largement utilisé pour des finalités très diverses (secours en mer, Plan Polmar, études environnementales locales). De la même manière, la représentation cartographique des indicateurs de l'état physique peut être utilisée comme outil d'aide à la décision. La représentation de la distribution à l'échelle du lagon du temps de vidange local (figure 3) montre, par exemple, combien cette grandeur physique peut varier dans l'ensemble du lagon (de 0,5 à 100 jours) Elle identifie, en particulier, en fonction de la morphologie de la côte, les zones sensibles où le temps de renouvellement des eaux est élevé et où tout rejet anthropique est donc à proscrire.

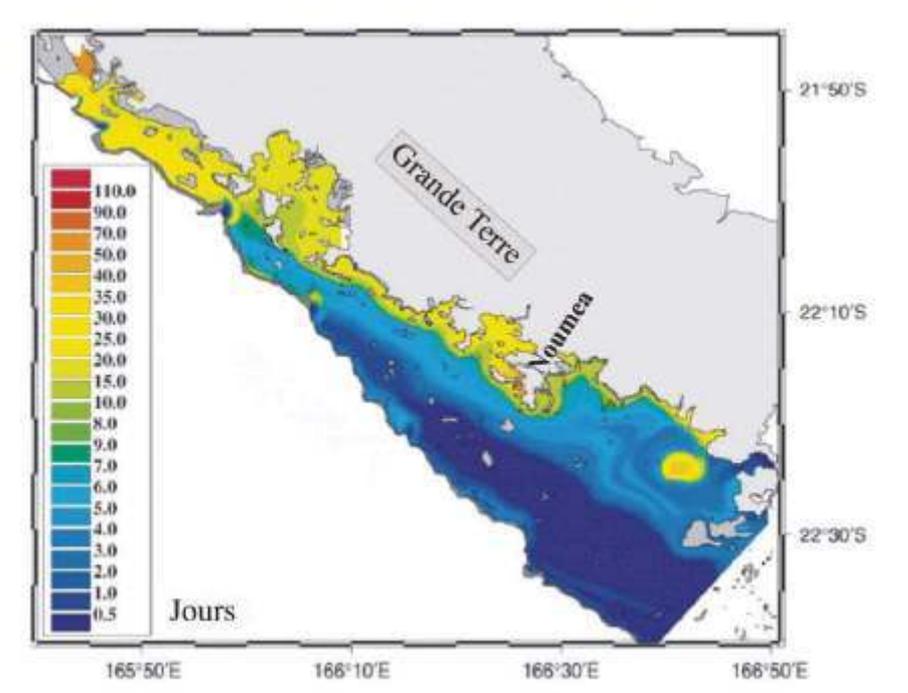


Figure 3. – Distribution du temps de vidange locale, en jours, dans la zone sud du lagon de la côte ouest de Nouvelle-Calédonie (Jouon *et al.*, 2006).

## Modélisation du transport des éléments dissous et des particules

- 5 L'étape suivante consistait, au niveau de la recherche, à coupler ce modèle hydrodynamique avec un modèle de transport pour arriver à prévoir le devenir, dans le lagon, des éléments dissous et des particules en suspension dans les eaux (les contaminants étant associés à l'une ou l'autre de ces formes). Les premiers résultats issus d'un modèle numérique de transport des particules fines (Douillet *et al.*, 2001) ont permis de mettre en évidence deux points importants (figure 4) :
1. L'influence du vent est prédominante dans les processus d'érosion sédimentaires et de dépôt en zones peu profondes, particulièrement lorsque la profondeur de l'eau est inférieure à 20 m.
  2. La marée, qui est un phénomène répétitif, contrôle pour l'essentiel le transport de ces particules, le mélange vertical dans la colonne d'eau et, finalement, le dépôt dans les zones où l'influence du vent est faible.

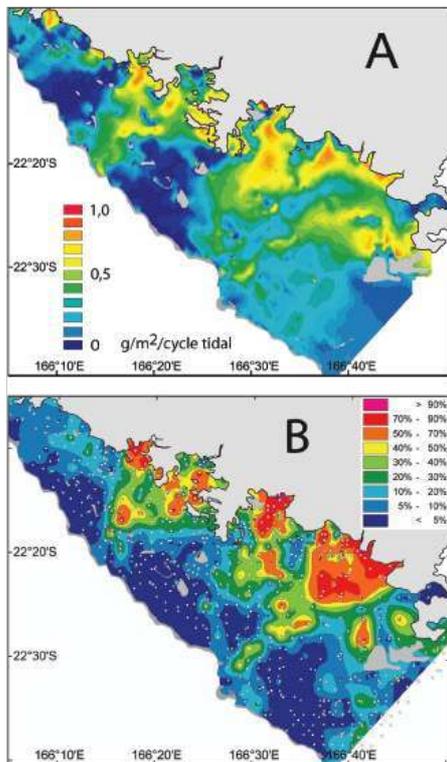


Figure 4. – (A) Modélisation du dépôt de particules fines (g/m<sup>2</sup>/cycle tidal) après un cycle de marée et sous l'effet d'un alizé de 8 m/s ; (B) comparaison avec la distribution (%) des sédiments fins dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie (d'après Douillet *et al.*, 2001).

- 6 Un second modèle simulant le transport en suspension de particules sableuses non cohésives a permis de montrer que les zones d'érosion correspondent bien aux fonds où la fraction grossière domine. Les profils restitués par le modèle sont pratiquement tous à l'équilibre, dépôt et érosion s'équilibrant, à l'exception des zones à forts gradients de contraintes de cisaillement ou lors de variations rapides de ces contraintes.
- 7 Le traitement des images satellites multi-spectrales a été également utilisé pour établir des cartes de turbidité dans le lagon et pour les confronter aux résultats de modélisation des effets induits par les conditions climatiques actuelles. Les cartes de turbidité issues des images Landsat 7 ont été combinées aux mesures *in situ* pour ajuster, zone par zone, les caractéristiques d'érodabilité des fonds qui, étant donnée la forte hétérogénéité de ceux-ci en domaine lagunaire, ne peut être définie que localement (Ouillon *et al.*, 2004).
- 8 Le principal intérêt appliqué de cette approche complexe réside dans le fait qu'elle permet de synthétiser mathématiquement les principaux mécanismes de transport et de dépôt et donc de proposer des scénarios prédictifs des effets susceptibles d'être induits par l'intervention de l'homme dans son environnement. L'étude de la distribution des éléments solubles ou des particules transportés par un émissaire de rejet en mer en est un exemple évident et un contrat de consultance pour l'évaluation de l'impact du rejet en mer des résidus d'un grand complexe minier prévu dans le sud de la Nouvelle-Calédonie est actuellement en cours.

## Les archives historiques sédimentaires

- 9 L'étude des sédiments en eux-mêmes peut permettre de reconstituer l'histoire de l'environnement. Dans les zones les plus favorables (faibles turbulences physiques et biologiques), les sédiments se déposent de façon ordonnée dans le temps et peuvent donc enregistrer certains changements des conditions environnementales. Le prélèvement de carottes sédimentaires, leur datation au moyen de traceurs isotopiques ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) et l'étude conjointe de traceurs anthropiques tels que des métaux, des hydrocarbures ou le phosphore permettent de reconstituer l'évolution des conditions d'environnement à l'échelle du dernier siècle. Cette approche peut, sous certaines conditions, être appliquée aux systèmes lagunaires (Harris *et al.*, 2001 ; Fichez *et al.*, 2005b). L'analyse de carottes sédimentaires prélevées en 1997 et 1998 dans le lagon de Nouvelle-Calédonie a permis de reconstituer l'évolution du taux de sédimentation et des apports en métaux (Fernandez *et al.*, 2002) et de comparer ces flux dans différents sites d'accumulation privilégiée (canyons et baies abritées).

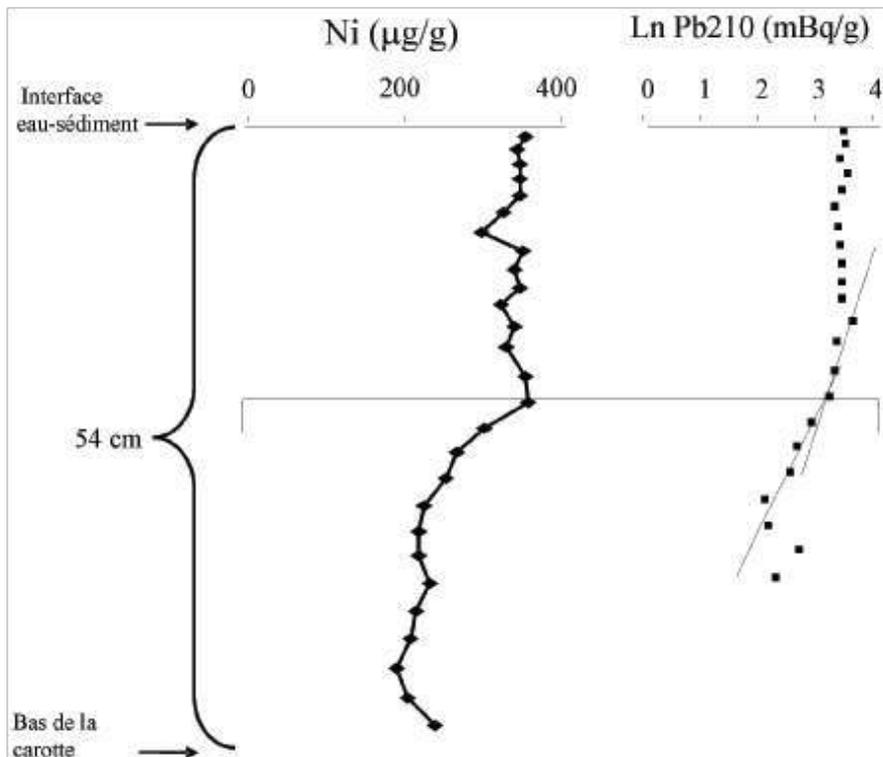


Figure 5. – Distribution verticale dans le sédiment (carotte prélevée dans la Baie de Sainte-Marie ; Fernandez *et al.*, 2002) des concentrations en nickel et de l'activité du  $^{210}\text{Pb}$ . La zone située au-dessus du trait horizontal, à 54 cm environ, montre un changement radical de régime sédimentaire caractérisé par un doublement du taux de sédimentation et une augmentation de la teneur en nickel dans les sédiments déposés, par rapport aux sédiments plus profonds. La zone supérieure correspond à la période de prospection minière des années 1950.

- 10 Les résultats obtenus dans le lagon de Nouvelle-Calédonie ont permis de mettre en évidence une brusque augmentation du taux de sédimentation liée à l'intensification de la prospection minière dans le sud de la Grande Terre après la Deuxième Guerre mondiale (figure 5). Cette sédimentation n'apparaît de façon significative que dans les zones littorales et s'accompagne d'une augmentation des teneurs en métaux d'origine terrigène

(nickel, chrome, cobalt, manganèse, en particulier). Malgré l'arrêt progressif de cette prospection dans les années 1960, les flux de sédiments et de métaux sont restés quasi constants jusqu'à aujourd'hui du fait de la poursuite des processus d'érosion initiés quelque 40 ans plus tôt. Ce cas constitue un exemple frappant des conséquences à long terme des mauvaises pratiques environnementales dans l'industrie minière et, dans le contexte actuel de l'extension de l'industrie minière en Nouvelle-Calédonie, justifie pleinement le choix de stratégies de prospection et d'exploitation minières prenant en compte les contraintes environnementales.

## Distribution des métaux dans le lagon et accumulation dans les organismes

### Caractérisation des fonds et distribution des contaminants métalliques dans les sédiments lagunaires

- 11 Les opérations de recherche dans ce domaine ont permis d'appliquer aux fonds du lagon de Nouvelle-Calédonie une approche très novatrice de discrimination acoustique. Cette technique utilise l'enregistrement en continu d'un signal issu d'un échosondeur classique qui donne, une fois traité et confronté à une action de « vérité terrain » exigeante (prélèvement de sédiments, photographies sous-marines...), des informations sur la dureté et la rugosité du fond qui permettent de reconnaître la distribution des types sédimentaires (vase, sables vaseux, sables...) et des principaux habitats biologiques. Au-delà de son intérêt scientifique propre, cette méthode permet de paramétrer et de valider les modèles de transports particuliers.
- 12 La variété des fonds reflète aussi la distribution des contaminants, tels que les métaux, dont les affinités avec les particules fines (vases) sont bien connues. Plutôt que d'étudier la concentration totale en métaux dans le sédiment, il est beaucoup plus éclairant de distinguer la localisation de ceux-ci dans les différentes fractions géochimiques (carbonatée, organique, oxydes de fer et de manganèse, résiduelle) qui constituent le sédiment. Ces fractions sont, en effet, plus ou moins mobilisables et donc plus ou moins assimilables par les organismes vivants (Tessier *et al.*, 1979). De plus la présence d'un métal donné dans une fraction géochimique peut permettre d'identifier sa source de façon précise (érosive, urbaine, industrielle...) et de comprendre sa distribution dans l'environnement superficiel. Cette information peut alors être utilement combinée avec l'analyse des trajectoires modélisées des particules et permettre de déterminer de façon encore plus précise les modes de déplacement des contaminants avant qu'ils se déposent dans les sédiments (Fernandez *et al.*, 2006).
- 13 L'application de ces recherches en reconnaissance acoustique des fonds du lagon de Nouvelle-Calédonie a permis de fournir une cartographie à haute résolution des principaux types de fonds en combinant granulométrie sédimentaire et indicateurs d'habitats biologiques (figure 6). Une connaissance précise de la nature des fonds constitue bien évidemment un préalable indispensable à toute prise de décision environnementale raisonnée. L'un des fruits de l'application de cette technique a été l'identification des zones d'accumulation de sédiments fins dans lesquels on retrouve l'essentiel des contaminants, métalliques et organiques (Andréfouët *et al.*, 2005) et qui doivent être l'objet d'une surveillance environnementale toute particulière.

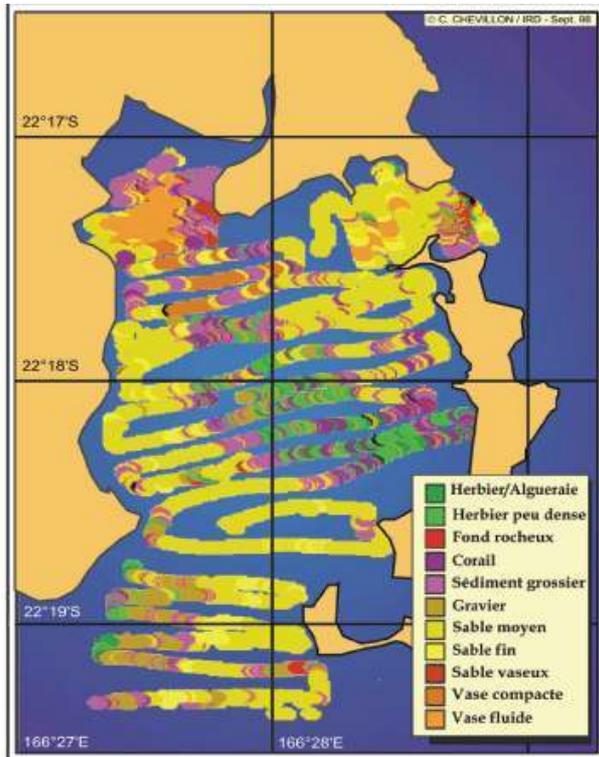


Figure 6. – Classification des différents types de fonds obtenus par enregistrement et traitement du signal d'un échosondeur (Baie de Sainte-Marie).

- 14 La technique du fractionnement géochimique des métaux dans les différentes phases constituant les sédiments dans le lagon de Nouvelle-Calédonie a permis, par exemple, d'identifier l'origine et l'extension de deux sources bien distinctes de métaux (figure 7). La distribution du nickel dans la phase résiduelle, grossière (figure 7A) indique des apports en matériel d'origine terrestre. La distribution de cet indicateur permet d'identifier très clairement l'influence prédominante de trois estuaires dans l'alimentation en sédiments dans cette zone du lagon et d'évaluer la dispersion des apports à partir de ces points sources. De plus, les concentrations observées dans la Baie de la Grande Rade au voisinage de Nouméa, alors qu'aucune rivière n'y débouche, peuvent être attribuées aux apports issus d'une usine de purification du minerai de nickel. Bien que sensible, l'extension et l'intensité de cette activité métallurgique reste limitée et, pour le paramètre considéré, les teneurs observées sont comparables à celles mesurées à l'embouchure des rivières. La distribution du zinc dans la phase organique (figure 7B) fournit, quant à elle, une information très différente. Elle permet d'identifier les sources et la distribution des apports urbains d'origine résidentielle, le zinc étant classiquement présent dans les tôles utilisées pour la couverture des habitations ainsi que dans les peintures et les produits de traitement du bois.

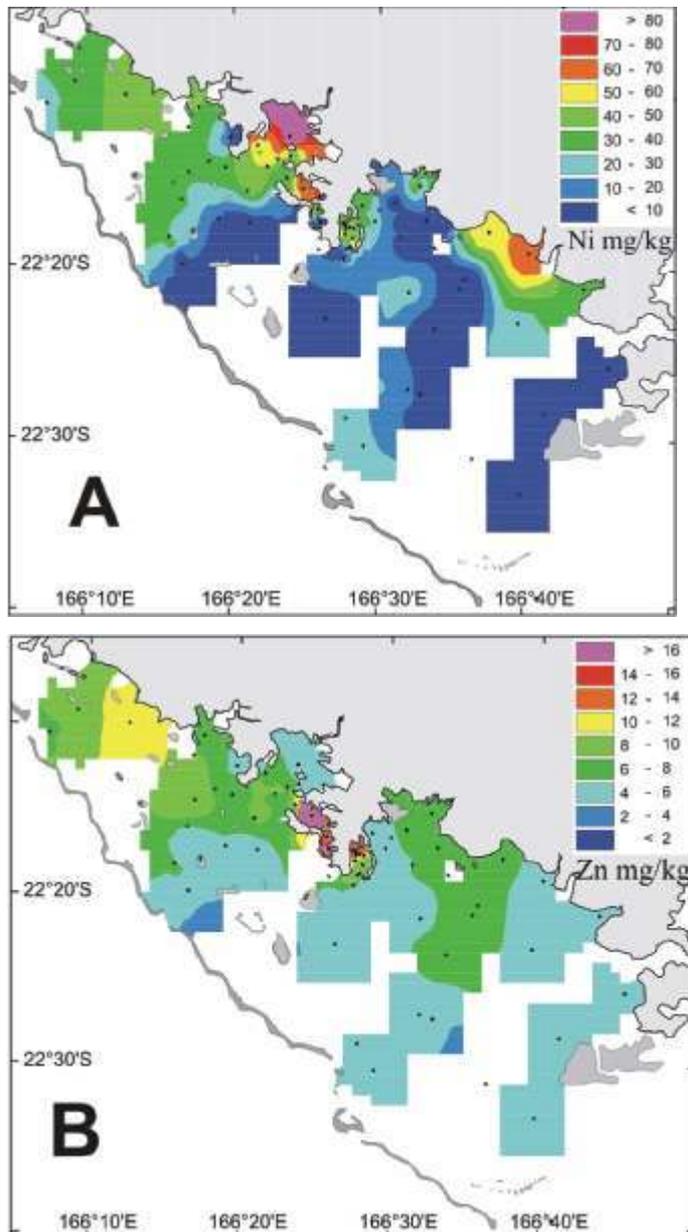


Figure 7. – Distribution (A) du nickel dans la fraction résiduelle et (B) du zinc dans la fraction organique des sédiments du lagon sud de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie (même zone que celle couverte dans la figure 1).

- 15 À nouveau c'est l'application, au lagon de Nouvelle-Calédonie, de l'approche combinée entre géochimie des métaux et modélisation du transport particulaire qui fournit aux décideurs les informations les plus utiles. La distribution dans les Baies de Boulari et de Sainte-Marie du nickel dans la fraction géochimique résiduelle, qui correspond à la fraction du nickel la plus intimement liée aux apports d'origine terrestre, est bien expliquée par la reconstitution des trajectoires de particules (figure 8). Les eaux de surface provenant de l'embouchure de la rivière La Coulée peuvent exporter des métaux dans la partie Est de la Baie de Sainte-Marie, alors que les eaux plus profondes, après avoir tourné dans la Baie de Boulari en y déposant une large part des métaux associés aux particules, évitent la Baie de Sainte-Marie et sont exportées le long de la frange littorale. Ces données démontrent bien que des rejets en surface ou en profondeur peuvent aboutir

à des résultats très différents en termes de comportement physique et de contamination chimique. Les politiques de traitement des rejets doivent prendre le plus grand compte de telles données.

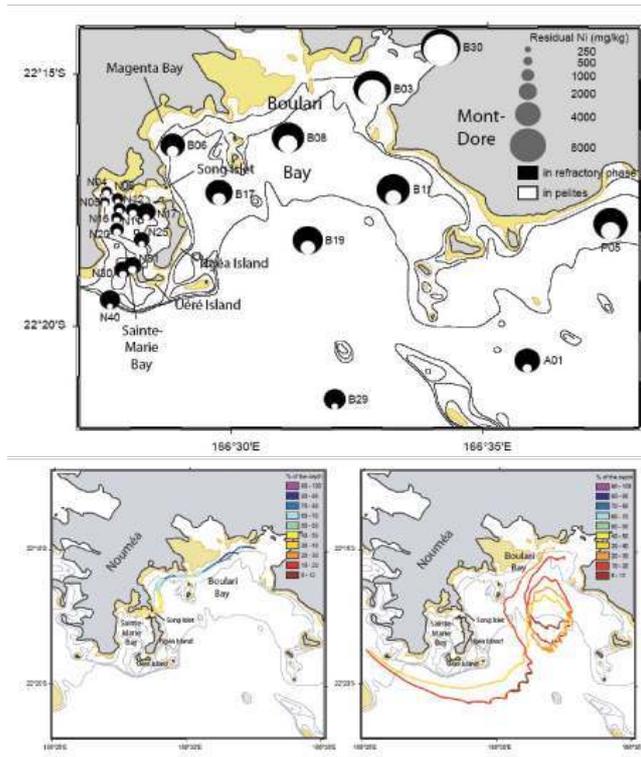


Figure 8. – Distribution de la concentration en nickel dans les pérites (particules fines) et dans la fraction résiduelle du sédiment dans la Baie de Boulari (en haut) et comparaison, dans la même zone, avec les trajectoires de particules issues de l'embouchure de la rivière La Coulée, à partir de la couche de surface (en bas à gauche), et à partir de la couche de fond (en bas à droite). Les codes couleurs indiquent le niveau de la colonne d'eau où se trouvent les particules transportées (0% = fond, 100% = surface).

### Les organismes vivants, sentinelles environnementales des pollutions métalliques

- 16 L'évaluation de la contamination métallique d'un environnement donné peut être appréhendée sous deux points de vue : (1) la caractérisation de l'ampleur de la contamination, c'est-à-dire la détermination qualitative et quantitative des métaux présents dans cet environnement et (2) la caractérisation des impacts de cette contamination. Ces deux démarches fournissent des informations complémentaires et méritent donc d'être menées en parallèle. La présence de métaux dans les organismes renseigne directement sur la biodisponibilité de ceux-ci dans l'environnement considéré. Elle intègre tous les facteurs (biotiques et abiotiques) intervenant dans les processus de bioaccumulation. Si, depuis l'essor de l'écotoxicologie dans les années 1970, de nombreuses études ont été menées sur les espèces bioindicatrices en milieu marin, la grande majorité des informations publiées concerne les écosystèmes marins tempérés et peu de données décrivent l'écotoxicologie des métaux dans des milieux marins tropicaux. Cette situation est d'autant plus inquiétante que de nombreux pays tropicaux connaissent actuellement une forte expansion industrielle (Lacher et Goldstein, 1997), et que ces

activités sont rarement accompagnées d'une législation assurant la réglementation et le contrôle des rejets industriels. De plus, les écosystèmes tropicaux sont des écosystèmes fragiles dont les capacités d'adaptation aux modifications environnementales sont limitées (Peters *et al.*, 1997). C'est donc dans un contexte de déficit en informations que des études de bioaccumulation des métaux ont été entreprises dans le cadre du programme de l'IRD à partir de 1999 (Breau, 2003 ; Hédouin, 2006 ; Hédouin *et al.*, 2007).

## Le choix des espèces bioindicatrices

- 17 L'application de cette méthode repose sur le choix préalable de bioindicateurs. Un bioindicateur « idéal » doit répondre à plusieurs critères biologiques et écologiques (Rainbow, 1995), ce qui limite le nombre de candidats. De plus, une biosurveillance efficace repose sur l'utilisation de plusieurs espèces permettant de rendre compte, spécifiquement, de voies éventuellement différentes de transfert des contaminants métalliques (Fichez *et al.*, 2005a). Une phase de prospection a été réalisée sur un ensemble de stations réparties dans des sites côtiers soumis à des apports métalliques divers. Douze espèces ubiquistes, appartenant à différents groupes biologiques et possédant des stratégies trophiques variées, ont ainsi été identifiées et sélectionnées :
- Algues : *Halimeda macroloba*, *Halimeda incrassata*, *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa sertularioides*, *Lobophora variegata*
  - Bivalves : *Isognomon isognomon*, *Gafrarium tumidum* (coque), *Hytissa hyotis*
  - Echinodermes : *Holothuria* (*Halodeima*) *edulis* (bêche de mer), *Diadema setosum* (oursin diadème)
  - Gastéropode : *Strombus* (*Laevistrombus*) *canarium* (sauteur)
  - Alcyonaires : *Sinularia leptoclados*, *Sarcophyton* sp
- 18 L'analyse comparative des niveaux de concentration en métaux (Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) dans les chairs d'individus de chaque espèce collectées en différents sites a permis de déterminer leur capacité propre à bioconcentrer les métaux. Les espèces *Gafrarium tumidum* et *Isognomon isognomon* (bivalves) et *Lobophora variegata* (algue brune) présentent le meilleur potentiel en termes de bioindication de contamination (Breau, 2003). Une étude statistique des relations existant entre les concentrations des différents métaux analysés et la taille des organismes, ou de parties d'organismes, a permis d'identifier, pour chacun des métaux, la ou les variables biométriques à prendre en compte et à standardiser pour pouvoir minimiser cette variabilité.
- 19 L'analyse des concentrations en métaux dans les organismes permet une première caractérisation spatiale du niveau de contamination dans l'environnement. La distribution des concentrations en zinc et en nickel chez *Isognomon isognomon* autour de la ville de Nouméa en fournit une illustration (figure 9). On observe que les concentrations en nickel dans les tissus de cette huître au voisinage de l'usine métallurgique de traitement du minerai de nickel sont légèrement supérieures aux concentrations enregistrées dans les estuaires voisins. Ces concentrations sont donc certes anormales pour une baie non estuarienne mais restent néanmoins dans une gamme de valeurs correspondant à des environnements naturels côtiers. Pour le zinc, que les organismes accumulent beaucoup plus efficacement que le nickel, les concentrations sont nettement plus élevées dans la baie urbanisée de Sainte-Marie et la baie urbanisée et industrialisée de la Grande Rade, que dans les autres sites. L'espèce *Isognomon isognomon* peut donc être

considérée comme une bonne candidate potentielle pour la biosurveillance du lagon de Nouvelle-Calédonie.

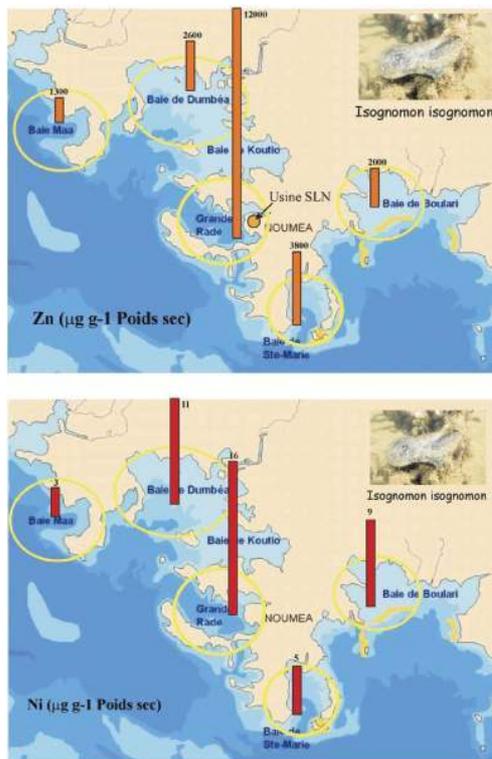


Figure 9. – Concentrations en zinc (en haut) et en nickel (en bas) dans les tissus de l'huître *Isognomon isognomon* dans les baies proches de la ville de Nouméa.

## Vitesses d'accumulation et d'élimination des métaux

- 20 L'opération de recherche suivante prolonge logiquement la précédente. Elle vise à déterminer les cinétiques d'accumulation et d'élimination des métaux dans les espèces suivantes, *Gafrarium tumidum*, *Isognomon isognomon* et *Lobophora variegata*. Il s'agit de déterminer la durée à l'issue de laquelle ces organismes sont capables de révéler une contamination en métaux dans leur environnement et la durée pendant laquelle ils sont susceptibles de préserver cette information. Pour cela, des organismes ont été expédiés dans les laboratoires de l'AIEA (Agence internationale pour l'énergie atomique) à Monaco où ils ont été mis en culture dans des mésocosmes (milieux de vie de dimensions restreintes) maintenus en conditions tropicales contrôlées simulant les conditions de terrain. Les expériences utilisent les techniques de radiotraçage dont la sensibilité permet de travailler avec des concentrations identiques à celles rencontrées dans le milieu naturel. Des expérimentations ont également été conduites sur l'incorporation des métaux à partir de sources trophiques et sédimentaires variées (Metian *et al.*, 2005) permettant ainsi de reconnaître l'importance respective des différentes sources de contaminants (eau, particules en suspension, nourriture) dans les processus d'incorporation des métaux dans les organismes. Enfin, de retour en Nouvelle-Calédonie, des expériences de transplantation d'organismes entre des sites non contaminés et des sites contaminés ont été effectuées pour étudier la capacité des organismes transplantés à enregistrer des niveaux et des modes de contamination locaux.

- 21 Les travaux expérimentaux réalisés ont permis de démontrer que les organismes retenus pouvaient enregistrer, avec un temps de latence de quelques jours à quelques semaines, un changement durable des conditions d'environnement. Puis, les résultats des expériences de transplantations entre des sites contaminés et des sites non contaminés se sont révélés très encourageants pour l'adoption d'une telle méthode de surveillance biologique de l'environnement. Les résultats obtenus pour une transplantation d'individus de l'algue brune *L. variegata* d'un site non contaminé vers un site contaminé ont montré (figure 10) la forte réactivité de l'espèce dans les tissus de laquelle les concentrations ont augmenté linéairement pendant 70 jours pour atteindre des valeurs supérieures aux concentrations observées dans des individus de la même espèce naturellement présents dans le site contaminé. Ceci démontre une capacité d'amplification du signal très intéressante chez cette espèce ainsi qu'une capacité d'adaptation à des conditions environnementales locales qui devront être soigneusement prises en compte lors de la conception de réseaux de surveillance.

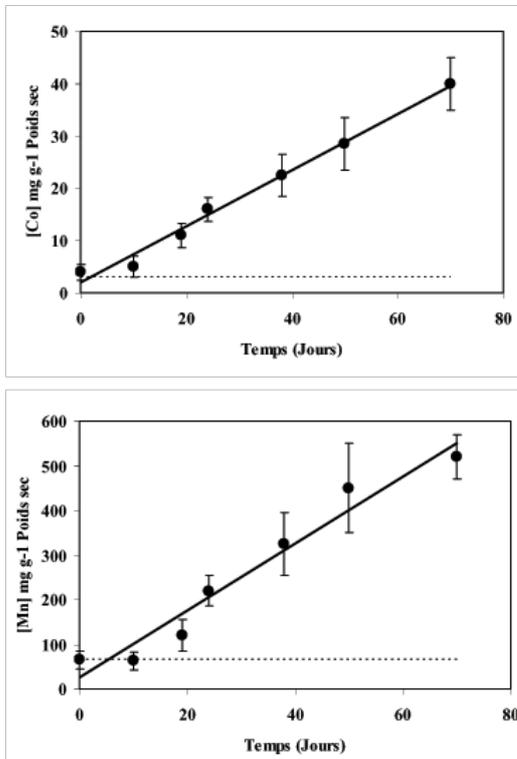


Figure 10. – Évolution au cours du temps des concentrations en cobalt et en manganèse dans les tissus d'algues brunes *Lobophora variegata* transplantées d'un site non contaminé par les métaux dans un site contaminé. La ligne pointillée correspond aux concentrations initiales dans les organismes du site non contaminé.

## Les effets de l'enrichissement nutritif sur les communautés planctoniques

### Variations spatiales des caractéristiques trophiques des eaux lagunaires

- 22 La recherche dans ce domaine consiste à analyser les importants jeux de données fournis par les mesures des caractéristiques physico-chimiques des eaux (température, salinité, nitrates, ammonium, phosphate...). Cette analyse nécessite l'utilisation de traitements mathématiques tels que la combinaison d'une analyse en composantes principales et d'une analyse hiérarchique. La conduite de telles analyses sur les jeux de données du lagon de Nouvelle-Calédonie a permis d'identifier deux grands facteurs structurants qui expliquent, à eux seuls, plus de 70 % de la variabilité spatiale des caractéristiques physico-chimiques (Ouillon *et al.*, 2005 ; Fichez *et al.*, soumis). Le premier facteur structurant, qui explique l'essentiel de la variabilité, est un gradient d'enrichissement trophique alors que le second facteur structurant est principalement un gradient de salinité.

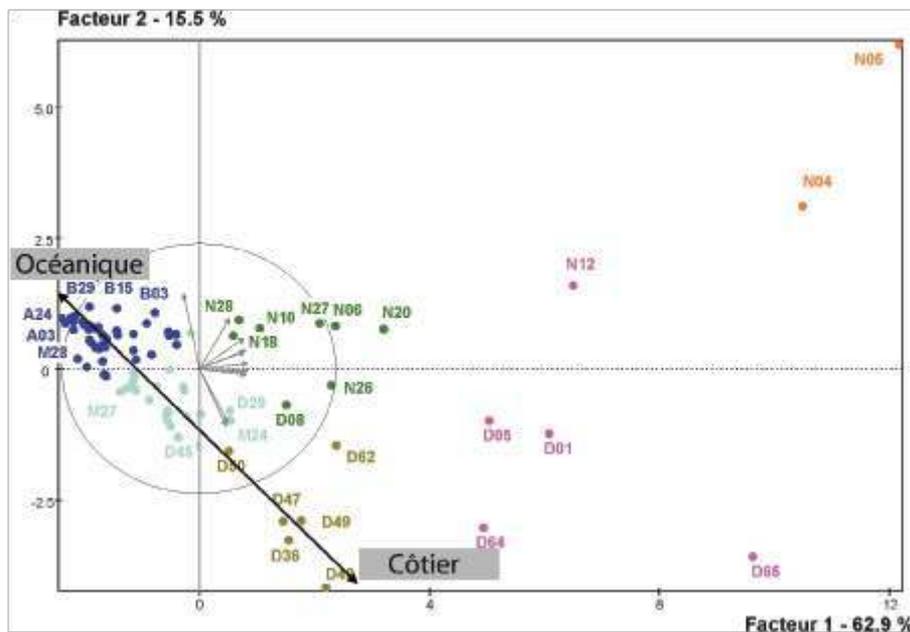


Figure 11. – Projection des stations selon les deux premiers axes factoriels d'une analyse en composantes principales combinée à une classification hiérarchique des stations d'échantillonnage (réalisés en septembre 2000). Ce traitement mathématique, conduit sur des matrices de données complexes (87 stations x 12 paramètres), permet d'établir une typologie des eaux du lagon et, en particulier, d'identifier les anomalies provoquées par les rejets anthropiques (stations s'écartant de la droite entre influence océanique et côtière).

- 23 L'analyse combinée de tous les paramètres environnementaux disponibles permet d'établir une typologie des eaux (figure 11). Les deux principaux facteurs structurants du milieu – enrichissement trophique et salinité – correspondent, tous deux, au mélange d'eaux océaniques et d'eaux estuariennes. L'influence de ces dernières se traduit par une diminution de la salinité et par un enrichissement des eaux en éléments trophiques.
- 24 En revanche, certaines stations s'écartent résolument de ce schéma d'organisation et sont le siège d'enrichissements notables, voire exceptionnels, en certains éléments ou – sous

l'angle qualitatif – d'enrichissements en éléments « inattendus », toujours allogènes. Ces stations sont identifiées comme des stations perturbées par des enrichissements trophiques artificiels attribuables aux rejets d'eaux usées de l'agglomération de Nouméa.

- 25 Ces différences permettent donc de distinguer l'eutrophisation naturelle, par exemple de masses d'eau abritées et quasi-stagnantes, d'une eutrophisation induite par l'homme.

### Réponses des communautés planctoniques aux apports en éléments nutritifs

- 26 Ce domaine concerne les réponses des organismes aquatiques aux variations trophiques induites par des apports de natures variées en provenance de l'île voisine. Quatre populations, définies par la taille et la physiologie des organismes qu'elles rassemblent, ont été étudiées : des organismes du picoplancton (de taille comprise entre 0,2 et 2 µm), hétérotrophes (trouvant leur carbone dans des matières organiques d'origine biologique. Il s'agit essentiellement de bactéries); des organismes du picoplancton (0,2-2 µm), autotrophes (trouvant leur carbone dans le CO<sub>2</sub> dissous dans les eaux) Il s'agit de procaryotes et d'eucaryotes; des organismes du nanoplancton (2-20 µm) et du microplancton (>20 µm) autotrophes (cyanobactéries et algues), des organismes du nanoplancton hétérotrophe (flagellés et ciliés hétérotrophes) (Jacquet, 2005 ; Jacquet *et al.*, 2006).
- 27 Les apports terrigènes et anthropiques peuvent fortement influencer les populations planctoniques naturellement adaptées à un environnement oligotrophe. Même pour un niveau d'eutrophisation qui pourrait sembler limité (concentrations en chlorophylle *a* atteignant au plus 3 µg l<sup>-1</sup> en fonds de baie) par rapport à ce qui peut être observé dans beaucoup de mers tempérées, les changements sont extrêmement marqués en terme de production (primaire et bactérienne, Torréton *et al.*, 2007 ; Rochelle-Newall *et al.*, 2008), de rendement de croissance bactérienne (Briand *et al.*, 2004) et d'importances respectives des populations fonctionnelles citées plus haut (Jacquet, 2005 ; Jacquet *et al.*, 2006).
- 28 En termes de structure des communautés on observe, en particulier, un net changement des groupes dominants (figure 12), se traduisant par un accroissement de la taille des cellules phytoplanctoniques en fonction de l'augmentation en azote inorganique dissous.

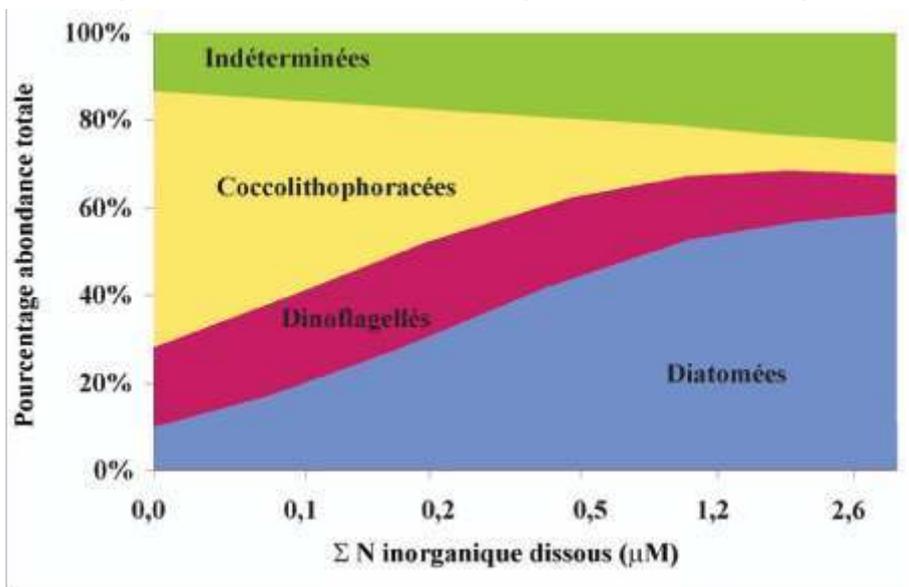


Figure 12. – Évolution du pourcentage d'abondance des 3 groupes phytoplanctoniques les plus abondants en fonction de la concentration en azote inorganique dissous (exprimée en micromoles,  $\mu\text{M/L}$ ). Cellules et groupes minoritaires indéterminés sont rassemblés.

- 29 En termes de contraintes trophiques les rapports DIN/DIP (azote inorganique/azote organique dissous) suggéraient très fortement que, dans l'ensemble du lagon de Nouvelle-Calédonie, l'azote était le premier macronutriment potentiellement limitant, au moins pour les producteurs primaires. Une série d'expérimentations complémentaires basées sur des analyses de réponses métaboliques ou le traçage isotopique des flux d'azote et de phosphore a permis de confirmer cette limitation du fait de l'azote en démontrant que le recyclage de l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ) était 9 fois plus rapide que celui du phosphore (données non publiées).
- 30 Les réponses des communautés planctoniques aux apports en éléments nutritifs permettent de définir des indicateurs de l'état d'altération du milieu. La figure 12 montre ainsi qu'une modification des conditions d'environnement provoque une modification radicale de la composition du peuplement planctonique. La variabilité sur quelques heures des concentrations en azote dissous dans l'eau peut être considérable ce qui fait de cet élément un indicateur peu fiable (Fichez *et al.*, 2005a, 2006). La réponse biologique des peuplements planctoniques est, par contre, de l'ordre de plusieurs jours à plusieurs semaines et elle lisse donc cette variabilité. Elle constitue alors un paramètre environnemental beaucoup plus robuste qui peut être utilisé comme outil de surveillance du milieu. On peut par exemple considérer que dans la partie médiane du lagon, caractérisée par des conditions franchement oligotrophes, un pourcentage de diatomées supérieur à 25 % traduit un enrichissement anormal du milieu en éléments nutritifs alors que ce même pourcentage peut être considéré comme parfaitement normal dans les baies non anthropisées.

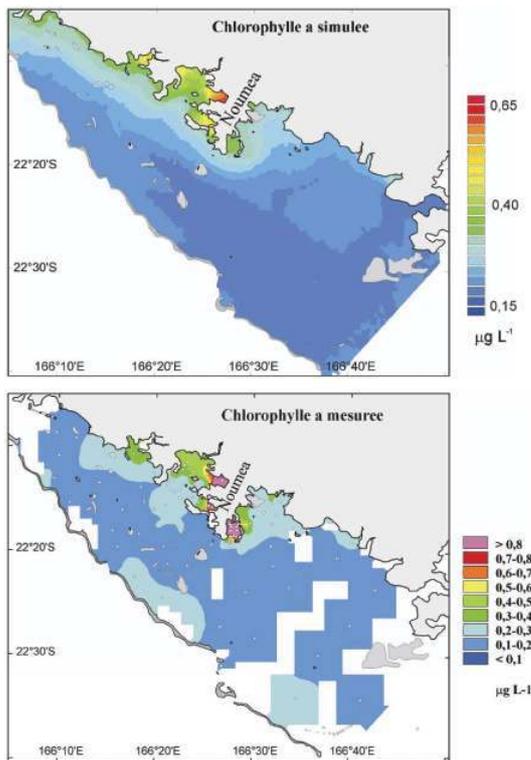
## Modélisation du fonctionnement biogéochimique

- 31 Les résultats de nature écologique obtenus sur le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, et décrits dans cet article, ont été confrontés et associés afin de permettre une modélisation globale du fonctionnement biogéochimique de cet écosystème. Les travaux conduits sur la modélisation biologique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie ont tout d'abord porté sur des approches de type « modèles en compartiments » qui permettent de modéliser le fonctionnement biologique au sein de sous - systèmes considérés comme homogènes (Bujan, 2000 ; Bujan *et al.*, 2000). Mais très rapidement, et compte tenu de la forte diversité spatiale des milieux prospectés, les travaux ont évolué vers un modèle à maillage fin fournissant une bien meilleure résolution et une bien meilleure précision. Les premiers résultats obtenus (Bujan, 2000 ; Pinazo *et al.*, 2004) souffraient d'une prise en compte insuffisante de la spécificité des processus de recyclage des nutriments en environnement côtier tropical, en particulier de ceux liés à la boucle microbienne, relativement peu étudiée en milieu corallien (Torréton, 2000). C'est pourquoi une amélioration du modèle a été conduite à partir de 2002 afin de mieux prendre en compte cette complexité du système biologique (Baklouti *et al.*, 2006a, 2006b ; Faure *et al.*, 2006). La confrontation entre les résultats du modèle biologique actuellement disponible et les données de terrain démontre que le modèle reproduit raisonnablement certains indicateurs de la biomasse (*e.g.* la concentration en chlorophylle *a*) et de la productivité (*e.g.* la production bactérienne) des communautés planctoniques. Le modèle

en revanche rend difficilement compte de l'évolution des concentrations en nutriments essentiels (ammonium en particulier) du fait de l'extrême variabilité de ces éléments dans le milieu.

- 32 Au-delà de son intérêt purement scientifique, cette approche ouvre des perspectives d'application qui sont principalement liées à la dimension prédictive qu'offre la modélisation. Comme les perspectives qu'a ouvertes la modélisation hydrodynamique, ces dernières ont suscité l'intérêt des collectivités et promu la création du programme ZoNéCo. Il devient en effet possible de simuler l'évolution des réponses de l'environnement à différents scénarios « théoriques » de modifications environnementales. À titre d'exemple, la simulation permet de produire une carte de distribution de la chlorophylle *a*, variable indicatrice de la biomasse du phytoplancton, pour des conditions d'alizés moyens et en l'absence de tout apport anthropique (figure 13). La comparaison de cette carte avec la distribution de la chlorophylle *a* mesurée en septembre 2000 permet ainsi d'identifier les zones où les concentrations en chlorophylle *a* dépassent largement les concentrations prédites sans prendre en compte des apports anthropiques (Baie de Sainte-Marie, Grande Rade, Baie de Koutio) et donc les zones dont l'enrichissement en phytoplancton n'est pas seulement naturel. Une telle approche permet donc de quantifier précisément la part de cet enrichissement pouvant être attribuée aux apports artificiels.

Figure 13. – Comparaison entre les distributions des concentrations en chlorophylle *a* dans le lagon de Nouméa (1) simulées par le modèle biogéochimique en l'absence d'apports anthropiques et (2) mesurées en septembre 2000.



*Ce programme a été conduit avec le soutien scientifique et financier de l'IRD, du Programme national Environnement côtier, du programme EC2CO et du Programme ZoNéCo. Nous remercions vivement le personnel technique du centre IRD de Nouméa ainsi que les équipages des navires de l'*

IRD, dont le N.O. Alis, qui ont largement contribué à la réalisation de ce programme pluridisciplinaire.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDRÉFOUËT S., HOCHBERG E.J., CHEVILLON C., MULLER-KARGER F.E. and BROCK J.C., 2005. Multi-scale integration of remote sensing tools to understand physical and biological processes in coastal environments : examples on coral reefs, in RL Miller, CE Del Castillo, BA McKee (eds), *Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments*, Berlin, Springer, pp. 297-315.
- BAKLOUTI M., FAURE V., PAWLOWSKI L. and SCIANDRA A., 2006a. Investigation and sensitivity analysis of a mechanistic phytoplankton model implemented in a new modular numerical tool (Eco3M) dedicated to biogeochemical modeling, *Progress in Oceanography* 71, pp. 34-58.
- BAKLOUTI M., DIAZ F., PINAZO C., FAURE V. and QUEGUINER B., 2006b. Investigation of mechanistic formulations depicting phytoplankton dynamics for models of marine pelagic ecosystems and description of a new model, *Progress in Oceanography* 71, pp. 1-33.
- BREAU L., 2003. Étude de la bioaccumulation des métaux dans quelques espèces marines tropicales : Recherche de bioindicateurs de contamination et application à la surveillance de l'environnement côtier dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie, thèse de doctorat de l'université de La Rochelle, 318 p.
- BRIAND E., PRINGAULT O., JACQUET S. and TORRÉTON J. P., 2004. The use of oxygen microprobes to measure bacterial respiration for determining bacterioplankton growth efficiency, *Limnology and Oceanography: Methods* 2, pp. 406-416.
- BUJAN S., 2000. Modélisation biogéochimique du cycle du carbone et de l'azote dans les écosystèmes côtiers tropicaux sous influence terrigène et anthropique : application au lagon de Nouméa (Nouvelle-Calédonie), thèse de doctorat de l'université d'Aix-Marseille II, 293 p.
- BUJAN S., GRENZ C., FICHEZ R. et DOUILLET P., 2000. Évolution saisonnière du cycle biogéochimique dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Application d'un modèle compartimental, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. III, Biologies* 323, pp. 225-233.
- DOUILLET P., 1998. Tidal dynamics of the south-west lagoon of New Caledonia: observations and 2D numerical modelling, *Oceanologica Acta* 21, pp. 69-79.
- DOUILLET P., OUILLOU S. and CORDIER E., 2001. A numerical model for fine suspended sediment transport in the southwest lagoon of New Caledonia. *Coral Reefs*, 20, pp. 361-372.
- FAURE V., PINAZO C., TORRÉTON J.-P. and DOUILLET P., 2006. Relevance of various formulations of phytoplankton chlorophyll a: carbon ratio in a 3D marine ecosystem model, *C. R. Acad. Sci., Biologies* 329, pp. 813-822.
- FERNANDEZ J.-M., MORETON B., FICHEZ R., BREAU L., MAGAND O. and BADIE C., 2002. Advantages of combining  $^{210}\text{Pb}$  and geochemical signature determinations in sediment record studies: application to coral reef lagoon environments, in Fernandez J.-M. and Fichez R. (éds), *Environmental Changes and radioactive tracers*, Paris, IRD éd., pp. 187-199.

- FERNANDEZ J.M., OUILLOU S., CHEVILLON C., DOUILLET P., LEGENDRE R. and FICHEZ R., 2006. A combined modelling and geochemical study of the fate of terrigenous inputs from mixed natural and mining sources in a coral reef lagoon (New Caledonia), *Marine Pollution Bulletin* 52, pp. 320-331.
- FICHEZ R., CHIFFLET S., DOUILLET P., GÉRARD P., GUTIERREZ F., JOUON A. and OUILLOU S., soumis. Biogeochemical typology and temporal variability of lagoon waters in a coral reef ecosystem subject to terrigenous and anthropogenic inputs (New Caledonia), *Marine Pollution Bulletin*.
- FICHEZ R., ADJEROUD M., BOZEC Y.M., BREAU L., CHANCERELLE Y., CHEVILLON C., DOUILLET P., FERNANDEZ J.M., FROUIN P., KULBICKI M., MORETON B., OUILLOU S., PAYRI C., PEREZ T., SASAL P. and THÉBAULT J., 2005a. A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems, *Aquatic Living Resources* 18, pp. 125-147.
- FICHEZ R., HARRIS P., FERNANDEZ J.M., CHEVILLON C. and BADIE C., 2005b. Sediment records of past anthropogenic environmental changes in a barrier reef lagoon (Papeete, Tahiti, French Polynesia), *Marine Pollution Bulletin* 50, pp. 599-608.
- HATCHER B.G., JOHANNES R.E. and ROBERTSON A.I., 1989. Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems, *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 27, pp. 337-414.
- HARRIS P., FICHEZ R., FERNANDEZ J.M., GOLTERMAN H.L. and BADIE C., 2001. Using geochronology to reconstruct the evolution of particulate phosphorus inputs during the past century in the Papeete Lagoon (French Polynesia), *Oceanologica Acta* 24, pp. 1-10.
- HÉDOUIN L., 2006. Caractérisation d'espèces bioindicatrices pour la surveillance des activités minières et la gestion de l'environnement en milieu récifal et lagunaire : application au lagon de Nouvelle-Calédonie, thèse de doctorat de l'université de La Rochelle, 328 p.
- HÉDOUIN L., PRINGAULT O., METIAN M., BUSTAMANTE P. and WARNAU M., 2007. Nickel bioaccumulation in bivalves from the New Caledonia lagoon: Seawater and food exposure, *Chemosphere* 66, pp. 1449-1457.
- HÉDOUIN L., METIAN M., TEYSSIE J.L., FOWLER S. W., FICHEZ R. and WARNAU M., 2006. Allometric relationships in the bioconcentration of heavy metals by the edible tropical clam *Gafrarium tumidum*, *Science of the Total Environment* 366, pp. 154-163.
- JACQUET S., 2005. Impact des apports en nutriments sur le réseau trophique planctonique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, 278 p.
- JACQUET S., DELESALLE B., TORRÉTON J.-P. and BLANCHOT J., 2006. Response of phytoplankton communities to increased anthropogenic influences (southwestern lagoon, New Caledonia), *Marine Ecology - Progress Series* 320, pp. 65-78.
- JOUON A., DOUILLET P., OUILLOU S. and FRAUNIÉ P. 2006. Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model, *Continental Shelf Research* 26, pp. 1395-1415.
- Lacher, T.E.; Goldstein, M.I., 1997. Tropical ecotoxicology: Status and needs. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16, 100-111.
- MARI X., ROCHELLE-NEWALL E., TORRÉTON J.-P., PRINGAULT O. and JOUON A., 2007. Water residence time: a regulatory factor of the DOM to POM transfer efficiency, *Limnology and Oceanography* 52, pp. 808-819.
- METIAN M., HÉDOUIN L., BARBOT Q., TEYSSIE J.L., FOWLER S.W., GOUDARD F., BUSTAMANTE P., DURAND J.P., PIERI J., and WARNAU M., 2005. Use of radiotracer techniques to study subcellular distribution of metals

and radionuclides in bivalves from the Noumea Lagoon, New Caledonia, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 75, pp. 89-93.

OUILLOON S., DOUILLET P. and ANDRÉFOUËT S., 2004. Coupling satellite data with in situ measurements and numerical modeling to study fine suspended-sediment transport: a study for the lagoon of New Caledonia, *Coral Reef* 23, pp. 109-122.

OUILLOON S., DOUILLET P., FICHEZ R. and PANCHÉ J.Y. 2005. Enhancement of regional variations in salinity and temperature in a coral reef lagoon, New Caledonia, *C. R. Acad. Sci., Geoscience* 337, pp. 1509-1517.

PETERS E.C., GASSMAN N.J., FIRMAN J.C., RICHMOND R.H. and POWER E.A., 1997. Ecotoxicology of tropical marine ecosystems, *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, pp. 12-40.

PINAZO C., BUJAN S., DOUILLET P., FICHEZ R., C. GRENZ and MAURIN A., 2004. Impact of wind and freshwater inputs on phytoplankton biomass in the coral reef lagoon of New Caledonia during the summer cyclonic period: a coupled 3D biogeochemical modelling approach, *Coral Reefs* 23, pp. 281-296.

RAINBOW P.S., 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 31, pp. 183-192.

ROCHELLE-NEWALL E.J., TORRÉTON J.-P., MARI X., PRINGAULT O., 2008. Phytoplankton-bacterioplankton coupling in the coastal sub-tropical South Pacific, *Aquatic Microbial Ecology* 50, pp. 221-229.

TESSIER A., CAMPBELL P.G.C. and BISSON M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Analytical Chemistry* 51, pp. 844-851.

TORRÉTON J.-P., 2000. Importance du bactérioplancton dans la transformation et le devenir de la matière organique en milieu corallien. *Oceanis*, 26, 389-425.

TORRÉTON J.-P., FAURE V., JOUON A., ROCHELLE-NEWALL E., JACQUET S. and DOUILLET P., 2007. Correspondence between the distribution of hydrodynamic time parameters and the distribution of biological and chemical variables in a semi-enclosed coral reef lagoon, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 74, pp. 766-776.

## RÉSUMÉS

L'IRD (Institut de recherche pour le développement) conduit depuis dix ans un programme pluridisciplinaire sur les effets des apports naturels et anthropiques sur le fonctionnement du lagon de Nouvelle-Calédonie. Celle-ci connaît actuellement une croissance de sa population et un développement de son industrie minière. Trois grands types d'apports sont pris en compte : les particules entraînées par l'érosion des sols et des sous-sols et dont l'accumulation brutale peut être responsable du dépôt de quantités considérables de sédiments, les métaux potentiellement toxiques pour les organismes vivant dans le lagon et les éléments nutritifs susceptibles de conduire les eaux jusqu'à l'eutrophisation (confinement chimique conduisant à l'élimination de nombreuses espèces vivantes et à la dominance d'un petit nombre d'autres). Le présent article offre trois exemples de problématiques environnementales qui n'ont pu être résolues qu'au moyen de la fédération de différentes approches de recherche complémentaires : l'influence des courants sur la dispersion des particules détritiques en provenance de l'île, le devenir des métaux dans le lagon et leur accumulation dans les organismes, les effets des apports en nutriments sur les communautés planctoniques et les risques d'eutrophisation. Les résultats de ces recherches sont présentés tout en conservant à l'esprit les objectifs nécessairement appliqués d'un programme de recherche pour le développement. Il s'agit principalement de définir les bases

scientifiques permettant d'identifier certains outils de diagnostic environnemental et de développer des approches de simulation mathématique susceptibles d'offrir une vision synthétique et prévisionnelle de l'état et du devenir des environnements lagunaires sous influence anthropique.

For the past ten years, the IRD (Institut de recherche pour le développement) has developed a multidisciplinary programme dealing with the effects of natural and anthropogenic terrigenous inputs on the New Caledonia coral reef lagoon which is currently subjected to environmental pressure due to population increase and development of the mining industry. The ongoing study focused on three main categories of inputs: (i) particles generated by erosion processes and responsible for excessive sediment inputs in the lagoon, (ii) metals exhibiting a potentially lethal effect on the lagoon biota, (iii) nutrients responsible for eutrophication. This article presents three examples of environmental issues that could be addressed through complementary research approaches: (i) the dispersion of terrigenous inputs as commended by currents, (ii) the fate of metals in the lagoon and their accumulation in the biota, (iii) the effects of nutrient enrichment on pelagic communities. Results are presented while keeping in mind the necessary applied outcomes requested from a research programme devoted to development issues. Such outcomes are mainly related to the identification of suited environmental diagnostic tools and to the development of modelling approaches yielding synthetic and predictive information on the status and fate of coral reef lagoons subject to anthropogenic stress.

## INDEX

**Mots-clés** : lagon, récif corallien, anthropique, terrigène, nutriments, métaux, particules, environnement

**Keywords** : lagoon, coral reef, anthropogenic, terrigenous, nutrients, metals, particles, environment