

ORSTOM

ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS DU PACIFIQUE
INFLUENCES TERRIGÈNES ET
ANTHROPIQUES



R. FICHEZ et J. CLAVIER

- Mai 1996 -

ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS DU PACIFIQUE

INFLUENCES TERRIGÈNES ET ANTHROPIQUES

- PROGRAMME ECOTROPE -

par

R. FICHEZ & J. CLAVIER



0 2 DEC. 1996

- Mai 1996 -

4200079312
2 ex FDI
Non Num

082
ECOSYS
fic

F



010052718

Sommaire

1. Résumé :	5
1. LES ÉCOSYSTEMES LITTORAUX : RÔLE DE L'ORSTOM	7
1.1. La gestion du littoral apparaît comme une priorité dans le Pacifique	7
1.2. L'ORSTOM possède une bonne expérience des milieux coralliens du Pacifique	8
2. LE PROJET SCIENTIFIQUE : PROGRAMME ÉCOTROPE	10
2.1. Un programme de recherche pour le développement en coopération dans le Pacifique	10
2.2. Les objectifs	13
2.2.1. Connaître l'origine, préciser la nature et quantifier l'importance des apports terrigènes et anthropiques	13
2.2.2. Comprendre le déplacement et suivre l'évolution des substances dissoutes et particulaires pendant leur transport par l'hydrodynamisme	13
2.2.3. Déterminer les conséquences des apports dissous et particulaires sur les biotopes	14
2.2.4. Caractériser le rôle indicateur des biocénoses pélagiques	14
2.2.5. Caractériser le rôle intégrateur des biocénoses benthiques	14
2.3. Les produits attendus	15
2.3.1. Utilisateurs des résultats du programme et moyens de valorisation	15
2.3.2. Formation	15
2.4. Les zones géographiques concernées par le programme	16
2.4.1. Nouvelle Calédonie	16
2.4.2. Fidji	17
2.4.3. Polynésie Française	18
2.5. Les potentialités d'insertion dans les programmes nationaux et internationaux	18
2.6. Les autres perspectives de financement	18
3. LA MISE EN OEUVRE	20
3.1. Méthodes et outils	20
3.1.1. Masse d'eau	20
3.1.2. Sédiment	20
3.1.3. Peuplements pélagiques	21
3.1.4. Peuplements benthiques	21
3.1.5. Peuplements de poissons	22
3.2. L'équipe de recherche	23
3.2.1. Équipe ORSTOM	23
3.2.2. Unités Techniques	24
3.2.3. Étudiants	25
3.2.4. Partenariat avec l'University of South Pacific (Fidji)	25
3.2.5. Pluridisciplinarité	26
3.2.6. Collaborations françaises	27
3.2.7. Collaborations étrangères	27

3.3. Phase exploratoire initiale	27
3.4. Calendrier prévisionnel	28
3.5. Disciplines impliquées	28
4. FICHE D'IDENTITE DU PROGRAMME	30
5. FICHE-ACTION 1 : BIOTOPES PÉLAGIQUES	31
5.1. Modélisation Hydrodynamique et Processus de Transport	31
5.2. Caractéristiques Physico-chimiques	32
5.3. Acquisition de séries de mesures en continu	33
6. FICHE-ACTION 2 : SÉDIMENTS	35
6.1. Répartition spatiale des caractéristiques sédimentaires	35
6.2. Archives sédimentaires	36
7. FICHE-ACTION 3 : BIOCÉNOSES PÉLAGIQUES	38
7.1. Bactérioplancton	38
7.2. Phytoplancton	39
7.3. Zooplancton	40
8. FICHE-ACTION 4 : BIOCÉNOSES BENTHIQUES	42
8.1. Cartographie des peuplements benthiques	42
8.2. Structure des Biocénoses Benthiques	43
8.3. Métabolisme benthique	45
9. FICHE-ACTION 5 : PEUPELEMENTS DE POISSONS	47
9.1. Analyse des données historiques	47
9.2. Ichtyofaune des Herbiers et Algueraies	48
9.3. Poissons éco-indicateurs	48

<p style="text-align: center;">ORSTOM - UR 16 LE PROGRAMME ÉCOTROPE Écosystèmes côtiers du Pacifique - Influences terrigènes et anthropiques</p>

1. Résumé :

Les pays de la ceinture tropicale subissent de profondes mutations économiques, sources d'importantes répercussions sur les milieux côtiers. Dans ce contexte, l'ORSTOM peut et doit jouer un rôle majeur pour la définition des bases scientifiques nécessaires à la gestion intégrée du littoral. A partir de l'expérience acquise sur les milieux coralliens du Pacifique, l'UR16, qui était jusqu'ici dédiée aux écosystèmes lagunaires et récifaux, a infléchi son domaine d'activités afin de mieux examiner les influences terrigènes et anthropiques sur les biotopes et les biocénoses des milieux côtiers tropicaux. Cette réorientation se concrétise, dans un premier temps, par le programme ECOTROPE qui, s'appuyant sur l'expérience acquise, focalise l'essentiel de son action sur l'environnement de la frange côtière des milieux récifo-lagonaires de la région Pacifique.

Les objectifs de ce programme sont articulés autour de cinq grandes orientations:

- 1 - Connaître l'origine, préciser la nature et quantifier l'importance des apports terrigènes et anthropiques.
- 2 - Comprendre le déplacement et suivre l'évolution des substances dissoutes et particulaires en fonction de l'hydrodynamique.
- 3 - Déterminer les conséquences des apports dissous et particulaires sur les biotopes.
- 4 - Caractériser le rôle indicateur des biocénoses pélagiques.
- 5 - Caractériser le rôle intégrateur des biocénoses benthiques.

Ces thèmes impliquent le développement d'une démarche pluridisciplinaire impliquant des domaines de recherche extérieurs à l'océanographie.

D'un point de vue pratique les actions de recherche porteront sur la masse d'eau, le sédiment, les peuplements pélagiques, les peuplements benthiques et les peuplements de poissons. Deux zones-atelier recevront l'essentiel de l'effort : Nouméa (Nouvelle Calédonie) et Suva (Fidji). L'Université de Fidji (USP) disposant d'un statut international sera notre principal partenaire institutionnel dans la réalisation du programme de recherche. L'équipe de recherche ORSTOM sera au départ composée de 7 chercheurs impliqués à plus de 50 % et 4 chercheurs impliqués à moins de 50 % ; elle pourrait être renforcée dès 1997 par des chercheurs en fin de programme. Le partenariat avec l'USP se concrétisera par l'implication directe dans le programme de 5 chercheurs enseignants et d'étudiants en thèse. L'encadrement d'étudiants français, les collaborations nationales et internationales ainsi que les ouvertures interdisciplinaires permettront de renforcer ponctuellement les efforts de recherche. Les perspectives permettent d'envisager une insertion dans des programmes nationaux (PNOC, PNRCO) ou internationaux (LOICZ) et de faire appel à des sources de financement complémentaires (Fonds Pacifique, CORDET, PROE).

La valorisation des travaux repose sur une stratégie de communication adaptée qui garantira une bonne accessibilité des résultats (diagnostic et outils prédictifs) aussi bien pour des professionnels (bureaux d'étude, décideurs) que pour le public. La valorisation par la formation sera principalement axée sur les échanges de chercheurs et l'encadrement d'étudiants de l'USP. Cette action, en adéquation avec la mission fondamentale de l'ORSTOM, permettra le maintien dans leur pays des cadres ainsi formés.

Le calendrier prévisionnel de ce programme prévoit une période de mise en route dans le second semestre de 1996, une phase effective de terrain de deux ans démarrant vers avril 1997, suivies d'une phase de valorisation d'un an, soit une fin prévue vers mi-2000.

1. LES ÉCOSYSTEMES LITTORAUX : RÔLE DE L'ORSTOM

La zone littorale, qui abrite plus de la moitié de la population mondiale, apparaît de plus en plus menacée, aussi bien d'un point de vue global (modifications climatiques) qu'à l'échelle régionale (altérations anthropiques). Les pays de la bande intertropicale présentent généralement une croissance démographique forte qui démultiplie les interactions entre le développement économique et l'équilibre des écosystèmes marins côtiers (Hatcher *et al.*, 1989). En l'absence d'une gestion rationnelle de l'environnement basée sur une connaissance prédictive du fonctionnement des écosystèmes côtiers, les altérations déjà observées ne pourront que s'amplifier (Malone & Wright, 1994). Cette situation préoccupante est en partie à l'origine d'une réorientation et d'un renforcement de la programmation scientifique nationale (Programme National d'Océanographie Côtière) et internationale (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone, International Coral Reef Initiative).

En raison de sa spécificité, l'ORSTOM doit s'imposer dans ce domaine comme un partenaire incontournable, en sachant tirer parti de l'expérience déjà acquise sur les environnements tropicaux, notamment les milieux coralliens, et en utilisant l'originalité de sa stratégie de programmation scientifique orientée vers une recherche pour le développement en coopération.

1.1. *La gestion du littoral apparaît comme une priorité dans le Pacifique*

Les états insulaires du Pacifique sont soumis à de profondes mutations économiques qui présentent de fortes implications sur l'équilibre de l'environnement. Les populations prennent de plus en plus conscience de la rétroaction souvent négative des altérations du milieu sur le développement. En conséquence, la recherche scientifique est largement consultée lors des activités de planification et elle doit être en mesure de répondre à ces sollicitations.

Dans le Pacifique insulaire, et sans doute au-delà, le principal problème est posé par l'extension des centres urbains. Ces villes attirent une population croissante et disposent souvent d'équipements d'assainissement minima. De plus, la concentration des populations est généralement associée au développement d'une « ceinture verte » d'agriculture intensive, elle-même source de perturbations pour l'environnement. Les conflits d'utilisation au niveau des milieux côtiers sont la conséquence d'une altération générale du système qui menace :

1 - les apports alimentaires de complément par pêche pour les populations côtières à faible revenu ;

2 - la valorisation économique des paysages, notamment sous l'aspect de l'écotourisme ;

3 - la préservation du cadre de vie et des cultures traditionnelles pour les populations insulaires, très proches du milieu marin.

L'exploitation des espèces marines constitue une importante activité pour les populations côtières. La pêche, notamment, est bien souvent l'une de leurs principales sources de protéines. La plupart des ressources halieutiques sont exploitées à proximité des côtes, dans les lagons ou sur les récifs. La modification, l'altération ou la surexploitation de ces milieux peut induire des conséquences dramatiques pour des économies rarement structurées, donc fragiles. Ces points méritent une attention spéciale de la part des scientifiques.

Un accent particulier doit également être mis sur le développement des produits touristiques (infrastructures, valorisation de sites, etc.) qui sont souvent, pour les pays insulaires du Pacifique et notamment à Fidji, une source majeure de revenus. La promotion touristique de cette zone repose principalement sur la valeur du cadre naturel. Il est donc nécessaire de maintenir la qualité du milieu pour pleinement valoriser les investissements sur le long terme. Ici encore, la recherche scientifique peut et doit aider à fournir les outils nécessaires à une gestion raisonnée du milieu.

Plus ponctuellement, les rejets liés à l'extraction de minerais (cuivre, nickel, etc.) constituent une menace importante pour l'environnement marin côtier. L'évolution de la situation induite par les modes d'exploitation et le peu de contrôle exercé dans les pays en développement nécessitent une profonde modification des mentalités et une prise en compte plus stricte des charges. La recherche doit fournir les bases scientifiques pour relativiser la séduisante notion de profit à court terme qui est à la base de la plupart des exploitations actuelles ; il s'agit de définir les réelles conséquences des rejets afin de fournir aux bureaux d'étude les bases scientifiques nécessaires à une évaluation fiable des impacts.

1.2. L'ORSTOM possède une bonne expérience des milieux coralliens du Pacifique

Les premières recherches de l'ORSTOM sur les milieux coralliens du Pacifique remontent aux années 70 ; elles ont généralement été le résultat de collaborations limitées avec d'autres organismes. Il a fallu attendre 1981 pour voir émerger un premier programme fédérateur, le programme ATOLL (archipel des Tuamotu). Ses activités sur le terrain ont commencé en 1982 ; les dernières opérations ont été réalisées en 1988 et la synthèse des données s'est achevée en 1990 (Intes *et al.*, 1994). Une démarche analogue a été suivie pour engendrer le programme LAGON (lagons de Nouvelle-Calédonie) en 1984. La phase de terrain de ce programme a été arrêtée en 1991 et il s'est officiellement achevé en 1994 (Clavier *et al.*, 1995). En 1991, le programme Atoll a été relayé par le programme CYEL (Archipel des Tuamotu) dont les opérations de terrain ont cessé en 1995 (Charpy, 1994). La généralisation de ces travaux est le fait du programme TYPATOLL qui aborde actuellement la question de la diversité du fonctionnement des systèmes d'atolls. Cette émergence d'actions concertées relevant de thématiques communes a permis aux équipes de l'ORSTOM d'acquérir une maturité conceptuelle sur les milieux coralliens, notamment les lagons, qui doit maintenant se concrétiser par une bonne insertion tant au niveau national qu'international.

À ce jour, les recherches écologiques menées par l'ORSTOM en milieu corallien étaient surtout d'essence fondamentale. Il s'agissait en priorité de décrire les éléments de l'écosystème et de comprendre leur fonctionnement par le biais des flux d'énergie entre compartiments. Les retombées finalisées se sont bornées à quelques études halieutiques qui ne relèvent pas directement d'une problématique écologique. Les acquis de ces travaux permettent une meilleure compréhension du fonctionnement interne des écosystèmes coralliens et soulignent l'importance des phénomènes de recyclage qui assurent une certaine indépendance fonctionnelle entre les récifs et les lagons. Peu de données sont cependant disponibles sur les échanges avec les terres émergées. Ces dernières sont pourtant de plus en plus peuplées et les effets des activités anthropiques se surimposent aux apports naturels ou les amplifient rapidement, modifiant l'équilibre d'un écosystème réputé sensible. Ces modifications peuvent altérer gravement le milieu et, comme nous l'avons évoqué, nuire aux populations riveraines par dégradation de leur environnement et érosion de leurs richesses naturelles. Il est donc nécessaire de les prévoir, ce qui présuppose une connaissance de la sensibilité de l'écosystème aux apports externes.

Nous proposons de prolonger le cheminement scientifique qui a été suivi par l'ORSTOM dans le Pacifique, en nous appuyant sur ces acquis pour accroître notre compréhension de l'influence du milieu terrestre et des populations humaines sur les écosystèmes côtiers. Une telle démarche permettra de nous impliquer directement dans les problèmes de développement ; elle demande donc un partenariat étroit avec les pays concernés.

2. LE PROJET SCIENTIFIQUE : PROGRAMME ÉCOTROPE

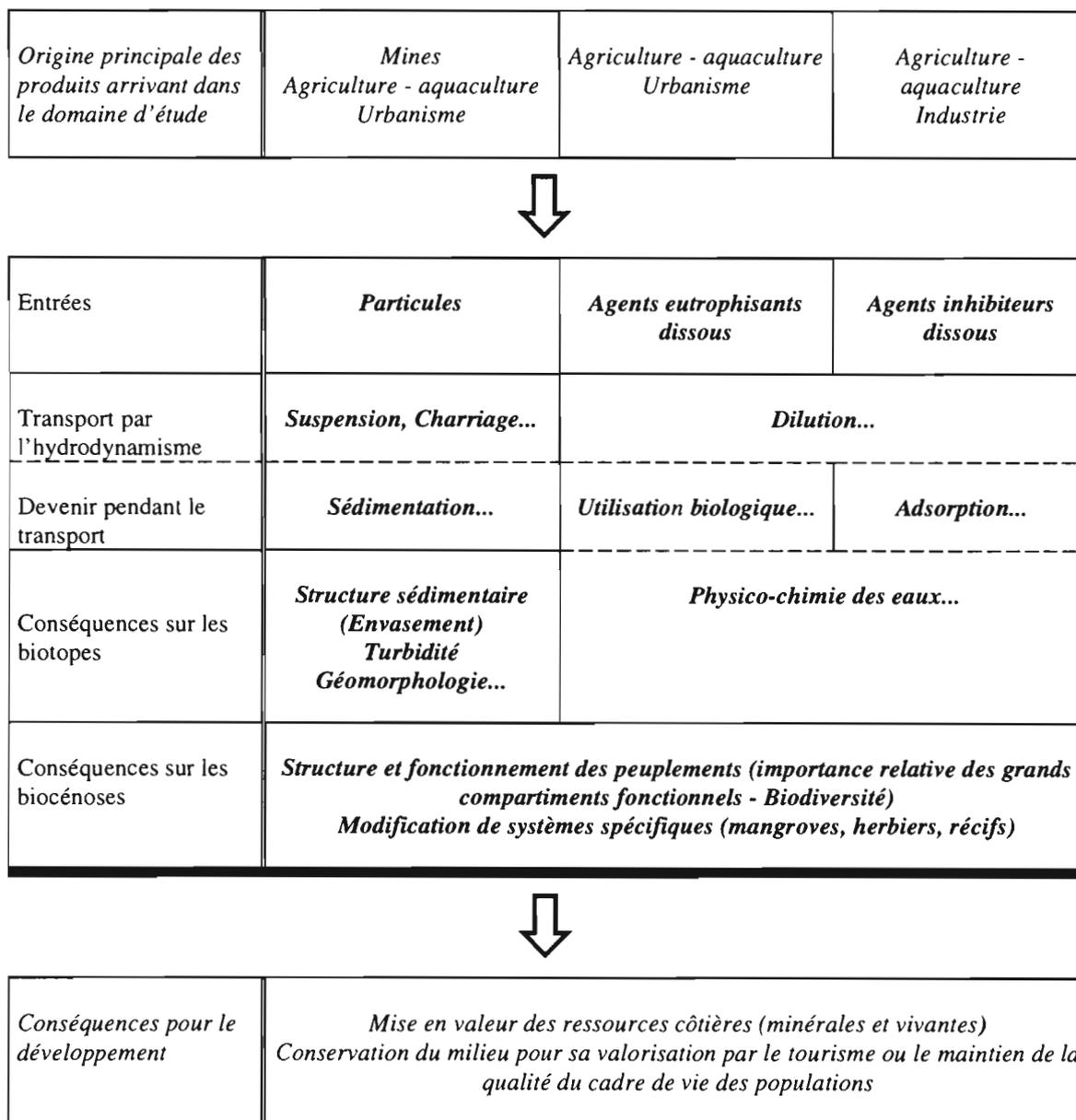
Les membres de l'UR16 se sont réunis en juin 1994 et décembre 1995 pour définir un programme fédérateur correspondant à une problématique de recherche pour le développement en coopération. Il s'agissait d'élargir à l'ensemble de la zone côtière tropicale, le champ d'action de l'UR initialement focalisé sur les milieux récifo-lagonaires. Il a été décidé d'étudier les zones marines sous influence continentale forte, proches de l'interface entre la terre et l'océan. Nous envisageons d'y préciser le rôle des influences terrigènes et anthropiques sur les biotopes et les biocénoses (tableau 1). Nous avons, pour cela, besoin de connaître l'origine, la nature et la quantité des substances qui transitent par le littoral, ce qui nécessite un rapprochement avec des domaines de la recherche ne relevant pas de l'océanographie. Nous porterons une attention particulière au transport de ces produits par l'hydrodynamisme et à leur évolution au cours du transit. Nous déterminerons ensuite comment les biotopes et les biocénoses répondent à ces influences. Les efforts consacrés à ces différents thèmes seront modulés selon les contraintes géographiques propres aux chantiers retenus pour nos travaux. Ces recherches déboucheront sur des éléments de gestion de l'environnement et des ressources en zone littorale, donc vers une ouverture sur des compétences extérieures à l'UR16.

2.1. Un programme de recherche pour le développement en coopération dans le Pacifique

Dans un souci de réalisme, le programme ÉCOTROPE sur le Pacifique a été conçu comme une étape de réorientation progressive des activités de recherche de l'UR. Pour cela, il a été convenu de restreindre le champ d'étude à la zone côtière des milieux récifo-lagonaires. Ce choix permet en effet de bénéficier des acquis scientifiques déjà disponibles sur ces milieux surtout en ce qui concerne l'étude des peuplements, donc de pouvoir afficher une première échéance courte (2 ans) pour les opérations de terrain.

Pour concrétiser une recherche effective pour le développement, une ouverture sur les pays de la région a été étudiée avec attention. Une mission de contact sur Fidji a permis de mieux évaluer le potentiel d'un partenaire privilégié : l'University of the South Pacific (USP). La vocation de l'USP, soutenue par le Programme Régional Océanien pour l'Environnement (PROE), est de former des étudiants venant de nombreux pays insulaires du Pacifique, ce qui lui confère un statut international. Les réunions de travail nous ont permis de proposer les orientations de recherche retenues pour le programme ÉCOTROPE et de mettre en évidence l'excellente adéquation entre nos objectifs et les préoccupations locales et régionales. Concrètement, nous nous sommes donc accordés sur la nécessité d'ouvrir une zone atelier sur le site de Suva et de favoriser la mobilité et l'accueil d'étudiants et de chercheur de l'USP. Cette ouverture régionale dans le cadre du programme ÉCOTROPE constitue un premier exercice de réorientation de l'UR16 vers le renforcement de la recherche pour le développement.

Tableau 1. Récapitulatif du domaine d'activités de l'UR 16, de l'articulation des axes de recherche et de leur insertion dans les problématiques de développement. La partie centrale correspond au champ des recherches du programme ÉCOTROPE illustré par les principales entrées dans l'écosystème littoral, le transport et le devenir des substances apportées, qu'elles soient particulières ou dissoutes, et enfin leurs conséquences sur les biotopes et les biocénoses. Les parties haute et basse font apparaître les possibles liaisons avec les questions de développement en évoquant l'origine des substances (haut) et les principaux domaines directement concernés en aval (bas). Ces éléments soulignent la nécessité d'interactions avec d'autres secteurs de la recherche.



L'axe de recherche identifié implique le recours à une démarche pluridisciplinaire. Cette nécessité est tout d'abord la conséquence des importantes interactions qui existent entre différentes disciplines. Une première analyse démontre de fortes interactions entre nos préoccupations relatives à l'océanographie et d'autres domaines de recherche comme l'hydrologie (transports terrigènes en amont du système marin côtier), la pédologie (nature des particules

transportées) et la géographie (évolution des traits de côtes, etc.). Il est donc indispensable de développer des relations horizontales avec ces disciplines afin de dépasser le cadre parfois réductionniste et sécuritaire de la spécialité.

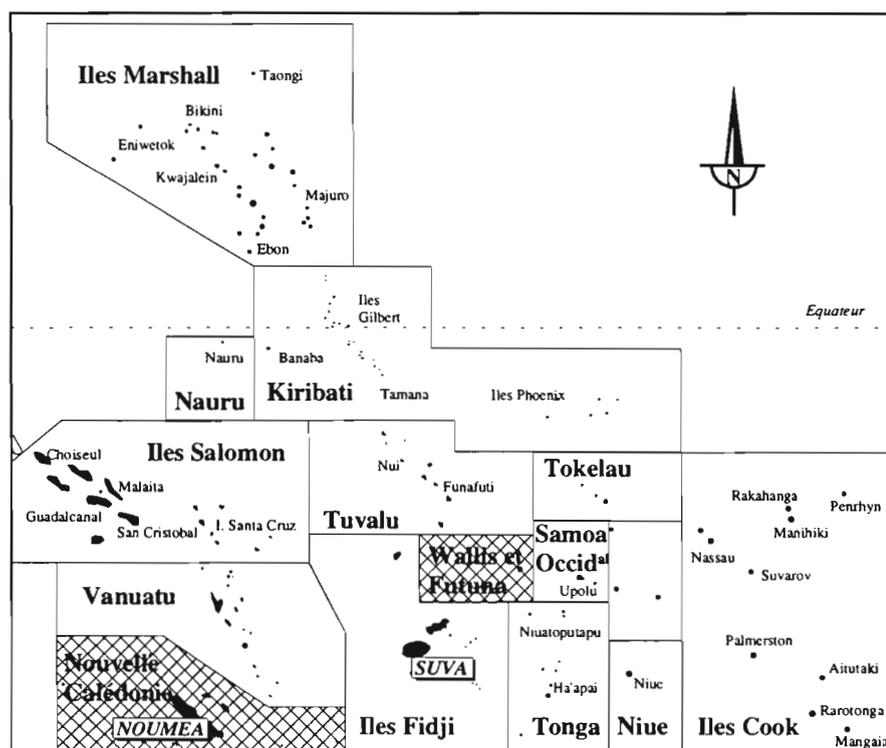


Figure 1. - L'University of the South Pacific basée à Suva assure la formation de la plupart des États du sud-ouest Pacifique. Par ses Territoires de Nouvelle-Calédonie et de Wallis et Futuna (en hachuré), la France possède une position stratégique dans cette région. (d'après l'Atlas de Nouvelle-Calédonie édité par l'ORSTOM en 1981).

D'autre part, un examen critique des produits de valorisation des programmes de recherche met en évidence une faible efficacité dans la visibilité de l'effort de recherche. Certaines exceptions notables démontrent pourtant qu'il existe dans ce domaine un potentiel significatif. Il apparaît donc là encore indispensable de savoir dépasser le strict cadre de nos compétences de recherche pour mieux valoriser les résultats. Dans la pratique, cette action se traduirait principalement par une mise à disposition, pour les personnes ou services extérieurs à l'ORSTOM, de bases d'information plus simples, plus modulables, plus conviviales et plus synthétiques (ouvrages synthétiques, cartographie thématiques, etc.) que les supports scientifiques classiques.

Le programme de recherche envisagé se fixe volontairement des objectifs ambitieux pour une phase de terrain limitée à 2 ans. En fait, il s'agit pour l'ensemble des membres du programme, d'une première phase de recentrage thématique. Dans ce contexte, la priorité n'est pas forcément de réaliser complètement les objectifs affichés mais plutôt de tester la pertinence de nouvelles approches et d'apprendre à gérer efficacement l'effort commun de recherche. Les résultats obtenus serviront à définir les axes prioritaires d'une seconde phase de recherche devant être développée dans le cadre d'un redéploiement géographique de l'UR16.

2.2. Les objectifs

Le matériel d'origine terrigène et anthropique peut appartenir à trois grandes catégories : les particules responsables de l'envasement de certaines zones côtières ; les matières organiques et inorganiques dissoutes responsables de l'eutrophisation du milieu ; les agents potentiellement inhibiteurs pour les organismes (homme inclus), dans le cas présent, principalement les métaux (influence industrielle et minière). Nous proposons de définir l'origine, l'importance et le devenir de ces apports, puis d'évaluer leurs effets sur les communautés pélagiques et benthiques.

Nous envisageons de développer pour cela une recherche de type systémique qui permet de prendre en compte la complexité du milieu et les possibles interactions entre agents d'influences. Cette approche des altérations à l'échelle de l'écosystème est en bonne adéquation avec la finalité du programme qui prévoit une forte valorisation vers le développement à travers une meilleure gestion de l'environnement. Les objectifs du programme peuvent être classés en cinq grandes catégories.

2.2.1. Connaître l'origine, préciser la nature et quantifier l'importance des apports terrigènes et anthropiques

Il s'agit d'abord de déterminer la composition et l'origine des éléments terrigènes et anthropiques entrant dans le système marin côtier. Dans un souci de simplification, il a été décidé de retenir des sites atelier où les voies d'entrée sont relativement simples (estuaires et émissaires) et où les apports diffus (percolations phréatiques) sont limités.

Pour cela, nous devons intégrer la forte variabilité temporelle des entrées qui, en zone tropicale, sont étroitement liées au régime des précipitations. La détermination de cette variabilité repose en grande partie sur une adaptation technique des moyens de mesure et sur une bonne pluridisciplinarité des approches. La connaissance de l'origine du matériel franchissant le littoral présente, en effet, d'importantes interfaces disciplinaires et un effort significatif de collaboration horizontale sera dispensé pour obtenir des réponses scientifiquement satisfaisantes, surtout en ce qui concerne la quantification des flux entrants.

2.2.2. Comprendre le déplacement et suivre l'évolution des substances dissoutes et particulières pendant leur transport par l'hydrodynamisme

L'étude de ces paramètres dynamiques reposera sur une action combinée des moyens analytiques et des outils de modélisation (hydrodynamique, biogéochimique et géochimique). L'objectif principal de ce thème est de déterminer et de prédire la distribution des éléments solubles et particuliers dans le milieu marin côtier (pélagique et benthique) à partir des zones sources. En fonction des moyens disponibles, il devrait également être possible de qualifier et quantifier les transformations de ces éléments au cours de leur transfert ainsi que leur évolution dans le système sédimentaire (piégeage, désorption, etc.).

2.2.3. Déterminer les conséquences des apports dissous et particulaires sur les biotopes

Le rôle des apports terrigènes et anthropiques sur l'habitat des organismes, et l'environnement au sens large, sera étudié. Les travaux précédemment décrits seront ainsi complétés par l'étude de paramètres susceptibles de caractériser assez facilement la physico-chimie des eaux et la nature des perturbations apportées (charge solide, caractéristiques optiques, etc.). Une analyse plus spécifique sera nécessaire en ce qui concerne les structures sédimentaires, que ce soit sur une échelle descriptive (cartographie de la nature des fonds), dynamique (flux à l'interface eau-sédiment), ou temporelle (archives sédimentaires).

A partir de ce travail, il sera possible de développer une approche synthétique de hiérarchisation des caractéristiques du milieu liquide et sédimentaire. Elle pourra, par exemple, se traduire par une représentation cartographique des influences. Il s'agit là d'une première démarche synthétique présentant un grand intérêt en termes de valorisation et de transfert des connaissances.

2.2.4. Caractériser le rôle indicateur des biocénoses pélagiques

Les interactions entre la modification des conditions de milieu et la structure des peuplements pélagiques sont encore mal comprises en milieu côtier tropical. Les observations d'efflorescences phytoplanctoniques (*Trichodesmium*, dinoflagellés divers) sont nombreuses et elles peuvent conduire à des crises environnementales majeures. En plus de l'étude de ces crises spectaculaires, il est nécessaire de mieux cerner l'évolution progressive des peuplements en fonction des gradients d'influences. Il convient donc de connaître leur structure, notamment au niveau des producteurs primaires qui sont à la base de la pyramide trophique et peuvent présenter des risques de toxicité. Il est également indispensable de déterminer les réponses métaboliques et les modifications du fonctionnement trophique des différents compartiments (bactérien, phytoplanctonique, zooplanctonique) de l'écosystème pélagique aux modifications du biotope.

2.2.5. Caractériser le rôle intégrateur des biocénoses benthiques

La durée de vie et la sédentarité des organismes benthiques leur confèrent une capacité à intégrer les conditions d'environnement sur une échelle de temps relativement longue. De plus, l'altération des biocénoses benthiques est l'une des conséquences environnementales les plus nettement ressenties par le public et les décideurs. Dans ce domaine les connaissances sont encore embryonnaires et la littérature récente (Grigg, 1994; Atkinson *et al.*, 1995) met en évidence la fragilité d'un certain nombre de préjugés.

L'étude des peuplements benthiques passe par une détermination de leur structure et de leur organisation spatiale. Sur la base d'un travail préliminaire de compilation des données existantes, et en s'appuyant sur la phase exploratoire initiale, l'étude des peuplements benthiques sera principalement concentrée sur un nombre limité de cas extrêmes. Cette stratégie opportuniste reposant sur une approche comparative devrait garantir une première mise en évidence des principales interactions entre biotope et biocénose. Les mangroves, les herbiers et les récifs frangeants seront l'objet d'une attention toute particulière dans la mesure où ils constituent des écosystèmes à fort potentiel pour le développement.

2.3. Les produits attendus

Les perturbations anthropiques sont de plus en plus clairement perçues par les responsables du développement économique comme un risque à moyen terme pour la santé et le potentiel économique de l'écosystème côtier tropical. Les travaux envisagés dans le cadre du programme ÉCOTROPE débouchent donc sur un certain nombre de produits pouvant servir le développement en collaboration, principalement dans les domaines de la gestion du milieu. La formation apparaît également comme une valorisation importante du programme.

2.3.1. Utilisateurs des résultats du programme et moyens de valorisation

Le programme ÉCOTROPE doit concourir à la définition des bases scientifiques nécessaires à l'établissement d'un diagnostic précis de l'état de l'environnement (paramètres du milieu, éco-indicateurs) et de sa tendance évolutive (suivis temporels, archives historiques, modélisation). Au-delà du diagnostic et dans son prolongement logique, les résultats obtenus doivent permettre d'aider à définir des stratégies de gestion de l'environnement. L'identification des facteurs critiques et la modélisation des évolutions spatiales et temporelles des perturbations fourniront les éléments nécessaires à cette valorisation. Cette première action doit permettre aux bureaux d'études et aux experts chargés des études d'impact de disposer de « cas d'école » pouvant être partiellement utilisés pour résoudre des problèmes environnementaux concrets et précis. Il s'agit donc d'améliorer l'efficacité du transfert de connaissance et par là même de mieux définir les missions respectives des chercheurs et des experts.

L'efficacité de ces transferts repose sur la facilité d'accès aux informations issues de la recherche. Cet exercice ne pourra être envisagé que dans le cadre d'une collaboration entre disciplines et avec le soutien des services maîtrisant les outils de la communication (DIST-ORSTOM).

Enfin, pour obtenir une meilleure visibilité des potentialités de la recherche et renforcer la position de l'ORSTOM dans le Pacifique et au-delà, une valorisation publique (grand public et décideurs) des résultats scientifiques sera envisagée sous des formes médiatiques diverses (ouvrages méthodologiques et de synthèse, mini atlas thématique, articles de presse, conférences, etc.) en s'appuyant sur les moyens de communication internes ou externes (PROE, Unesco, médias, etc.). Une participation à des SIG existants (ReefBase, World Conservation Monitoring Centre) pourrait également constituer un bon moyen de valoriser les résultats.

2.3.2. Formation.

La collaboration avec l'USP de Fidji fournira un cadre de formation scientifique pour les étudiants et les chercheurs des pays insulaires du Pacifique. L'USP n'a pas actuellement de cadre structuré pour des actions de recherche communes. L'effort de programmation scientifique dans le cadre d'ÉCOTROPE apparaît aux yeux des responsables de l'USP comme une excellente opportunité pour pallier à cette carence tout en développant une collaboration internationale avec un pôle de recherche majeur dans le Pacifique sud. La formation est envisagée sous différents aspects :

1 - Déplacement de chercheurs ORSTOM pour dispenser des cours, des conférences ou des travaux dirigés aux étudiants de l'USP.

2 - Accueil et encadrement dans le cadre d'ÉCOTROPE d'étudiants inscrits à l'USP (assurant un retour de l'effort de formation vers les pays en développement).

3 - Echanges et collaborations entre chercheurs et organismes.

Une action de formation complémentaire consistera à accueillir et encadrer des étudiants français (niveaux DEA, Thèse, post-doctorat) afin de maintenir une dynamique forte dans l'équipe et garantir le maintien d'un bon niveau scientifique de la formation.

2.4. Les zones géographiques concernées par le programme

2.4.1. Nouvelle Calédonie

Le choix de ce site se justifie sur le plan environnemental mais aussi en terme d'expérience acquise et de potentiel analytique, logistique et humain. Ce dernier motif, opportun dans le cadre d'un effort de redéfinition des axes de recherche, ne devra pas néanmoins prévaloir sur la nette mutation de l'UR16 vers une recherche pour le développement en coopération. L'atelier retenu est le site urbain de

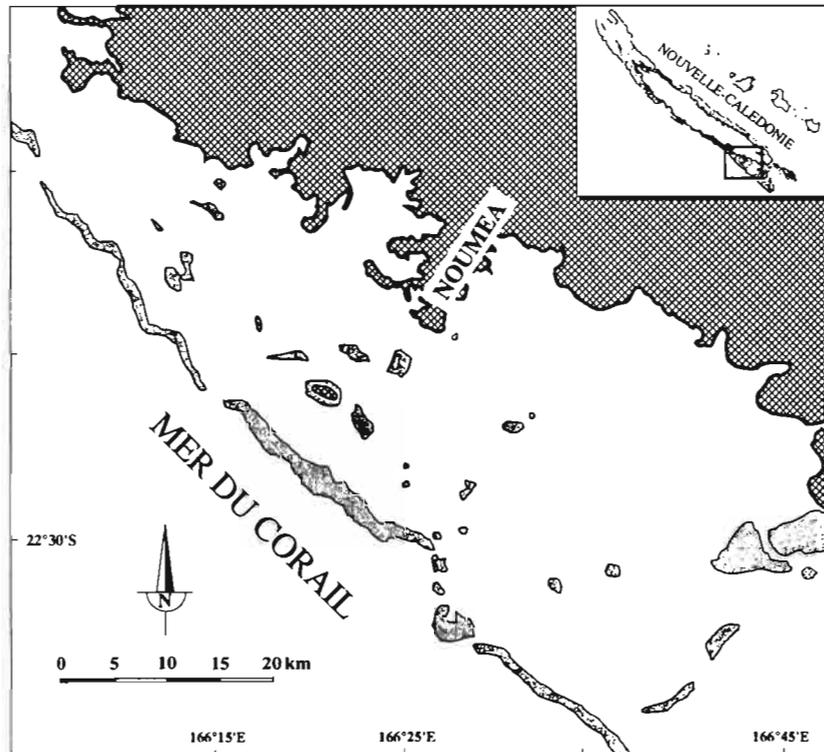


Figure 2. - Le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie s'étend sur 2000 km² autour de la péninsule de Nouméa qui regroupe près de la moitié de la population du Territoire

Nouméa et les zones estuariennes environnantes (Magenta, La Coulée, Pirogues). Ce secteur sous influence terrigène naturelle forte est soumis à une croissance importante de la pression anthropique. Un effort de contrôle des rejets et de gestion de l'espace maritime côtier est en cours et pourrait donc bénéficier de l'action de recherche envisagée. Une première consultation des responsables de l'État et du Territoire montre un intérêt pour la thématique du programme ECOTROPE qui correspond étroitement au thème Biodiversité-Environnement-Tourisme du Schéma Directeur de la Recherche pour le Territoire de Nouvelle Calédonie (1995).

2.4.2. Fidji

Le choix de ce site est en bonne adéquation avec les missions de l'ORSTOM. De plus, les perspectives de collaboration avec l'USP sont excellentes en termes de recherche, de formation et de valorisation. Les représentants de l'Ambassade de France de Fidji ont clairement manifesté leur volonté de soutenir une telle collaboration. En outre, L'État Français et l'USP ont, comme l'ORSTOM, la volonté de voir l'effort de recherche se traduire par une bonne visibilité et une bonne lisibilité pour mieux servir le développement. L'atelier retenu pour une étude en coopération est le site urbain et agricole de Suva. La remarquable similarité entre le site de Suva et le site de Nouméa (presqu'île urbaine entourée de 2 estuaires et protégée par un récif) devrait faciliter le transfert d'expertise.

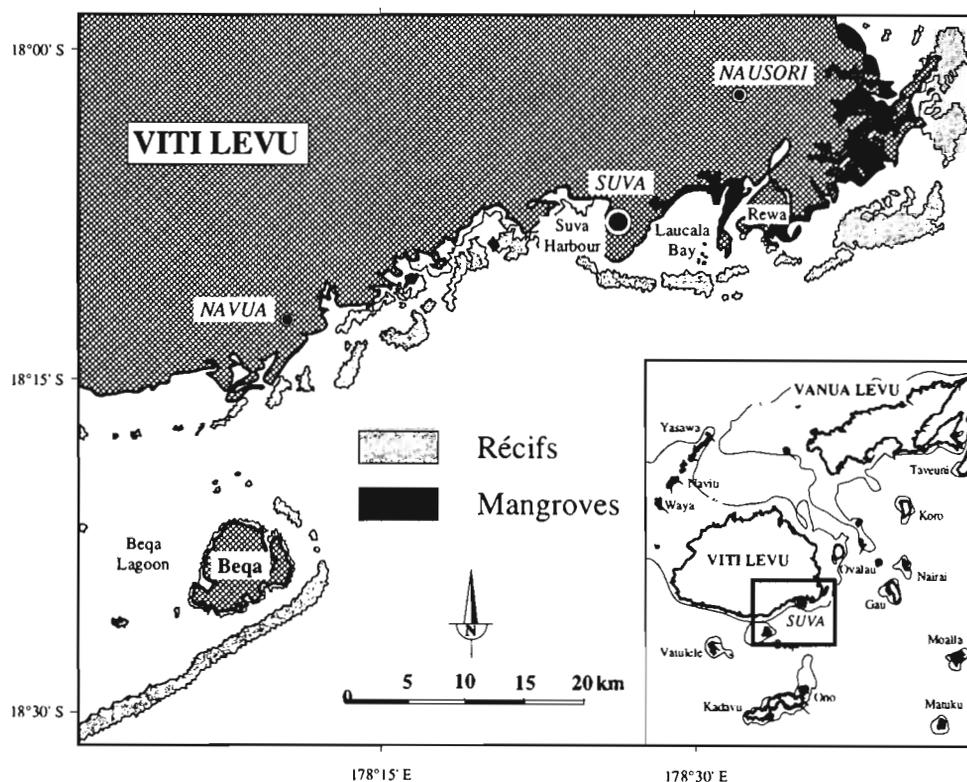


Figure 3. - Le lagon du Suva, à Fidji, s'étend également autour de la principale ville du Pays dont il subit directement les influences.

2.4.3. Polynésie Française

Etant donnée la nécessité de regrouper les énergies de l'UR 16 sur un nombre limité de sites, il a été prévu dans l'immédiat de maintenir une activité minimale sur Tahiti. En particulier, le travail accompli entre 1995 et 1996 dans le cadre du programme ANTROPIC sera finalisé et valorisé. Il est néanmoins envisagé de pouvoir répondre à certaines sollicitations ponctuelles, surtout dans le contexte particulier de la fin des essais nucléaires sur Mururoa. De tels travaux devront cependant s'inscrire dans le cadre de collaborations.

2.5. Les potentialités d'insertion dans les programmes nationaux et internationaux

Le programme proposé et ses développements futurs pourraient permettre d'envisager, au moins sur certains aspects, une insertion au sein du Programme National d'Océanographie Côtière (PNOC), dont l'ouverture vers les milieux tropicaux est acquise. La prise en compte des influences terrigènes et anthropiques lors de la redéfinition des thématiques du programme national sur les récifs coralliens (PNRCO) ouvrirait également des possibilités complémentaires d'inscription de nos travaux dans un cadre national. Une implication semble également possible dans la seconde phase du programme DIVERSITAS.

Certaines des actions projetées pourraient s'inscrire dans le cadre du GDR "Evolution des systèmes récifs et mangroves sous actions anthropiques" dont l'émergence est toujours attendue.

Sur le plan international, il existe de bonnes perspectives d'insertion dans LOICZ qui développe des actions préférentielles sur la zone Asie-Pacifique. Par ailleurs plusieurs opérations pourraient être proposées au niveau européen, notamment sur les problèmes de recrutement de poissons et les relations biodiversité-environnement.

2.6. Les autres perspectives de financement

Outre les financements propres institutionnels et ceux qui sont liés à l'insertion dans les programmes nationaux et internationaux, les collaborations avec Fidji sont susceptibles d'être soutenues par le Ministère des Affaires Etrangères, dans le cadre du « Fonds Pacifique » ou Fonds de coopération économique sociale et culturelle pour le Pacifique Sud (FCESC). Ce Fonds peut financer significativement des actions scientifiques sur Fidji où sur les îles voisines. Les projets doivent être dotés d'une bonne lisibilité et transiter par l'Ambassade de France qui transmet au Ministère des Affaires Etrangères. Il est important que le projet soit effectivement établi en collaboration et qu'il soit validé par le pays. La conjoncture semble actuellement très favorable à une demande sur Fidji. Ce système de financement est relativement simple. La commission d'attribution se réunit plusieurs fois par an et les crédits sont susceptibles d'être accordés rapidement. Il est important que cette voie de financement soit explorée dans le cadre du programme ECOTROPE.

Les thématiques développées pourraient également concerner le Programme Régional Océanien pour l'Environnement (PROE), même si les financements à attendre restent modestes. Enfin, certains aspects des travaux dans le lagon sud-ouest, devant Nouméa, devraient intéresser directement le Territoire de Nouvelle-Calédonie qui pourrait contribuer à leur réalisation sur fonds Territoriaux.

3. LA MISE EN OEUVRE

3.1. Méthodes et outils

3.1.1. Masse d'eau

Ce compartiment nécessite un effort important d'échantillonnage et d'analyse. Une prémodélisation suivie d'une étude fine de l'hydrodynamique permettront de définir une stratégie d'échantillonnage adaptée. Les prélèvements seront effectués mensuellement pendant 2 ans à des stations prédéterminées par l'étude prospective (échantillonnage stratifié). Un suivi plus fin de la variabilité temporelle des caractéristiques du milieu sera effectué à certaines stations clés. En complément, des actions ponctuelles de suivi de masse d'eau (stratégie lagrangienne) seront prévues surtout concernant l'extension des panaches estuariens. Les actions programmées sont les suivantes.

- étude courantologique et modélisation de l'hydrodynamique ;
- analyse physico-chimique de base (température, salinité, oxygène, pH) ;
- pénétration de la lumière (disque de Secchi, quantum-mètre immergeable) ;
- analyse des nutriments inorganiques dissous (colorimétrie NO_2+NO_3 , NH_4 , PO_4 , $\text{Si}(\text{OH})_4$) ;
- analyse du matériel organique dissous (colorimétrie pour N & P; HTOCO pour C).
- analyse du matériel particulaire (seston, fraction organique, granulométrie laser, composition élémentaire C,N,P) ;
- mesure en continu des concentrations en particules et chloropigments (néphélométrie et fluorimétrie in situ sur stations fixes ou bouées dérivantes) ;
- analyse de la composition en isotopes stables (^{15}N et ^{13}C) de la matière organique particulaire comme indicateur d'origine ;
- analyse des métaux (Spectométrie d'absorption atomique, ICP-MS) ;
- modélisation du transport des composés dissous et particulaires.

3.1.2. Sédiment

L'étude du système sédimentaire est avant tout envisagée en tant que descripteur de la répartition spatiale des influences terrigènes et anthropiques. Les thèmes sont les suivants.

- granulométrie (tamisage + granulométrie laser sur la fraction fine) ;
- caractéristiques minéralogiques du sédiment ;
- potentiel d'oxydo-réduction ;
- quantification des flux verticaux particulaires (pièges à particules) ;
- minéralisation et flux de nutriments à l'interface eau-sédiment (enceintes de confinement) ;
- composition élémentaire de la matière organique (CHN pour C & N, colorimétrie pour P) ;
- pigments chlorophylliens (Fluorimétrie, CLHP) ;
- isotopes stables (^{15}N , ^{13}C) de la matière organique en tant qu'indicateur d'origine (CHN-MS) ;

- hydrocarbures en tant qu'indicateurs totaux (chromatographie gazeuse).

En complément, l'étude des sédiments en tant qu'archives historiques de l'évolution des conditions d'environnement durant le dernier siècle sera conduite sur quelques sites présentant à la fois un caractère exemplaire (zones privilégiées de dépôt) et des conditions favorables (stratification verticale des sédiments). Ce domaine d'étude qui a démontré de fortes potentialités dans le cadre de l'étude du lagon de Papeete (programme ANTROPIC) repose sur les opérations suivantes :

- carottages, découpage et traitement des strates sédimentaires (séchage, lyophilisation) ;
- datations par le ^{210}Pb (spectrométrie α ou γ) et le ^{137}Cs (spectrométrie γ) ;
- analyse des métaux (spectrométrie AA) et isotopes stables du Pb (ICP-MS) ;
- pigments chlorophylliens dégradés (CLHP) ;
- isotopes stables (^{15}N , ^{13}C) de la matière organique en tant qu'indicateur d'origine (CHN-MS) ;
- hydrocarbures aromatiques, n-alcanes, stérols en tant que biomarqueurs d'origine (couplage chromatographie gazeuse - spectrométrie de masse) ;
- produits dérivés des lignines indicateurs des apports terrigènes (CLHP) ;
- terres rares (Ce, Sm/Nd, Lu/La) en tant d'indicateurs des flux terrestres (ICP-MS).

3.1.3. Peuplements pélagiques

L'analyse de la distribution spatiale et temporelle des peuplements pélagiques sera complétée par une approche de leurs potentialités métaboliques en fonction de l'évolution possible des conditions de milieu. Les travaux prévus sont les suivants :

- abondance et biomasse bactérienne (comptages épifluorescence) ;
- production bactérienne (marquage ^3H -Thymidine) ;
- potentiel de biodégradabilité de la matière organique (incubations expérimentales) ;
- structure et biomasse des populations phytoplanctoniques (comptages, cytométrie de flux) ;
- production phytoplanctonique (méthode ^{14}C , production O_2 , production chlorophylle) ;
- bioessais sur les paramètres limitants de la production primaire (enrichissements) ;
- structure et biomasse des populations zooplanctoniques (microscopie inverse, pesée).

3.1.4. Peuplements benthiques

Les peuplements benthiques seront principalement étudiés en termes de répartition spatiale. L'étude des peuplements de végétaux et d'algues sera envisagée de façon assez complète en combinant des approches de type systématique (composition spécifique des herbiers de phanérogame, des algues molles sur substrats durs), fonctionnelle (production primaire benthique) et paysagère (cartographie par télédétection). Il sera particulièrement intéressant d'étudier l'influence des agents eutrophisants et des caractéristiques optiques de l'eau sur la structure et la dynamique des peuplements.

Les peuplements animaux de substrats durs sont encore mal connus dans la région et leur étude sera limitée à une approche systématique sommaire et à une cartographie par télédétection. L'influence de l'ensemble des agents terrigènes et anthropiques sur les peuplements de substrats durs devra être prise en compte.

L'étude des peuplements animaux de substrats meubles sera abordée selon une approche systématique et fonctionnelle. Ceci permettra d'examiner les liens entre biodiversité et production de l'écosystème ainsi que l'influence des apports particuliers (terrigenes et anthropiques) sur la structure et le fonctionnement des peuplements. Une attention particulière sera portée sur certains groupes cibles pouvant servir d'éco-indicateur, il s'agirait des organismes filtreurs (mollusques bivalves, ascidies) et des détritivores actifs (crustacés). Les annélides polychètes sont classiquement reconnus comme de bons éco-indicateurs mais leur étude ne pourra être envisagée que dans la mesure où nous pourrions bénéficier de l'aide d'un collaborateur expérimenté (post-doctorant).

Enfin une approche à plus large échelle s'appuyant sur les résultats obtenus et utilisant les archives d'images en télédétection cherchera à déterminer les tendances évolutives et l'influence des écosystèmes sur la géomorphologie de la zone côtière (trait de côte, structure sédimentaire, structures bioconstruites, etc.).

Les actions de recherche projetées sont les suivantes.

- cartographie de l'extension des grands écosystèmes (télédétection + vérité terrain) ;
- abondance et production bactérienne (comptage épifluorescence, marquage ³H-Thymidine) ;
- prélèvement, détermination et biomasse des phanérogames marines ;
- prélèvement, détermination et biomasse des macroalgues (relevés photographiques) ;
- nature du substrat et principaux organismes macrobenthiques (observation plongée) ;
- prélèvement, et tri préliminaire de la faune benthique de substrat meuble ;
- détermination sommaire, recouvrement et biomasse des peuplements de substrats durs ;
- métabolisme des peuplements benthiques de substrats meubles ;

3.1.5. Peuplements de poissons

Les peuplements de poissons, qui présentent une forte sensibilité aux modifications des conditions de milieu et aux pressions anthropiques constituent l'une des principales ressources renouvelables en milieu côtier. De plus ils représentent pour l'opinion publique un compartiment sensible en termes de perception de l'état de l'environnement. L'étude des poissons sera fortement orientée vers l'analyse, au sein d'une communauté donnée, de l'organisation des « compartiments structurels », définis en fonction de paramètres tels que la structure trophique, la stratégie démographique, la structure de taille, etc. Cette approche permet de bien identifier la déformation de l'organisation structurelle en fonction des altérations du milieu. D'un point de vue pratique le travail de recherche sera formé de 3 actions.

- Une analyse des données historiques qui reprendra les travaux existants pour en faire une analyse orientée correspondant à la problématique du programme.

- Un travail de terrain sur les peuplements de poisson des herbiers et des champs d'algues dont la sensibilité aux apports terrigènes et anthropiques est encore très mal connue.
- Analyse des poissons benthiques sédentaires à durée de vie courte (Gobiidae, Blenniidae, etc.) en tant qu'éco-indicateurs des conditions de milieu.

3.2. L'équipe de recherche

3.2.1. Équipe ORSTOM

Les chercheurs de l'UR16 fournissent l'essentiel des participants au programme. Des chercheurs précédemment impliqués dans le programme FLUPAC viendront renforcer l'effectif et la gamme de compétence. Une évaluation réaliste des intervenants donne un nombre de 9 chercheurs ORSTOM dont l'implication égale ou dépasse 50 % et 5 chercheurs dont l'implication est inférieure à 50 %. A. Leboutteiller et R. Leborgne pourraient fournir une assistance complémentaire.

Nom	Grade	Spécialité	Affectation	Temps
Responsable				
FICHEZ R.	CR1	Biogéochimie	Nouméa	90 %
Membres				
BOUR W.	CR1	Téledétection	Nouméa	90 %
CHEVILLON C.	CR1	Bio-sédimentologie	Nouméa	90 %
DOUILLET P.	CR1	Hydrodynamique	Nouméa	90 %
FERNANDEZ J.-M.	CR1	Géochimie	Nouméa	90 %
GARRIGUE C.	CR1	Phytobenthologie	?	90 %
RICHER DE FORGES B.	CR1	Zoobenthologie	Nouméa	50 %
DUPOUY C..	CR1	Téledétection	Nouméa	50 %
RODIER M..	CR1	Chimie	Nouméa	50 %
BLANCHOT J.	CR1	Picoplancton	Nouméa	30 %
KULBICKI M.	CR1	Ichtyologie	Nouméa	30 %
PAGES J.	DR2	Chimie organique	Papeete	30 %
TORRETON J.-P.	CR1	Microbiologie	Papeete	20 %
CLAVIER J.	CR1	Benthologie	Brest	10 %

L'effort de recherche sera soutenu par les ingénieurs et techniciens dont la plupart dépendent de l'UR16. Ces agents sont au nombre de 2 Ingénieurs 7 techniciens et 4 agents techniques. De plus, un ingénieur de recherche chimiste recruté en Juin 1996 sera affecté à Nouméa dans le courant de l'année pour renforcer l'équipe ECOTROPE.

Nom	Statut	Affectation	Spécialité
BARGIBANT G.	Tech	Nouméa	Plongée
BONNET S.	Tech	Nouméa	Chimie marine
DI MATTEO A.	Agent tech	Nouméa	Tri, tamisage
GERARD P.	Tech	Nouméa	Chimie marine
HAMEL P.	Tech	Nouméa	Plongée
HOFFSCHIR C.	Tech	Nouméa	Traitement données
KOLUE M.	Agent tech	Nouméa	Magasinier
LABOUTE P.	Ass Ing	Nouméa	Ecologie
LAPETITE A.	Agent tech	Nouméa	Zooplankton
MAIHOTA N.	Tech	Papeete	Plongée
MENOU J.L.	Tech	Nouméa	Plongée
MORASAKI F.	Tech	Nouméa	Magasinier
MOU-THAM G.	Agent tech	Nouméa	Ichtyologie
OREMPULLER J.	Tech	Papeete	Plongée
PANCHE J.Y.	Ing.	Nouméa	Electronique
RIVATON J.	Ing	Nouméa	Ichtyologie

3.2.2. Unités Techniques

En plus du soutien technique que nous venons de mentionner, le programme ECOTROPE fera appel aux unités techniques de l'ORSTOM notamment de l'Unité informatique. Les relations spécifiques concerneront :

Les services communs de chimie du Centre ORSTOM de Nouméa

Le laboratoire d'analyses chimiques rassemble 11 agents : soit 8 techniciens, 1 assistant-ingénieur et 1 VAT ingénieur sous la responsabilité de J.L. DUPREY. Les principaux moyens analytiques sollicités dans le cadre du programme seront l'autoanalyseur Technicon pour l'analyse des nutriments dans les eaux douces et le spectromètre d'absorption atomique (flamme) pour l'analyse des métaux. A noter que la demande d'équipement lourd déposée par la mission technique pour l'acquisition en 1997 d'un ICP est fortement soutenue par le programme ECOTROPE.

Le Laboratoire de traitement d'Images Calédonien (LITICAL)

Il rassemble 3 agents sous la responsabilité de D. LILLE. Les actions de recherche basées sur la télédétection reposent sur l'utilisation des moyens mais aussi sur une collaboration avec le LITICAL. De plus le projet de traitement d'images aéroportées sera envisagé en commun.

Information Scientifique et Technique (IST)

L'IST, qui rassemble 6 agents sous la responsabilité de J. THOMAS, a pour vocation de diffuser l'information scientifique et technique produite par la recherche. Des relations étroites sont bien sûr envisagées durant la phase finale de valorisation mais des échanges constants seront maintenus durant toute la durée du programme.

3.2.3. Étudiants

Une évaluation précise du nombre des étudiants impliqués dans le programme est encore aléatoire à ce stade de réflexion. Certains travaux de recherche en cours (*) sont en accord avec les objectifs affichés dans le cadre du programme. Les autres sujets ont été orientés en fonction des besoins et des capacités d'encadrement du programme ÉCOTROPE et font l'objet de demande de financement soit de la part de l'ORSTOM pour les post-docs soit de la part du MENESR pour les thèses.

Nom Prénom	Spécialité	Université d'Origine	Niveau	
ROSSIER O. *		Université Liège (CH)	Post Doc.	Ichtyologie
Appel d'offre			Post Doc.	Phytoplancton
Appel d'offre			Post Doc.	Macrofaune benthique
VILAIN J.-P.		Univ.Aix-Marseille II	Thèse	Dynamique particules
BUJAN S.		Univ.Aix-Marseille II	Thèse	Modélisation Biol.
HARRIS P. *		Univ. Française du Pacifique	Thèse	Géochimie

3.2.4. Partenariat avec l'University of South Pacific (Fidji)

L'USP va activement participer aux actions de recherche que ce soit sur le site d'étude de Suva ou plus largement dans le cadre du programme ÉCOTROPE. Les deux institutions actuellement concernées sont la School of Pure and Applied Sciences (SPAS) et l'International Ocean Institute (IOI). Parmi les membres de ces deux structures, certains ont d'ores et déjà envisagé une implication pratique dans le cadre du programme.

Nom	Institution	Spécialité
NEWELL P.	SPAS	Zoobenthologie
SOUTH R.	IOI	Phytobenthologie
DAVIES B..	SPAS	Système Information géographique
MAC ARTHUR A.	SPAS	Physique
MARKHAM P.	SPAS	Microbiologie
SOTHEESWARAN S.	SPAS	Chimie
VUKI V.	IOI	Téledétection
YEO G.	IOI	Sédimentologie
OMARA K.	SPAS	Traitement d'images
TODD H..	SPAS	Physique

Au-delà d'une participation des enseignants-chercheurs au programme, le partenariat avec l'USP a pour objectif fondamental de déboucher sur des actions de formation. Trois niveaux de formation peuvent être envisagés.

① L'accueil et la collaboration scientifique entre chercheurs statutaires constitue le premier axe de formation.

② Les étudiants suivant une formation scientifique (Master, PhD Thesis) seront accueillis dans le cadre de stages de recherche directement liés aux actions de

recherche programmées. Ce type d'actions constituera une des priorités de l'effort de formation dans la mesure où elle correspond à une convergence des missions de l'ORSTOM et de l'USP (élévation du niveau de compétence des agents du développement).

③ L'encadrement de certains agents de l'USP sera orienté vers une formation technique servant à soutenir l'effort de recherche que ce soit dans le cadre du programme ou au-delà.

Enfin les chercheurs ORSTOM impliqués dans le programme ECOTROPE seront amenés à participer à la formation de l'USP dans le cadre d'exposés et de conférences sur leurs activités de recherche.

3.2.5. Pluridisciplinarité

Conformément à la nécessité d'échange entre les disciplines correspondant à l'étude de la zone côtière nous serons amenés à collaborer avec les équipes de recherche suivantes.

Programme Dynamique et gestion des espaces insulaires océaniques du Département SUD (Responsable G. David). Objectifs généraux :
Importance des littoraux pour la viabilité économique et la sécurité alimentaire.
Vulnérabilité des littoraux à la pression démographique et aux risques naturels conjugués.

Le thème général de recherche de ce programme présente une forte convergence avec celui du programme ECOTROPE mais a été établi en termes de sciences humaines. Il s'agit donc d'une approche très complémentaire au programme d'océanographie envisagé. Ce programme s'achevant fin 1996 les résultats obtenus seront utilisés pour replacer ECOTROPE dans un contexte plus large.

Programme Régimes hydrologiques et phénomènes climatiques paroxysmaux dans le Sud Pacifique du DEC (Responsable J. Danloux). L'une des composantes de ce programme traite de l'érosion et des risques naturels aggravés par les activités humaines. Ici encore le programme se termine en 1997 et les acquis du programme seront valorisés en terme de quantification des échanges à l'interface terre-mer et en terme de recherche des sources terrigènes. A titre d'exemple, l'étude du régime hydrologique de la Dumbéa sera intégrée dans l'analyse du transport et du devenir du matériel d'origine terrigène et anthropique dans la zone marine côtière.

Programme de Biotechnologie Marine (Micro-organismes et champignons) du Département Santé. Ce programme qui s'appuie sur les acquis du programme Substances Marines d'Intérêt Biologique (SMIB) sera naturellement associé au programme ECOTROPE. Dans ce cas l'activité en cours permet d'envisager une collaboration d'intérêt réciproque. Nos actions de recherche permettront de définir les conditions de milieu qui déterminent la structure des peuplements en micro-organismes. En retour les travaux de biotechnologie pourraient mettre en évidence certaines caractéristiques structurelles ou biochimiques pouvant être utilisées comme écoindicateurs des conditions de milieu.

3.2.6. Collaborations françaises

Elles sont nombreuses et nous limiterons volontairement leur exposé à un échantillonnage non exhaustif des principales collaborations institutionnelles actuellement prévues.

- CEA - LESE, Tahiti, Badie C. (datation des sédiments et analyse métaux).
- CNRS CFR, Gif sur Yvette, Fontugne M. & Juillet-Leclerc A. (isotopes stables).
- CNRS MNHN-Paris, Boucher G. (biodiversité et métabolisme des sédiments)
- CNRS UBO-Brest, Hily C. (biodiversité)
- IFREMER-Brest, Chardy P. (modélisation des systèmes), Gentien P. & Lunven M. (granulo laser); Salomon J.C., Garreau P. (Modélisation hydrodynamique), Menesguen A. (Modélisation biologique).
- Laboratoire Océanologique Européen,, Gattuso J.-P. (métabolisme benthique).
- Univ. Marseille, Grenz C. & Coste B. (biogéochimie); Chazottes V. & Masse J.P. (géologie).
- Univ. d'Angers, Debenay J.-P. (Paléoenvironnement-foraminifères).
- Univ. Française du Pacifique - Nouméa, Chauvet C. (poissons), Back A. (sédimentologie).
- Univ. Française du Pacifique - Papeete, Payri C. (macroalgues).
- Univ. Paris VI, Saliot A. (chimie organique, biomarqueurs).
- Université Perpignan, Cauwet G. (analyse COD par HTCO).

3.2.7. Collaborations étrangères

De même des collaborations internationales sont envisagées, nous citerons ici et de façon non restrictive les collaborations déjà en cours ou sérieusement amorcées qui ont une application directe dans le cadre du programme :

- Australian Institute of Marine Sciences (AIMS), Brunskill G. (archives sédimentaires); Klumpp D. (dynamique trophique, cycle des nutriments); Moran P. (écosystèmes coralliens).
- Australian Museum de Sydney, Hutchings P. (annélides); Lowry (crustacés).
- East West Center, Hawaii, Maragos J. (gestion des milieux côtiers).
- National Oceanographic & Atmospheric Administration (NOAA), Patzert P. (télé-détection).
- South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC), Fidji, Larue M. (géographie).
- Univ. Hawaii, Bailey-Brock J. (annélides); Smith C. (benthos); Greenfield D. (ichtyologie).
- Univ. James Cook, Australie, Wolfe K. (archives sédimentaires, géochimie).

3.3. *Phase exploratoire initiale*

D'un point de vue pratique la stratégie de recherche envisagée fait appel à une première phase de repérage et de caractérisation préalable du milieu. Cette opération fera appel aux approches suivantes :

- Télé-détection (SPOT) pour cartographie des fonds.
- Recherche bibliographique, en particulier en ce qui concerne les peuplements et la sédimentologie.
- Etude sommaire des peuplements correspondant aux paysages identifiés par télé-détection.

- Pré-modélisation théorique de l'hydrodynamique à large échelle.
- Echantillonnage hiérarchique de paramètres synthétiques de la physico-chimie des eaux.

La conjonction de ces approches permettra de prédéfinir certaines grandes caractéristiques du milieu et de mieux adapter la stratégie d'échantillonnage pour la mise en oeuvre du programme de recherche. A partir de cette approche exploratoire nous pourrions prédéfinir les grands traits du milieu et déterminer les stratégies les mieux adaptées à chaque compartiment d'étude.

3.4. Calendrier prévisionnel

La phase de terrain du programme devrait s'étendre sur une période de 24 mois d'Avril 1997 à Avril 1998. L'échéance du mois d'Avril correspond aux dates d'attribution de crédit incrémenté de la durée minimum d'acheminement du matériel commandé. La durée de 2 ans correspond à une prise en compte des variations saisonnières, la dispersion de l'effort liée au travail sur 2 sites, la compatibilité avec les échéances correspondant aux actions de formation.

Passée la phase de terrain une forte implication de l'ensemble des membres de l'équipe sera nécessaire durant 1 an pour le traitement des données et la valorisation du travail accompli. Au-delà (mi 2000) l'effort de valorisation sera poursuivi de façon plus modeste; la plupart des membres d'ÉCOTROPE étant alors très largement disponibles pour participer à un nouveau programme.

3.5. Disciplines impliquées

Biodiversité
Chimie, Biogéochimie, Géochimie
Ecologie fonctionnelle
Hydrodynamique
Microbiologie
Modélisation numérique
Physique
Sédimentologie
Télé-détection

Mots clés : Terrigène, anthropique, écosystème, côtier, biotope, biocénose, biodiversité, environnement développement

Terrigenous, anthropogenic, ecosystem, coastal, non living medium, biocenosis, biodiversity, environment, development.

Références :

Atkinson M. J., Carlson B. & Crow G. L., 1995. Coral growth in high-nutrient, low-pH seawater : a case study of corals cultured at the Waikiki Aquarium, Honolulu, Hawaii. *Coral Reefs*, 14 : 215-223.

- Charpy, L., 1995. *Fonctionnement des écosystèmes récifaux : les lagons*. Colloque « Environnement dans le Pacifique Sud », Paris, 28-31 mars 1995. : 33-42.
- Clavier et al., 1995. *Programme LAGON « Connaissance et mise en valeur du lagon de Nouvelle-Calédonie » - Le bilan-*. Document Interne ORSTOM, 70 pp.
- Grigg R. W., 1994. *Effects of sewage discharge, fishing pressure and habitat complexity on coral ecosystems and reef fishes in Hawaii*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 103 : 25-34.
- Hatcher B.G., Johannes R.E. & Robertson A.I., 1989. *Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems*. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 27 : 337-414.
- Intes et al., 1994. *Tikehau. An atoll of the Tuamotu archipelago (French Polynesia)*. *Atoll Research Bulletin*, 415 : 105 pp.
- Malone T.C. & Wright L.D., 1994. *Planning today for the coastal research of tomorrow*. *EOS*, 75 : 243-244.

4. FICHE D'IDENTITE DU PROGRAMME

Code

Département : TOA

Unité de recherche : 16

Grand programme : ÉCOTROPE

Intitulés

Complet : Analyse de l'influence des apports terrigènes et anthropiques sur les biotopes et les biocénoses dans les zones côtières du Pacifique.

Abrégé : ÉCOTROPE. Écosystèmes côtiers du Pacifique. Influences terrigènes et anthropiques.

Dates

Début : Fin 1996

Fin prévisionnelle (première phase) : Terrain, fin 1998; valorisation, fin 1999.

Partenaires

Institution : University of the South Pacific (FIDJI)

Département : School of Pure and Applied Sciences & International Ocean Institute.

Institution : Université Française du Pacifique (POLYNESIE FRANCAISE)

Département : Laboratoire d'Ecologie Marine

Institution : Université Française du Pacifique (NOUVELLE-CALEDONIE)

Lieux de réalisation

Implantation ORSTOM :

Centre ORSTOM de Nouméa

Centre ORSTOM de Tahiti

Implantation non ORSTOM

University of the South Pacific, FIDJI

5. FICHE-ACTION 1 : BIOTOPES PÉLAGIQUES

5.1. Modélisation Hydrodynamique et Processus de Transport

Actions de Recherche

En ce qui concerne la modélisation hydrodynamique 2D et 3D l'expérience acquise par l'UR16 montre que la manière la plus fiable et la plus rentable de travailler consiste à effectuer des allers retours entre la modélisation et la mesure. Pour que le modèle donne des résultats correspondant à la réalité il est nécessaire d'appliquer aux limites des conditions qui soient cohérentes avec les forces agissant sur le milieu. L'acquisition de données de terrain serait très lourde aux échelles spatiales envisagées dans le cadre d'ÉCOTROPE et il est beaucoup plus rentable de procéder par la technique des modèles gigognes. A partir d'un pré-modèle à grande échelle dont les conditions aux limites par grand fond sont simplifiées, on définit les conditions aux limites d'un sous modèle d'emprise plus petite. On réitère ce processus jusqu'au modèle que l'on voulait obtenir au départ en limitant le nombre de modèles intermédiaires à un ou deux. A partir des résultats obtenus, on définit une stratégie de mesure qui permet de valider les modèles et éventuellement de les modifier afin d'être le plus réaliste possible. Dans le cas de Nouméa l'expérience acquise permettra de ne considérer que 2 modèles (maille 500 m et 300m). Dans le cas de Suva 3 modèles seront nécessaires : un premier modèle 2D englobant tout l'archipel, un modèle 2D ou 3D de la moitié inférieur de l'île et un modèle 3D de maille 300 m du lagon de Suva. La modélisation en milieu côtier repose *pro parte* sur une bonne connaissance de la bathymétrie. En ce qui concerne le lagon de Nouméa nous disposons d'une base de données et seules quelques actions de terrain complémentaires seront nécessaires. En revanche, le travail sur le site de Suva nécessitera un effort de terrain et une saisie de données plus important. La participation d'un étudiant Fidjien à ce travail est prévue sans doute sous la responsabilité de A. Mac Arthur (School of Physics).

En utilisant les résultats de la modélisation hydrodynamique, on peut aborder l'étude du transport du matériel dissous et particulaire. Il est en effet possible d'ajouter dans le modèle hydrodynamique des équations décrivant les lois de transport de différentes catégories de composés. Les difficultés d'intégration grandissent au fur et à mesure que l'on passe du dissous conservatif au particulaire non conservatif. La présente action traitera principalement de la dynamique des particules prenant en compte les processus majeurs que sont la sédimentation, la remise en suspension et le charriage. La prise en compte de ce domaine d'étude sera assurée par l'accueil, prévu dès 1997, d'un étudiant en thèse en co-encadrement entre l'ORSTOM (P. Douillet) et l'Université d'Aix-Marseille II (B. Millet). Ce domaine de recherche sera bien sûr étroitement lié aux autres domaines d'étude de l'action « biotopes pélagiques ».

L'intégration des éléments non conservatifs dans la modélisation du transport implique la prise en compte des processus biogéochimiques. Une action basée sur une collaboration avec C. Grenz de l'Université d'Aix-Marseille II se traduira notamment par la codirection d'un travail de thèse sur le couplage entre la modélisation des processus biogéochimiques (pélagiques et benthiques) et la modélisation hydrodynamique en 3D. Les résultats obtenus dans l'ensemble des actions du programme seront intégrés dans le modèle et l'étudiant devra fournir un effort personnel de terrain pour mesurer les flux (O_2 , nutriments) à l'interface eau-sédiment. Le modèle biogéochimique utilisé est une version modifiée du modèle L3VMP (3-Layers Vertical Microbial Process Model) initialement développé pour la Mer du Nord (Tett & Grenz, 1994). Cette action de modélisation est bien sûr très étroitement liée à l'ensemble des actions du programme.

Moyens matériels disponibles

- 4 courantomètres Aanderaa.
- 6 Marégraphes Aanderaa.
- 2 stations météo Aanderaa.
- Station Sun Spark 10

Moyens matériels nécessaires

2 courantomètres doppler (RDI 600)
Station Sun Ultraspark

5.2. Caractéristiques Physico-chimiques

Actions de Recherche

La nature des solutions techniques correspondant aux objectifs de recherche amène à séparer cette action de recherche en 2 compartiments. En premier lieu il faut envisager les paramètres qui peuvent faire l'objet d'un taux d'acquisition élevé. Dans un second temps, il faut considérer les autres paramètres pour lesquels la complexité analytique et le coût de revient imposent une acquisition plus limitée. Il est bien évident que la stratégie d'échantillonnage doit tenir compte de ces critères pratiques.

Paramètres à fort taux d'acquisition

Sur Nouméa, un échantillonnage discret des paramètres à fort taux d'acquisition sera effectué mensuellement à partir de début 1997. La distribution et le nombre de points d'échantillonnage (vraisemblablement inférieur à 40) ne seront déterminés qu'après une phase initiale de reconnaissance. Sur Suva, un premier échantillonnage discret des paramètres à fort taux d'acquisition sera effectué courant 1997. Le lancement d'une acquisition mensuelle dépendra du degré d'investissement des organismes locaux. Coté ORSTOM un minimum de 4 missions lourdes correspondant aux différentes saisons seront réparties sur 1997-1998. Sur chaque site un échantillonnage complémentaire moins large et occasionnel sera prévu pour pouvoir prendre en compte certains épisodes exceptionnels. Sur Suva un effort de formation sera consenti pour que l'échantillonnage puisse être effectué par nos collaborateurs Fidjiens.

Un premier groupe de paramètres est constitué par les paramètres physiques. La température et la salinité seront mesurés soit *in situ* à l'aide de thermo-salinographes (voir action suivante) soit manuellement (thermomètre, analyse au salinomètre à induction). Une mesure simple de la profondeur de pénétration de la lumière sera effectuée au disque de Secchi. Cette mesure sera ponctuellement accompagnée d'une mesure plus fine des caractéristiques optiques de l'eau sur un profil vertical en utilisant un quantum-mètre immergeable à capteur sphérique.

Le matériel particulaire sera filtré sur filtre Whatman GF/F (porosité effective 0,45 μm). Une estimation des besoins est effectuée en fonction des besoins analytiques correspondant à une station type:

- Charge particulaire et fractions organique et inorganique (calcination 450 °C)
- Analyse au CHN de la composition élémentaire en C et N organique (décarbonatation vapeur HCl)
- Analyse du P organique par analyse du phosphate après oxydation au persulfate.
- Analyse des chloropigments en fluorimétrie.
- Echantillon d'eau pour mesure de turbidité (néphélomètre de laboratoire)

Le matériel dissous sera conditionné et analysé en fonction des différents paramètres mesurés. Les besoins analytiques sont :

- Analyse des nutriments inorganiques sur auto-analyseur Technicon (analyse immédiate nécessaire)
- Analyse de N et P organiques dissous après oxydation au persulfate

Paramètres à faible taux d'acquisition.

Sur le site de Nouméa, les paramètres à faible taux d'acquisition seront échantillonnés selon la grille d'échantillonnage précédemment définie en 4 occasions correspondant aux différentes saisons de l'année 1997-1998. Quelques stations très typées feront l'objet d'un échantillonnage plus serré pour mieux cerner l'importance des variations temporelles.

Sur le site de Suva, 4 missions lourdes correspondant aux différentes saisons seront réparties sur la période 1997-1998.

Comme précédemment un échantillonnage complémentaire moins large et occasionnel sera prévu sur chaque site pour pouvoir prendre en compte les événements exceptionnels.

Les besoins analytiques correspondant aux objectifs du programme sont les suivants :

- composition en isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) de la matière organique particulaire par spectrométrie de masse isotopique (CFR, Gif sur Yvette)
- carbone organique et inorganique dissous (Laboratoire Arago, Banyuls)
- métaux dissous et particuliers en spectrométrie d'absorption atomique (ORSTOM-Nouméa) ou en ICP-MS (collaboration CEA et SOEST de Hawaii).
- terres rares en ICP-MS (CEA et SOEST de Hawaii)
- composition en isotopes stables des métaux ($^{206/207}\text{Pb}$ $^{208/206}\text{Pb}$ $^{87/86}\text{Sr}$) par ICP-MS (CEA et SOEST de Hawaii)

Moyens matériels disponibles

Autoanalyseur technicon équipé de 8 chaînes

Spectrophotomètre de laboratoire programmable (ORSTOM-Tahiti)

Fluorimètres Turner 111 et 112

Analyseur CHN Perkin-Elmer

Spectromètre d'absorption atomique à flamme (Service commun ORSTOM-Nouméa)

Turbidimètre de laboratoire 0-1000 NTU (ORSTOM-Tahiti)

Quantum-mètre immergeable Li-Cor à capteur sphérique

Quantum-mètre de surface à capteur plan (référence surface)

Etuves universelles

Moyens matériel nécessaires

Turbidimètre de laboratoire 0-200 NTU \pm 0,01 NTU

1 Etuve universelle ventilée

1 Balance 0,1 g

Matériel services communs : Four graphite pour spectromètre d'absorption atomique : cette demande devrait être déposée par le centre ORSTOM de Nouméa pour équiper le laboratoire commun chimie.

5.3. Acquisition de séries de mesures en continu

Actions de Recherche

Les actions de recherche prévues visent deux objectifs majeurs : la détermination fine de la variabilité temporelle du milieu et la détermination fine de l'organisation spatiale (stratification verticale, distribution horizontale). La prise en compte des variations temporelles est fondamentale en milieu côtier où l'essentiel des apports peut être véhiculés lors d'événements exceptionnels très ponctuels dans le temps. Une quantification fiable de ces apports ne peut être envisagée que si un effort est consenti pour évoluer vers une automatisation de l'acquisition de données. Cette automatisation permet en outre de mieux cerner la distribution spatiale (horizontale et verticale) des apports.

La réalisation de ces deux objectifs repose sur des bases techniques similaires. Les progrès récents en terme de technologie permettent de disposer de moyens de mesure en continu marinisés, robustes et ayant de faibles consommations électriques. Ce type de matériel peut être utilisé sous la forme de mouillages fixes (variabilité temporelle) de bouée dérivantes lagrangiennes (variabilité spatiale) ou de profileurs (structure verticale). Il faut souligner que le bon usage de ces appareillages repose sur un effort important de maintenance (calibration, entretien électronique, assistance technique terrain). La mise en oeuvre et le rodage de l'acquisition de données sera effectué sur le site de Nouméa. Le transfert de ce matériel sur le site de Fidji sera associé avec la formation sur Nouméa de personnel

technique Fidjien de façon à ce que l'entretien du matériel, indispensable à la validité des données, soit effectué sur place.

Moyens matériels disponibles

- 1 Sonde multiparamètres autonome YSI 6000, 80 KF (ORSTOM-Tahiti)
- 1 Néphélomètre immergeable, 35 KF (ORSTOM-Tahiti)
- 2 Data-loggers LI-COR, 20 KF (ORSTOM-Tahiti)
- 2 Stations météorologiques Aanderaa (matériel commun avec action précédente)

Moyens matériels nécessaires

- 3 Thermo-salinomètres immergeables
- 2 Sondes multiparamètres immergeables (température, salinité, profondeur, oxygène)
- 6 Turbidimètres (néphélomètres) immergeables
- 8 Data-loggers immergeables
- 6 Fluorimètres in situ

Granulomètre laser in situ : l'utilisation de ce matériel ne serait envisagée pour l'instant que dans le cadre d'une collaboration avec l'Ifremer-Brest (Gentien et Lunven). Il permet de compter les particules et de déterminer le spectre de taille entre 5 et 500 μm en quelques secondes. Les résultats obtenus aussi bien en point fixe qu'en profileur seraient extrêmement utiles à la modélisation de la dynamique des particules. En fonction des résultats obtenus une possible demande d'équipement sera examinée dans l'avenir pour l'UR16.

Participants potentiels

ORSTOM : André J.M. (modélisation biogéochimique), Douillet P. (modélisation hydrodynamique), Dupouy C. (optique), Fernandez J.M. (géochimie), Fichez R. (biogéochimie), Pagès J. (matériel dissous), Rodier M. (chimie) & Ingénieur chimiste recrutement mi-96.

USP : Mac Arthur A. (physique), Sotheeswaran (chimie).

Assistance technique : Berthault C. (hydrologie), Bonnet S. (chimie), Gérard P. (chimie), Panché J.-Y. (électronique).

Etudiants : Bujan S. (ORSTOM-Univ. Aix-Marseille II), Vilain J.-P. (ORSTOM-Univ. Aix-Marseille II).

Collaborations nationales : Cauwet G. (carbone dissous, Laboratoire Arago, Banyuls), Fontugne M. (isotopes stables, CFR-Gif sur Yvette), Gentien P. & Lunven M. (granulométrie laser *in situ*, IFREMER-Brest), Grenz C. (modélisation biogéochimique, COM, Marseille), Salomon J.C. & Garreau P. (modélisation hydrodynamique, IFREMER-Brest)..

Collaboration internationales : SOEST (Hawaii, USA)

6. FICHE-ACTION 2 : SÉDIMENTS

6.1. Répartition spatiale des caractéristiques sédimentaires

Actions de Recherche

Une phase d'étude préliminaire consistera à compiler l'ensemble de données disponibles concernant les conditions environnementales des sites que nous étudierons. Nous rechercherons un éventail très large de données englobant des aspects tels que la géologie terrestre (bassins versants), la pédologie et bien évidemment la sédimentologie marine.

Une première approche de description de la structure sédimentaire à une échelle spatiale relativement large sera conduite à partir de techniques sédimentologiques classiques (granulométrie sur tamis, composantes biogènes/terrigènes et biophases carbonatées). Dans le cas des sédiments côtiers à forte influence terrigène les sédiments vaseux ($<0,63 \mu\text{m}$) représentent une importante fraction. L'étude de cette granulométrie fine sera effectuée par granulométrie laser (LESE-IPSN de Tahiti). Pour obtenir une classification des fonds à haute résolution et large échelle nous utiliserons un système hydro-acoustique (type RoxAnn) couplant un échosondeur mono-faisceau avec un processeur de traitement du signal. Enfin nous tenterons d'examiner, sur la base de collaborations (IFREMER), les perspectives offertes par l'utilisation du sonar à balayage latéral petits fonds qui permet d'obtenir une carte thématique des fonds sédimentaires ou la sismique réflexion de haute définition qui permet de déterminer l'épaisseur et la structure des sédiments meubles ainsi que la morphologie du substratum sous-jacent.

Une approche géochimique des caractéristiques des sédiments sera envisagée sur la base d'un effort d'échantillonnage raisonné. La cartographie issue de l'action précédente permettra de hiérarchiser les fonds et de déterminer une stratégie d'échantillonnage compatible avec une rentabilité optimale de l'effort analytique. Les étapes analytiques prévues sont :

- charge hydrique (séchage, pesée)
- importance respective des fractions organique et inorganique (attaque acide ou calcination, pesée)
- composition élémentaire en C et N organique (décarbonatation vapeur HCl) au CHN
- phosphore organique par analyse du phosphate après oxydation au persulfate.
- chloropigments en fluorimétrie.
- composition en isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) de la matière organique particulaire par spectrométrie de masse isotopique (CFR, Gif sur Yvette)
- métaux en spectrométrie d'absorption atomique (ORSTOM-Nouméa) ou en ICP-MS (collaboration CEA et SOEST de Hawaii).
- terres rares Ce, Sm/Nd, Lu/La en ICP-MS (CEA et SOEST de Hawaii)
- composition en isotopes stables des métaux ($^{206/207}\text{Pb}$ $^{208/206}\text{Pb}$ $^{87/86}\text{Sr}$) par ICP-MS (CEA et SOEST de Hawaii).

Enfin une dernière opération consistera à mesurer les flux verticaux particulaires au niveau de l'interface eau-sédiment. Cette mesure fournit en effet une évaluation directe de la dynamique sédimentaire et surtout des potentialités trophiques à l'interface qui constitue une information ayant une signification écologique forte. Les mesures prévues concernent :

- Collecte par pièges à particules du matériel particulaire sédimenté.
- Détermination de la quantité de matériel particulaire et des fractions organiques et inorganiques
- Analyse de la concentrations en chloropigments (fluorimétrie-spectrophotométrie)
- Analyse élémentaire, CHN pour C et N, oxydation-colorimétrie pour P

Une comparaison ponctuelle sera effectuée entre les valeurs de flux obtenues par la mesure directe et la valeur des taux de sédimentation déterminés par datation radioisotopique dans le cadre de l'action archives sédimentaires.

Moyens matériels disponibles

Tamis
Granulomètre laser de laboratoire (LESE-CEA, Tahiti)
et matériel déjà listé

Moyens matériels nécessaires

Etuve ventilée
Matériel RoxAnn (possibilité de mise à disposition de l'équipement embarqué sur l'ANTEA ?)

6.2. Archives sédimentaires

Actions de Recherche

Conditions de prélèvement et de traitement

Compte tenu de l'étendue des analyses nécessaires pour chaque échantillon le nombre de carottes prévues devra être limité (4-6). Pour pouvoir correctement dater les sédiments il faut nécessairement qu'ils présentent une bonne stratification. Cette stratification est liée à un certain nombre de conditions telles que : vitesses de sédimentation élevées, sédiment de fraction fine, bioturbation limitée, resuspension physique limitée. Les environnements les plus favorables se situent donc dans les fonds de baies protégées par les récifs qui abritent des sédiments vaseux, riches en matériel organique et anoxiques. C'est donc sur ce type de site que notre effort sera principalement porté. Les résultats préliminaires du programme nous fourniront les éléments nécessaires pour opérer une sélection de site présentant des conditions environnementales différentes pouvant être considérées comme exemplaires.

Les carottes d'environ 1 m de hauteur seront prélevées soit en plongées à l'aide d'un carottiers spécifique en PVC réalisé et testé dans le cadre du programme ANTROPIC, soit de la surface à l'aide d'un carottier type box-core respectant la stratification. Des échantillons de sédiment seront isolés par tranches de 1 cm. En fond de baie on peut compter sur des vitesses de sédimentation de l'ordre de 0,5 à 1 cm par an et une section d'un centimètre de sédiment correspondrait donc grossièrement à une période de 1 à 2 ans. Les sédiments seront ensuite pesés et lyophilisés avant d'être datés et analysés.

Datations et analyses

Les datations sont effectuées en collaboration avec le Laboratoire d'Etude et de Surveillance de l'Environnement (LESE) par dosage de l'activité du ^{210}Pb et du ^{137}Cs . Les datations et analyses devraient être effectuées sur environ 15 niveaux soit un total de $7 \times 15 = 105$ échantillons. Pour les datations le traitement des échantillons devrait s'étendre sur une durée de 3 mois.

Une première série d'analyse est nécessaire pour déterminer les caractéristiques générales du sédiment en tenant compte des paramètres suivants.

- Granulométrie (laser)
- Fraction soluble dans l'acide (fraction carbonatée)
- Fraction insoluble dans l'acide (fraction terrigène)
- Analyse élémentaire (C, N, P) des fractions minérales et organiques

Une seconde série d'analyse sera orientée sur l'étude plus complexe des différents traceurs sédimentaires pouvant être utilisés en tant qu'espèces chimiques indicatrices des modifications de l'environnement. L'étude portera sur certains traceurs chimiques et sur les biomarqueurs organiques qui peuvent être utilisés comme indicateurs spécifiques de perturbations de l'environnement. Les paramètres mesurés seront:

- Métaux (spectrométrie d'absorption atomique et ICP-MS)

- Isotopes stables des métaux $^{206/207}\text{Pb}$ $^{208/206}\text{Pb}$ $^{87/86}\text{Sr}$ par ICP-MS (CEA et SOEST de Hawaii).
- Terres rares (ICP-MS)
- Hydrocarbures aromatiques (chromatographie gazeuse - spectrométrie de masse)
- Stéroïdes (chromatographie gazeuse - spectrométrie de masse)
- Dérivés ligniniques (spectrofluorimétrie / CLHP)
- Spectres pigmentaires, fractionnement, extraction de pigments (CLHP)
- Composition en isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) de la matière organique.

Le principal intérêt de cette étude est de combiner les analyses effectuées sur les traceurs sédimentaires avec les datations. Il devient alors possible de faire correspondre une caractéristique quantitative (i.e. concentration en Pb) ou qualitative (i.e. rapport $\delta^{13}\text{C}$) avec une situation temporelle précise. Cette association permettra donc de retracer l'évolution de l'environnement côtier et bien sur l'évolution des apports anthropiques à l'échelle du dernier siècle.

Moyens matériels disponibles

La collaboration effective entre l'ORSTOM et le Laboratoire d'Etude et de Surveillance de l'Environnement (LESE-IPSN) permet le regroupement d'une capacité analytique importante dans le domaine de l'étude des archives sédimentaires. La disponibilité du matériel suivant (le matériel du LESE est indiqué en italique) constitue un atout pour la réalisation du programme :

Lyophilisateur

Spectrophotomètre (analyses colorimétriques)

Fluorimètre (pigments chlorophylliens)

Irradiateur UV (matière organique dissoute)

Chromatographe CLHP (pigments chlorophylliens, acides aminés)

Chromatographe en phase gazeuse

Compteur de radioactivité α (datation ^{210}Pb)

Compteur de radioactivité γ 80 % (datations ^{137}Cs)

Spectromètre d'absorption atomique (métaux)

Granulomètre laser (classes de tailles)

Analyseur CHN (composition élémentaire)

Matériel informatique (micro-ordinateurs, station SUN)

Moyens matériels nécessaires

Carottier type Box-core (h = 1,2 m, \varnothing = 50 cm²)

Matériel services communs : Four graphite pour spectromètre d'absorption atomique : cette demande devrait être déposée par le centre ORSTOM de Nouméa pour équiper le laboratoire commun chimie.

Participants potentiels

ORSTOM : Chevillon C. (sédimentologie), Fernandez J.M. (géochimie), Fichez R. (biogéochimie), Rodier M. (chimie) & Ingénieur chimiste recrutement mi-96.

USP : Yeo G. (sédimentologie), Sotheeswaran (chimie)

Assistance technique : Bonnet S. (chimie), Gérard P. (chimie), Jouen R. (datations)

Etudiant : Harris P. (ORSTOM-UFP)

Collaborations nationales : Augris C. (cartographie par sonar à balayage latéral, IFREMER-Brest), Badie C. (datations radioisotopes), Chazottes V. (sédimentologie, Univ Aix-Marseille II), Debenay J.-P. (paléoenvironnements, Univ. Angers), Fontugne M. (isotopes stables, CFR-Gif sur Yvette), Masse J.-P. (sédimentologie, Univ Provence), Saliot A. (biomarqueurs lipidiques, Univ. Paris VI).

Collaboration internationales : Brunskill G. (archives sédimentaires, AIMS Australie), Gold-Bouchot G. (géochimie, CINESTAV Mexique), Wolfe K. (géochimie, J. Cook Univ. Australie) & SOEST (Hawaii, USA).

7. FICHE-ACTION 3 : BIOCÉNOSES PÉLAGIQUES

7.1. *Bactérioplancton*

Le bactérioplancton constitue le premier maillon de la chaîne trophique. Les temps de génération faibles des bactéries leur permettent de répondre rapidement aux modifications des conditions de milieu. Les résultats du programme ANTROPIC ont démontré que les peuplements bactériens étaient fortement influencés par les apports terrigènes et anthropiques et qu'ils constituaient en particulier de bons éco-indicateurs de l'état d'eutrophisation du milieu.

Actions de Recherche

La première et principale action de recherche aura pour objectif de caractériser globalement le peuplement bactérien en terme d'abondance et de production. Le plan d'échantillonnage sera très logiquement calqué sur celui de l'étude du biotope pélagique (action 1) dans le but de pouvoir analyser les corrélations entre les conditions de milieu et les caractéristiques de structure et de dynamique des peuplements bactériens.

- En ce qui concerne les abondance bactériennes, des échantillons de 5 à 10 ml seront filtrés sous faible dépression (<10 cm de Hg) sur filtre Nucléopore 0,2 µm et colorés au DAPI. Les filtres découpés sont montés entre lame et lamelle. L'observation des lames par microscopie en épifluorescence permet de déterminer l'abondance bactérienne en tenant compte de paramètres tels que les différentes classes de taille ou l'état de division des cellules.
- La production bactérienne sera déterminée par la technique de l'incorporation de la thymidine dans l'ADN. Un échantillon d'eau est incubé durant 60 minutes en présence de thymidine tritiée; après filtration et prétraitement du filtre (ajout TCA, bain marie 100 °C 30 min, dissolution du filtre, ajout liquide scintillant) l'activité correspondant à l'incorporation de thymidine radioactive est mesurée sur un compteur à scintillation. La production bactérienne est alors exprimée en moles de thymidine incorporées par litre et par heure.

Une deuxième action plus légère sera destinée à mesurer de manière semi-quantitative les potentialités métaboliques bactériennes qui constitue un moyen d'évaluer la diversité du peuplement. Pour cela on utilise des microplaques de culture disposant de 96 substrats différents. Après injection de microquantités d'eau et incubation pendant 48 heures le développement bactérien est mis en évidence par l'apparition d'une coloration dont l'intensité est proportionnelle à l'importance de la culture. Cette technique testée dans le cadre des programmes TYPATOLL et ANTROPIC permet une première approche comparative inter-station de l'état de complexité métabolique du peuplement.

Enfin une troisième action ponctuelle pourrait être envisagée en ce qui concerne l'étude plus finalisée des concentrations en bactéries fécales et pathogènes. Il faut néanmoins souligner qu'il ne s'agirait pas à proprement parler d'un thème de recherche mais plutôt d'une action accompagnatrice pour prendre en compte un paramètre du milieu étroitement lié aux influences anthropiques. La prise en compte de ce travail reposerait essentiellement sur une collaboration avec des services locaux spécialisés (services d'hygiène et de santé publique) et il faut être conscient que les priorités et les contraintes de ces organisme pourraient ne pas correspondre avec celles du présent programme.

Moyens matériels disponibles

Compteurs à scintillation Packard Tri-carb 1600 TR (Nouméa) et 1000 (Tahiti)
Microscope à épifluorescence (Nouméa et Tahiti)

Moyens matériels nécessaires

Matériel de mesure par microplaque

7.2. Phytoplancton

Les eaux océaniques de la zone du Pacifique tropical qui nous intéressent sont considérées comme globalement oligotrophes de même que les eaux des lagons de Nouvelle Calédonie et de Fidji. Les peuplements phytoplanctoniques lagunaires y sont donc particulièrement sensibles aux apports en éléments nutritifs terrigènes et anthropiques. L'influence de ces apports sur la structure et la dynamique du phytoplancton lagunaire est encore très mal compris en milieu lagunaire tropical et constitue un domaine de recherche que nous considérons comme prioritaire.

Actions de Recherche

Une première action sera conduite concernant les caractéristiques structurelles du peuplement. De même que précédemment la stratégie d'échantillonnage sera identique à celle de l'action 1 sur le biotope pélagique. La biomasse algale sera évaluée dans le cadre de cette action 1 par la mesure des concentrations en chloropigments par fluorimétrie (concentrations en chlorophylle *a* et phéopigments). A partir de cette première évaluation globale il sera nécessaire de ponctuellement détailler la structure des peuplements correspondant à certaines situations particulières. Pour cela nous envisagerons un certain nombre d'opérations :

- La concentration en chloropigments sera mesurée par fluorimétrie ou spectrophotométrie sur des échantillons préalablement fractionnés par filtration différentielle pour déterminer les importances respectives des différentes classes de taille (> 3 µm, 3 à 1 µm, 1 à 0,45 µm) du phytoplancton.
- Certains échantillons seront fixés ou traités (filtration et montage sur lame) pour détermination de la composition taxonomique du peuplement phytoplanctonique sera établie en microscopie optique.
- Une caractérisation de la composition pigmentaire détaillée sera effectuée en chromatographie CLHP, principalement afin de fournir des informations supplémentaires pour l'identification des espèces.
- Le picophytoplancton, qui constitue une fraction importante du phytoplancton en milieu tropical, sera caractérisé et quantifié jusqu'au niveau du groupe par analyse en cytométrie de flux.

L'ensemble de ces résultats permettront d'examiner dans quel mesure la structure du peuplement est affecté par une modification des conditions de milieu. Il sera possible de mettre en évidence les caractéristiques du peuplement pouvant être considérées comme indicatrices d'un gradient d'influence.

Une seconde action sera menée pour évaluer la production primaire pélagique. La biomasse phytoplanctonique traduit en effet avec un certain retard dans le temps et donc dans l'espace l'évolution du peuplement alors que la production rend directement compte de son état métabolique. La production primaire sera mesurée par incorporation de ¹⁴C inorganique et comptage d'activité au compteur à scintillation. Deux types d'incubations seront envisagées

- incubations *in situ* pour déterminer la production brute et nette du milieu
- incubations *ex situ* en éclaircissement variable pour déterminer les relations photosynthèse-éclaircissement.

De même que pour les biomasses certaines mesures de production primaire seront effectuées sur différentes classes de taille (3 µm, 3 à 1 µm, 1 à 0,45 µm) par filtration différentielle afin de déterminer les contributions respectives des différentes catégories de phytoplancton.

Une action plus expérimentale consistera à procéder à des incubations après enrichissement en nutriments (bioessais). Pour cela des échantillons d'eau isolés dans des tubes bouchés (30 ml) seront enrichis en éléments nutritifs (N, P, Net P principalement) et mis à incuber durant plusieurs jours. L'évolution des concentrations en chloropigment sera mesurée *in vivo* par passage direct des tubes au fluorimètre. A partir de la cinétique de l'évolution des concentrations en pigments il est possible de déterminer la production photosynthétique et en examinant l'influence des enrichissements par rapport aux contrôles de rechercher les éléments limitants pour les producteurs primaires.

Une dernière action prospective sera destinée à examiner les possibilités ouvertes dans le domaine de l'analyse des caractéristiques optiques de l'eau pour obtenir des informations quantitatives sur les concentrations en pigments. Les outils satellitaires ne disposent pas actuellement d'une résolution suffisante pour être utilisables en milieu côtier. Les mesures optiques aéroportées en revanche sont en plein développement et un effort particulier sera porté sur l'étude des informations fournies par la radiométrie aéroportée (CASI). Pour cela cette action sera essentiellement basée sur une ou plusieurs collaborations avec des équipes de recherche maîtrisant cette technique. Les résultats obtenus dans le cadre d'ECOTROPE serviront à évaluer l'intérêt de ce domaine de recherche dans le cadre du développement des activités de l'UR en milieu côtier tropical.

Moyens matériel disponibles

Cytomètre de flux FCM Becton-Dickinson
Compteur à scintillation Packard Tri-carb 1600 TR
Fluorimètres Turner
Spectrophotomètre
Incubateur production primaire
Microscope optique et à épifluorescence

Moyens matériel nécessaires

Cette action de recherche repose assez largement sur l'accueil pour 2 ans d'un jeune chercheur en séjour post-doctoral sur financement ORSTOM. Cette stratégie adaptée aux échéances du programme est en accord avec la politique d'une plus forte contractualisation de la recherche à l'ORSTOM.

7.3. Zooplancton

Dans la phase prospective qui correspond aux objectifs du programme ECOTROPE, il nous semble intéressant bien que non prioritaire de développer ce domaine de recherche. Ce type de recherche nécessite un effort important (échantillonnage, traitement des échantillons, analyse des données) qui nécessite des ressources humaines dont nous ne disposons pas actuellement. Une prise en charge partielle de ce travail pourrait être assumée par A. Lapetite, technicien local formé dans le cadre de FLUPAC à la reconnaissance et au comptage du zooplancton, dont le travail serait supervisé par R. Leborgne. Cette solution reste néanmoins et partielle.

Actions de Recherche

Les actions de recherche envisagées visent essentiellement pour l'instant à évaluer la composition taxonomique et la biomasse du peuplement de zooplancton. Le zooplancton est collecté par des traits de filet ayant un vide de maille de 200 μm . Le volume filtré est évalué à partir de la section du filet et du débit mesuré (débitmètre à hélice).

Pour la biomasse le plancton recueilli sur une soie prépesée est séché à l'étuve à 60°C puis pesé après un court séjour au dessiccateur. Les échantillons sont ensuite transférés dans des nacelles aluminium qui sont calcinés (550 °C) pour calcul de la fraction inorganique.

Les échantillons destinés à l'identification taxonomiques sont fixés au formol 10% et observés directement à la loupe binoculaire.

Les résultats obtenus permettront de rechercher d'éventuelles corrélations entre les conditions de milieu et la composition du peuplement de zooplancton. En fonction de la pertinence des premiers résultats un développement des activités pourra être envisagé a posteriori.

Moyens matériels disponibles

Matériel de prélèvement
Matériel optique

Moyens matériels nécessaires

Pas de besoin matériel significatif.

Participants potentiels

ORSTOM : André J.M. (modélisation), Blanchot J. (picoplancton), Dupouy C. (traitement d'image), Rodier M. (production primaire), Torréton J.-P. (microbiologie).

USP : Recrutement prévu d'un planctonologiste en 1997

Assistance technique : Lapetite A. (zooplancton).

Etudiant : Post-Doctorant sur financement ORSTOM

Collaborations nationales : Delesalle B. (phytoplancton, EPHE Perpignan) Chretiennot-Dinet M.J. (taxonomie phytoplancton, CNRS Banyuls).

Collaboration internationales : M. Furnas (production primaire, AIMS Australie).

8. FICHE-ACTION 4 : BIOCÉNOSES BENTHIQUES

8.1. Cartographie des peuplements benthiques

Actions de Recherche

Cette approche fera très largement appel à la télédétection qui peut fournir une image synoptique instantanée de l'organisation spatiale des peuplements benthique par petits fonds. Il est possible de faire apparaître les éléments structurants de la morphologie côtière. Cette possibilité de hiérarchiser le milieu permet une prédéfinition d'une stratégie d'échantillonnage adaptée à la couverture spatiale envisagée. Ceci permet avant toute chose de procéder par aller-retour entre la vérité terrain et le traitement de l'image, d'identifier la nature des informations synthétisées en quelques points précis d'une image et de les extrapoler à l'ensemble de l'image. L'utilisation d'images d'archives pourrait en outre permettre de suivre la possible évolution récente des biocénoses benthiques côtières. En outre, il est extrêmement rentable d'utiliser l'information spatiale ainsi obtenue pour hiérarchiser les milieux et déterminer certaines zones types. Ceci permet d'identifier un nombre limité de points d'échantillonnages ayant une valeur exemplaire pour lesquels un effort de recherche plus intense pourra être consenti. Enfin les potentialités cartographiques offertes par la télédétection seront utilisées dans la phase de valorisation du programme pour la réalisation de produits finalisés synthétiques.

Les images numériques sont caractérisées par leur résolution spectrale (plages des ondes électromagnétiques ou acoustiques mesurées) et leur résolution spatiale (surface au sol représentée par le point image ou pixel). Le domaine des capteurs actifs (radar, laser, sonars multifaisceaux) se situe pour l'instant au delà des besoins de la présente action de recherche. Dans le cadre du programme de recherche nous nous intéresserons principalement aux signaux numériques produits par des capteurs dits de type passif :

- images satellitaires SPOT, LANDSAT, ...
- photographies aériennes numérisées
- images vidéo CCD
- radiométrie aéroportée (CASI ...)

L'UR 16 bénéficie d'une bonne expérience dans le domaine du traitement des images SPOT avec les travaux sur la couverture corallienne récifale (W. Bour). De plus le centre ORSTOM de Nouméa dispose d'un Laboratoire de Télédétection (LATICAL) bien rodé au traitement des images SPOT. Toutefois la résolution spatiale de SPOT limitée par la taille du pixel (20x20 m) et sa sensibilité aux conditions climatiques en fait un outil moyennement adapté à l'étude des milieux côtiers. Nous souhaitons donc avec le LATICAL développer le traitement d'images à partir d'autres supports d'information (photo-vidéo aéroportées notamment). En poussant un peu plus loin cette perspective, des contacts ont été pris pour une collaboration dans le domaine des mesures multispectrales par radiomètre CASI (P. Mumby, Geography Department, Sheffield University UK) doit être approfondie. L'équipe de recherche concernée dispose de l'équipement et d'une expérience des milieux coralliens (Belize, Caraïbes) et une collaboration nous permettrait d'évaluer l'intérêt de cette nouvelle technique de mesure.

A partir de ces outils, des phases de validation de terrain et du traitement des données il est possible de produire plusieurs types de représentations cartographiques. Les spatio-cartes sont des images satellitaires en couleur composite redressées qui fournissent une première visualisation de la structure générale du système côtier étudié. Des cartes thématiques visualisant la répartition spatiale des biocénoses et des conditions de milieu associées.

Moyens matériels disponibles

Les moyens disponibles sont principalement concentrés au sein du LATICAL. Il faut néanmoins savoir que cette structure est autofinancée et que les traitements d'images, même en interne, ont un coût non négligeable.

Moyens matériels nécessaires

Images SPOT, accès et impression au LATICAL
Power Mac 850 + Hardware (Scanner, lecteur, etc.)

8.2. Structure des Biocénoses Benthiques

La recherche des données existantes constituera une étape préliminaire. Cette action de recherche bénéficie partiellement des importants travaux effectués depuis plusieurs dizaines d'années sur le lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie. Un catalogue bibliographique a déjà été compilé par les chercheurs de l'ORSTOM et son examen montre que les petits fonds côtiers n'ont été que modestement étudiés. La connaissance des biocénoses benthiques de Fidji est beaucoup moins avancée et les sources bibliographiques bien évidemment beaucoup plus réduites. Les résultats de la mission ASTRO (ORSTOM-USP 1995) constituent une première source de données dont le traitement permettra d'évaluer le degré de convergence entre les 2 zones géographiques. Une recherche sur la bibliographie et les bases de données existantes sera conduite sous la responsabilité de Peter Newell (USP-School of Biology) par un étudiant de l'USP ayant été formé au laboratoire d'Ecologie Marine de l'UFP-Tahiti.

Actions de Recherche

La démarche proposée est celle de l'écologie comparée, choisir dans chacune des régions des sites "normaux" et des sites visiblement perturbés par des apports terrigènes et anthropiques et observer l'évolution des biocénoses. La cartographie rapide des peuplements réalisée à mésoéchelle (100 km²) par télédétection et par "vérité-terrain" sera combinée avec les premiers résultats de modélisation hydrodynamique, de cartographie sédimentaire et de dynamique sédimentaire pour élaborer une stratégie d'échantillonnage la plus efficace possible. Les biocénoses les plus caractéristiques des zones tropicales feront l'objet d'une attention particulière : récifs coralliens frangeants, herbiers de phanérogames, mangroves.

Producteurs primaires benthiques

Une première action de recherche, de nature descriptive, consistera à déterminer la composition spécifique, l'abondance et la biomasse des principaux type de peuplements de producteurs primaires benthiques :

les herbiers de phanérogames ont une répartition spatiale étendue et jouent un rôle majeur dans la dynamique des sédiment.

les macroalgues sur substrats meubles dont les Caulerpales qui jouent un rôle important dans la formation des sédiments et dans la dynamique sédimentaire.

les macroalgues sur substrats durs dont la composition spécifique peut constituer un éco-indicateur de perturbation.

Une seconde action, de nature fonctionnelle, sera destinée à évaluer les valeurs de production primaire benthique et de productivité au niveau du système. Pour cela des mesures de métabolisme (consommation benthique en oxygène) seront effectuées comme décrit dans le paragraphe suivant (4.3.). Bien qu'inféodées au peuplements précédemment énoncés les mesures métaboliques concerneront l'ensemble du peuplement incluant le catabolisme hétérotrophe, et le métabolisme des microphytes. En complément l'évolution dans le temps de la structure et du fonctionnement de ces peuplements de producteurs primaires sera étudiée, ce qui permettra de dresser un bilan quantitatif de la productivité à l'échelle de l'année.

Une troisième action combinera le traitement des images satellitaires ou aériens avec les deux précédentes actions. Le premier intérêt de cette action est de fournir une représentation de la

répartition spatiale des peuplements (composition et densité). A partir de cette cartographie thématique il sera ensuite envisageable d'extrapoler les données ponctuelles concernant certains paramètres descriptifs (diversité spécifique) mais surtout fonctionnels (production brute et nette) à l'échelle de l'ensemble de l'écosystème correspondant. Ces résultats permettront de déterminer les critères discriminant permettant de hiérarchiser le milieu. Les éventuelles corrélations entre la distribution des conditions de milieu et le découpage hiérarchique des peuplements de producteurs primaires benthiques seront examinées.

Récifs coralliens frangeants

Cette action de recherche sera principalement constituée par l'utilisation combinée entre le traitement de scènes SPOT et des missions de vérité terrain. Le traitement associé des 3 canaux SPOT permet de tirer un certain nombre d'information sur la densité de la couverture corallienne. Il est donc possible de procéder à une cartographie thématique de l'état des récifs frangeants et d'associer les résultats de ce traitement avec les résultats de l'étude du milieu. Cette action de recherche sera montée en collaboration avec l'USP de Fidji (Vuki) avec notamment l'accueil d'au moins un étudiant stagiaire en co-encadrement (Bour-Vuki).

Peuplements et biodiversité du macrobenthos :

Les organismes constituant une biocénose intègrent tous les paramètres physico-chimiques de leur environnement et la composition instantanée des peuplement dépend de leur histoire. Les influences terrigènes et anthropiques se manifestent au niveau des biocénoses par une réduction de la biodiversité spécifique. Selon le type de perturbation, c'est l'utilisation de l'espace qui est modifié ou le réseau trophique et la plupart du temps les deux. Le plus souvent les écosystèmes sont complexes et il n'est pas possible de suivre l'effet de la disparition de chacune des espèces. L'examen indispensable de la diversité spécifique ne signifie pas qu'il faille faire de la taxonomie fine de tous les groupes, un dénombrement en "morphospecies" peut être suffisant. Il a été démontré en milieu terrestre qu'une diminution de la diversité spécifique diminue les performances de l'écosystème en production et il faudra tenter de vérifier si cela est également vrai en milieu marin.

Les actions de recherche envisagées sont les suivants :

- Comparaison de la biodiversité spécifique à microéchelle (100 m²) entre les sites témoins et les sites perturbés ;
- Variation spatiale de la biodiversité en fonction de l'échelle d'observation dans un écosystème : 1/10 m², 10 m², 100 m²... Cette étude permettra de tester la validité de l'échantillonnage et de réaliser simultanément des mesures quantitatives (biomasses).
- Définition de groupes et d'espèces indicatrices à suivre dans chaque biotope. Les espèces indicatrices pourraient être des organismes filtreurs (mollusques bivalves, ascidies...) et des détritivores actifs (scavengers) tels que les crustacés isopodes, ostracodes et amphipodes. Le groupe des annélides polychètes présente de bonnes potentialités en tant qu'éco-indicateur mais son étude se heurte à de grosses difficultés taxonomiques dans l'Indo-Pacifique. L'accueil en post-doc de P. Frouin travaillant en collaboration avec l'Australian Museum de Sydney constituerait une aide précieuse dans ce domaine.
- Rôle des organismes fouisseurs dans le fonctionnement des écosystèmes (oursins, crustacés).
- Rôle des organismes vivant dans la stabilisation des sédiments ou la protection du trait de côte (mangroves, herbiers, platiers...).

Moyens matériels disponibles

Moyens de prélèvement en mer (matériel de plongée, bennes)

Matériel optique (loupes binoculaires)

Moyens matériels nécessaires

Matériel informatique Power Mac et logiciels

Petit matériel, entretien et frais d'expédition pour les échantillons devant être identifiés à l'extérieur.

8.3. Métabolisme benthique

Actions de Recherche

Les actions de recherche reposent exclusivement sur la mesure des flux à l'interface eau-sédiment. L'établissement de bilans des échanges en terme de carbone d'azote et de phosphore à l'interface eau-sédiment permet de déterminer les flux résultants et d'évaluer le contrôle exercé par ces flux sur la production primaire en zone côtière.

Une première action de recherche utilisera les moyens de mesure et l'expertise existant au sein de l'UR 16 dans le domaine de la mesure *in-situ*. Les flux métaboliques seront mesurés dans les sites proches de la côte n'ayant pas encore été échantillonnés et correspondant à des environnements et des biocénoses caractéristiques. Les paramètres mesurés dans les enceintes de confinement (surface 0,2 m²) installées dans le milieu seront les suivants :

- Evolution de la concentration en oxygène dissous, rend compte du métabolisme aérobie (sondes O₂).
- Evolution du pH et de l'alcalinité totale, rend compte de la cinétique du CO₂ (électrodes pH).
- Evolution des concentrations en nutriments inorganiques (analyse chimique d'échantillons d'eau).
- Evolution des concentrations en C, N et P organiques (idem).

A partir des résultats obtenus il est possible de calculer le métabolisme total, l'importance respective des métabolismes aérobie et anaérobie et la dynamique des échanges de nutriments inorganiques et organiques à l'interface eau-sédiment.

Une deuxième action de recherche sera développée pour prendre en compte les fonds côtiers vaseux où la turbidité et la salubrité du milieu rendent les manipulations en plongée impossible. Nous utiliserons alors la technique du confinement sur des carottes sédimentaires prélevées sur site et. Cette technique sera mise en oeuvre en collaboration avec l'équipe de Marseille (C. Grenz) qui maîtrise les techniques et dispose des outils. Les paramètres mesurés sont les mêmes que précédemment. Selon l'état d'avancement du programme de collaboration des mesures de dénitrification pourraient être intégrées dans cette action.

Enfin les résultats obtenus dans le cadre de ce travail seront associés aux résultats des autres actions de recherche des différents domaines pour alimenter le modèle de fonctionnement biogéochimique décrit dans l'action 1. Cette modélisation couplée à la modélisation hydrodynamique fournira une information synthétique sur les équilibres entre les biotopes et les biocénoses. De plus, la possibilité de modifier certains paramètres du modèle en fait un outil prédictif permettant de déterminer l'évolution probable de l'écosystème côtier en réponse à une modification du milieu. La valorisation tant scientifique que publique de cette action de recherche constituera un aboutissement pour l'ensemble du programme.

Moyens matériels disponibles

Enceintes de confinement claires et obscures
Datalogger immergeable
Sondes oxygène immergeables
Electrodes pH immergeables
Capteur lumière plan immergeable
Facilités analytiques pour C, N et P comme mentionné pour l'action 1
Moyens de calcul comme mentionné pour l'action 1

Moyens matériels nécessaires

Révision et entretien du matériel
Carottier type Box-core (h = 1,2 m, $\varnothing = 50 \text{ cm}^2$)

Participants potentiels

ORSTOM : Fichez R. (métabolisme), Clavier J. (macrofaune et métabolisme), Garrigue C. (métabolisme et macrophytes), Richer de Forges B. (macrofaune).

USP : Newell P., (macrofaune - polychètes), South R. (macroalgues).

Assistance technique : Bargibant (plongée, comptages), Hamel (plongée, comptages), Di Mattéo (tri faunistique), Menou J.L. (plongée, comptages), Panché (électronique).

Etudiant : Bujan S. (métabolisme, ORSTOM-Univ. Aix-Marseille II)

Collaborations nationales : Boucher G. (métabolisme, CNRS/MNHN),

Collaboration internationales : Bailey-Brock J. (systématique annélides, Univ. Hawaii), Klumpp D. (métabolisme benthique, AIM Australie), Lowry J.K. (amphipodes et ostracodes, Museum Sydney),

Maragos J. (gestion du milieu, East-West Center Hawaii), Smith C. (production benthique, Univ. Hawaii).

9. FICHE-ACTION 5 : PEUPELEMENTS DE POISSONS

Les poissons sont souvent la principale ressource renouvelable des eaux littorales et les altérations des peuplements sont souvent perçus de façon aiguë par les populations côtières. Les peuplements de poissons peuvent subir directement les influences des effets anthropiques (pêche, pollution, changement de l'habitat, etc.). De plus, les poissons utilisent de nombreux maillons du réseau trophique, et sont donc sensibles aux perturbations que subissent ces maillons.

Les poissons lagunaires et récifaux peuvent se scinder en quatre grandes communautés : les poissons de rivage (mangroves, estuaires, plages ...), les poissons de fonds de lagon, les poissons de récifs et les poissons pélagiques. Malgré une relative indépendance dans le fonctionnement de ces communautés il est possible de les organiser en « compartiments structurels ». Pour cela on détermine plusieurs structures (trophique, démographique, taille, etc.) chaque compartiment correspondant alors à une combinaison des différents paramètres structurels. La communauté peut donc être considérée sous l'aspect d'un assemblage de compartiments ayant une plus ou moins grande inertie face aux influences terrigènes et anthropiques.

9.1. Analyse des données historiques

Actions de Recherche

L'ORSTOM a échantillonné entre 1985 et 1995 plus d'une centaine de stations en milieu littoral en Nouvelle Calédonie. Ces données n'ont jamais fait l'objet d'une analyse orientée en fonctions des effets des apports terrigènes et anthropiques. Il serait donc envisageable, en déployant un effort relativement modeste principalement de recherche et de traitement des données d'extraire les informations existantes sur les effets de l'urbanisation et de l'exploitation minière sur les peuplements de poisson.

Les stations échantillonnées seraient classées en un nombre restreint de catégories d'influence à partir de certains critères quantitatifs (distance à la côte, densité de population littorale, surface des bassins versant, etc.). Pour chaque classe de station ainsi définie on estimerait :

- La richesse spécifique
- La densité et la biomasse
- La structure trophique
- Les stratégies démographiques
- La structure de taille

Une analyse des corrélations entre ces paramètres de peuplement et les différentes catégories d'influence devrait permettre de mettre en évidence l'existence d'un effet structurant de l'environnement sur le peuplement. Ceci constituerait donc un outil de diagnostic pouvant être utilisé pour une mise en évidence a posteriori d'une perturbation, pour une prévision de l'évolution du peuplement correspondant à tel ou tel type de modification du milieu, pour la mise en évidence des principaux agents perturbateurs vis à vis des peuplements de poisson. Enfin, à partir de l'étude basée sur les données acquises sur la Nouvelle Calédonie, les capacités d'adaptation de l'outil de diagnostic sur le site de Fidji, biogéographiquement assez semblable en ce qui concerne les poissons, seront analysées. Cette dernière étape sera largement facilitée par l'acquisition de données nouvelles dans le cadre de l'action suivante.

Moyens matériels disponibles

Les données et les outils de traitement sont déjà disponibles

Moyens matériels nécessaires

Les besoins concernent principalement le financement d'un agent contractuel

9.2. Ichtyofaune des Herbiers et Algueraies

Actions de Recherche

Les herbiers et algueraies couvrent une importante surface de la zone littorale peu profonde et sont donc au voisinage direct des sources d'apports terrigènes et anthropiques. Contrairement à la plupart des autres milieux côtiers, leur ichtyofaune a rarement été étudiée dans le Pacifique sud. Les quelques données disponibles et la littérature suggèrent pourtant que de nombreuses espèces commerciales y résident comme juvéniles.

Une première action de recherche sera menée sur le site de Nouméa. Quatre zones d'herbier et deux zones d'algueraie seront sélectionnées le long du littoral de la zone urbaine. Ces stations seront choisies en fonction des résultats préliminaires sur les caractéristiques des eaux, des sédiments et des peuplements benthiques. Les poissons seront échantillonnés par des comptages en plongée tous les mois durant un an en parallèle avec les autres actions de recherche. Du fait de la lourdeur de l'échantillonnage nécessaire transfert de cette action sur Suva sera envisagée à la lumière des résultats obtenus et en fonction des potentialités de recherche de nos partenaires fidjiens.

Une seconde action de recherche pourra être menée sur les sites de Nouméa et de Suva. Sur chaque site une vingtaine de stations seront échantillonnées ponctuellement sur une grille spatiale étendue entourant les zones urbaines et estuariennes. Dans ces cas les échantillonnages seront effectués par comptage en plongée puis par pêche (filet maillant et roténone).

Dans les deux cas les paramètres pris en compte seront :

- la richesse spécifique ;
- la densité et la biomasse ;
- la structure trophique ;
- les stratégies démographiques ;
- la structure de taille ;
- la nature du substrat

Le suivi temporel sur les stations de la première action permettra de mettre en évidence la dynamique du recrutement en juvéniles et donc de déterminer l'importance effective de ces milieux pour le cycle biologique des espèces de poissons d'intérêt commercial. L'analyse de la répartition spatiale de l'ichtyofaune sur l'ensemble des stations sera combinée avec celle des caractéristiques de milieu pour rechercher d'éventuelles corrélations. Ces résultats permettront de déterminer la nature et l'importance des modifications de condition de milieu sur les structures démographique et trophique des peuplements avec une attention toute particulière en ce qui concerne le recrutement.

Moyens matériels disponibles

Matériel de prélèvement et de plongée

Moyens matériels nécessaires

Équipement informatique pour traitement des données

9.3. Poissons éco-indicateurs

Actions de Recherche

Les poissons ont été déjà utilisés de nombreuses fois comme bioindicateurs en milieu corallien. Les travaux existant démontrent que pour mettre en évidence des effets à court terme il est nécessaire de travailler sur des espèces sensibles et présentant une faible mobilité et d'utiliser des techniques d'investigation plus performantes que les classiques analyses de densité et de richesse spécifique. Plusieurs familles peuvent être considérées, en particulier les Gobiidae, les Blenniidae et les Trypterigiidae. Il s'agit de poissons benthiques, sédentaires, de petite taille et présentant des cycles

biologiques courts. La faune benthique de petite taille et les microalgues qu'ils consomment sont étroitement liées aux apports terrigènes et anthropiques (flux vertical particulaire, éclaircissement, échanges à l'interface eau-sédiment, etc.). De plus, l'absence d'intérêt commercial pour ces espèces permet de négliger l'impact de la surexploitation du stock qui constitue pour la plupart des autres espèces un paramètre supplémentaire en terme de pression anthropique.

D'un point de vue pratique il est impossible d'échantillonner ces espèces en plongée, la seule technique fiable étant l'empoisonnement (échantillonnage non répétitif). Sur des sites choisis en fonction des conditions de milieu un grand nombre de stations de petite taille (maximum 20 m²) sera échantillonné par empoisonnement à la rotenone. Les poissons récoltés seront classés en fonction de critères biologiques et écologiques (taille, alimentation, comportement alimentaire et social, etc.).

Cette étude permettra de mettre en évidence l'évolution des caractéristiques écologiques des poissons cryptiques en fonction des conditions de milieu. Les espèces considérées ayant une durée de vie relativement courte ils constitueront des éco-indicateurs ayant un pouvoir de réaction à court terme. Cette approche par critère écologique permettra de contourner, au moins partiellement, les problèmes de taxonomie souvent majeurs en milieu tropical. A terme les résultats obtenus pourront être valorisés sous la forme d'un outil de diagnostic économique en terme d'investissement et de formation pouvant être utiliser pour caractériser tel ou tel type de perturbation ou de suivre l'évolution dans le temps de l'équilibre du milieu.

Moyens matériels disponibles

Matériel de prélèvement et de plongée

Moyens matériels nécessaires

Petit matériel, entretien, conditionnement et expédition

Frais d'analyse

Cette action nécessitera également des moyens sous la forme d'un poste d'accueil pour un chercheur (USA)

Participants potentiels

ORSTOM : Kulbicki M. (Ichtyofaune), Mou Tan (Ichtyofaune)

USP : pas de partenaire identifié

Assistance technique : Bargibant (plongée, comptages), Hamel (plongée, comptages), Di Mattéo (tri faunistique).

Etudiant : Rossier O. (herbiers & algueraies, ORSTOM-Univ. de Genève)

Collaborations nationales : Harmelin-Vivien M. (COM, Marseille),

Collaboration internationales : Greenfield D. (bioindicateurs, Univ. Hawaii USA).