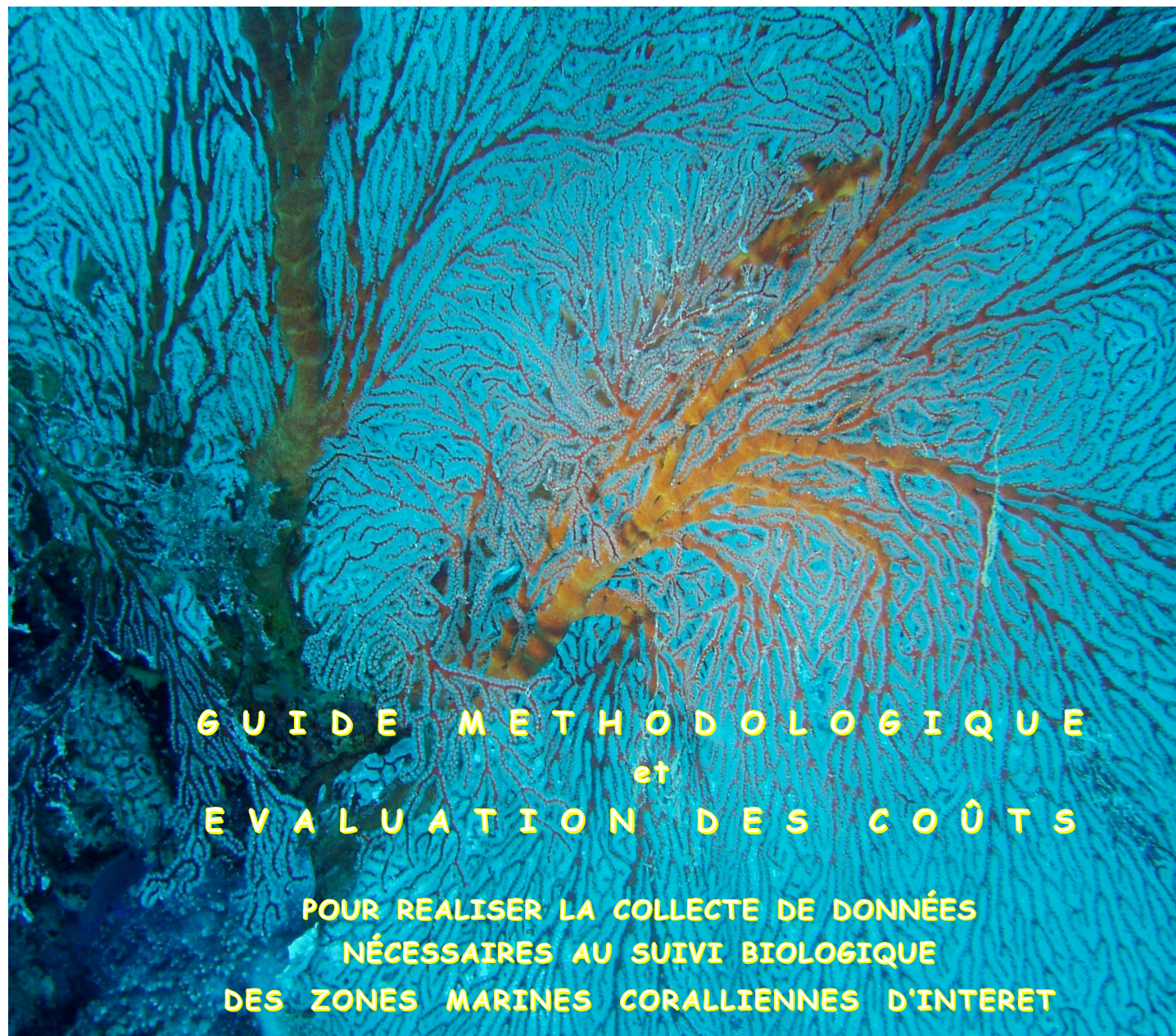


I . F . R . E . C . O . R

UNIVERSITE DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE
LABORATOIRE D'ÉTUDES DES RESSOURCES VIVANTES ET DE L'ENVIRONNEMENT MARIN



GUIDE METHODOLOGIQUE
et
EVALUATION DES COÛTS

POUR REALISER LA COLLECTE DE DONNÉES
NÉCESSAIRES AU SUIVI BIOLOGIQUE
DES ZONES MARINES CORALLIENNES D'INTERET

Par Claude CHAUVET

Fait le 26 juin 2006

*Document réalisé pour l'IFRECOR dans le cadre du
Classement du milieu récifal au Patrimoine Mondial de l'Humanité*

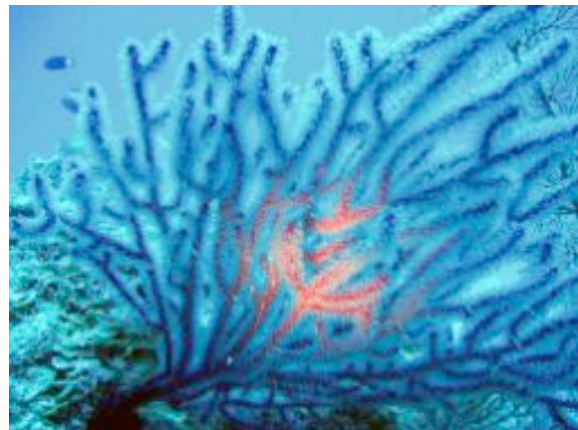
PROLEGOMENE

La Nouvelle-Calédonie a adopté depuis près de 20 ans un ensemble de mesures de protection du milieu récifo-lagonaire¹. Grâce à ces efforts, l'archipel présente un ensemble récifo-lagonaire d'une exceptionnelle beauté. Fort de cet atout, la Nouvelle-Calédonie est actuellement dans une dynamique qui devrait aboutir au classement par l'UNESCO au Patrimoine Mondial de certaines zones récifales et lagonaires considérées comme remarquables à l'échelle planétaire.

Objet de la convention :

Le comité local de l'IFRECOR charge le Professeur Claude Chauvet, directeur du laboratoire de biologie marine de l'Université de la Nouvelle-Calédonie d'entreprendre l'élaboration d'un guide méthodologique listant les protocoles, les mesures et relevés nécessaires à la description initiale du patrimoine environnemental corallien et à son suivi.

Le guide listera de manière exhaustive les interrogations nécessaires et suffisantes que posent chacun des cas de chacune des étapes. Il donnera les méthodes de terrain et de traitement pour obtenir les éléments de réponses aux questions que se posent les garants des biens classés. Il précisera les coûts des moyens de chacune des méthodes proposées. Il indiquera également les sites sur lesquels ces méthodes sont à mettre en œuvre.



Le guide proposera une méthode de description des biens et donnera un ordre de grandeur des coûts.. Etant donné l'étendue du bien, cette méthode devra être cadrée pour être financièrement raisonnable.

Le suivi, conformément aux exigences de l'UNESCO, doit permettre d'évaluer le réel maintien de l'intégrité du patrimoine classé, et d'identifier les signaux d'alerte d'un déséquilibre persistant du milieu.

Les préoccupations sont donc différentes de celles qui sont rencontrées lors du suivi d'une aire marine protégée ou lors du suivi d'une zone possiblement impactée par les pollutions d'une activité humaine. Il s'agit en effet de vérifier que le bien reste identique à lui-même par rapport aux critères qui ont justifié son classement.

¹ Restrictions temporelles et spatiales (AMP) de pêche, sites classés, espèces protégées, quotas de captures, tailles limites, ...

Résumé

du guide méthodologique et de l'évaluation des coûts pour réaliser la collecte des données nécessaire au suivi biologique des zones marines d'intérêt en Nouvelle-Calédonie

Ce document a été réalisé pour estimer *a priori* le budget nécessaire au suivi du Bien corallien que la Nouvelle-Calédonie propose au classement au patrimoine mondiale de l'humanité (UNESCO)

• Travaux et Méthodes

Il y est proposé de suivre

A – sur les parties coralliennes éloignées, barrières, intermédiaires et frangeantes des récifs.

1. la couverture corallienne par la méthode d'observation *in situ* de Dahl (1982)², transformée par Clua, Legendre et al (2006)³, méthode dite MSA (*Medium Scale Approach*) ;
2. par une méthode d'observation *in situ* "la diversité β " des populations de poissons des récifs (Legendre et McArdle, 1997⁴; Legendre et al, 2005)⁵.

Le rythme du suivi sera fonction de la fréquentation humaine.

B – sur les parties non coralliennes côtières

3. la densité et la surface des mangroves par *imagerie* satellitaire ;
4. la densité et la surface des herbiers par *imagerie* satellitaire.

Quelques parties des zones « tampons » seront suivies de la même manière. Ce sont les zones tampons qui séparent certaines parties du Bien de sources polluantes possibles déjà identifiées:

- ⇒ dans le sud, la zone de Goro et la partie du lagon entre l'île Ouen et le récif Kué
- ⇒ dans le nord la zone de Koumac.

En plus des investigations proposées aux points 1 à 4, dans ces zones tampons, la santé du corail et la concentration en métaux dans le milieu pourra être suivie par des techniques de microdosages par *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICPMS et ICP AES) sur les otolithes de poissons.

C – la pêche

5. une aide aux *enquêtes* de pêche et l'analyse des fiches de pêche sera apportée aux Provinces S et N;

D – les espèces emblématiques

6. des *enquêtes* seront menées et un soutien aux études des mammifères et des reptiles sera apporté.

• Financement

Pour réaliser ce travail il faut une équipe de 3 ou 4 personnes selon que l'on retiendra ou non les stations côtières "corail" et "poissons". Deux ou trois personnes de niveau bac+2. Elles seront plongeurs et sauront se servir d'un ordinateur. Une personne de niveau bac+5. Elle sera plongeur et informaticienne. Compte tenu du nombre de points d'observation et du travail d'analyse, d'enquête et de traitement d'image, cette équipe sera employée à temps plein et réalisera le suivi intégral en deux à quatre ans selon les thèmes. L'équipement de cette équipe est estimée à 8.000.000 Fxp renouvelable tous les 5 ans. Les salaires sont estimés à 16.900.000 Fxp ou 20.000.000 Fxp charges comprises, auxquels il faudra sans doute ajouter les frais de missions de terrain, soit environ 4.000.000 Fxp. Les frais annuels de fonctionnement sont estimés à 5.000.000 Fxp auxquels il faut ajouter 2.000.000 Fxp pour l'amortissement du matériel.

Le budget annuel à prévoir est voisin de 27.500.000 Fxp ou de 29.730.000 Fxp avec 4 personnes.

C'est la voie la plus économique permettant un travail de qualité. Ceci est dû au fait de l'expérience acquise par le groupe en charge de l'opération de suivi. Une périodicité plus longue du suivi des zones ne réduirait que les frais de missions et ne produirait que de faibles économies. Une tentative de réduction plus importante, portant par exemple sur le nombre de points ou sur les thèmes suivis, obligerait alors à passer par des bureaux d'étude. La facturation deviendrait alors considérablement plus élevée pour un travail de moindre qualité.

² Dahl A. L. (1982) Coral Reef Monitoring Handbook. Meeting on Coral Reef Monitoring August 1978. ed SPC 20p

³ Clua E., P. Legendre, L. Vigliola, F. Magron, M. Kulbicki, S. Sarramegna, P. Labrosse, R. Galzin (2006) Medium Scale Approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. *Journal of Experimental Marine Biology And Ecology*. 333 : 219-30

⁴ Legendre, P. & B.H. McArdle. 1997. Comparison of surfaces. *Oceanologica Acta* 20 (1): 27-41. l'étude de la diversité β consiste à étudier la stabilité de la diversité spécifique (α) par l'étude de la variance spatiale et temporelle de cette diversité.

⁵ Legendre P., D. Borcard and Peres-Neto R.P. (2005) Analysing Beta Diversity : *Ecological Monographs*, 75 (4) :435-50

PRINCIPE DE LA PROPOSITION

Le suivi environnemental proposé, utilise différentes techniques. Leurs points communs sont leur simplicité et leur rapidité tout en permettant une précision autorisant les comparaisons. Ces points sont les contraintes de l'exercice.

Les contraintes principales sont donc la simplicité au niveau des prélèvements et la simplicité au niveau des traitements de données permettant leur analyse. Le document donne les références bibliographiques des techniques choisies et les adresses e-mail des personnes ressources au cas où des signaux alarmants seraient détectés et qu'il faille alors, pousser plus au fond les investigations.

Il doit être dit clairement qu'il ne s'agit pas ici de la mise en place d'un programme de recherche, mais bien de suivre l'état de santé d'un Bien corallien pour déceler les moindres signes de changement qui pourraient apparaître. Ce bien corallien a en effet été présenté comme exceptionnel pour sa biodiversité et sa beauté.

Les techniques de prélèvements et de relevés de données sont modernes et se réfèrent à de récentes publications. Elles sont en harmonie avec les contraintes de la plongée sub-aquatique, avec les réalités du lagon calédonien, avec les méthodes d'analyses statistiques, et compatibles avec les données issues des autres méthodes utilisées dans le monde. Il nous a paru en effet utile de faire en sorte que les données collectées soient utiles au réseau Reef Check et au GCRMN.

Critères retenus

Les caractéristiques qui font l'originalité du Bien sont (1) sa *biodiversité* importante, (2) le bon état des constructions coralliennes et (3) la bonne santé générale de l'écosystème. Le suivi portera donc sur ces points.

Les critères "poissons" (indice d'abondance, indice de biomasse, structure de peuplement...) sont classiquement étudiés ou estimés par des méthodes de comptages *in situ* onéreuses et cadrant mal avec la philosophie de l'exercice. En 2001, les recherches sur l'utilisation des poissons comme « indicateurs biologiques » n'ont pas encore abouti et la communauté scientifique ne sait encore pas proposer de techniques robustes et informatives qui puisse les prendre en compte.

Cependant, la communauté des poissons en tant que telle est un élément important de cet écosystème. Ce groupe est d'une diversité extrême en milieu corallien. C'est pour les poissons, la plus forte de la planète. Les poissons étant au sommet des chaînes alimentaires, la stabilité de leur bio-diversité dépend entre autre chose, de la stabilité des groupes inférieurs de cette pyramide alimentaire. La méthode de suivi propose donc de suivre un indice qui renseigne sur la stabilité de cette biodiversité ichthyologique: la *diversité β* . Par ce qu'il est calculé sur les poissons, cet indice est donc proposé comme un *indicateur global et suffisant* qui rendra compte de l'état de la biodiversité en général.

La diversité des *substrats* est également une caractéristique du Bien. L'état des substrats, plus que toute mesure physico-chimique ponctuelle, intègre l'histoire environnementale du Bien. Les variations de structure et de nature des substrats sont révélatrices des facteurs de l'environnement qui le contraignent.

En plus des zones coralliennes construites, les herbiers et les mangroves sont les substrats les plus importants. Ces trois types de substrats correspondent à des écosystèmes à part entière bien qu'ils soient interdépendants dans l'écosystème récifo-lagonaire. Aussi, compte tenu de leur importance dans le fonctionnement global et compte tenu de leur sensibilité, nous pensons que leur seul suivi servira d'indicateur de bonne santé du milieu subaquatique récifo-lagonaire tout entier. Les herbiers pour le domaine côtier, les mangroves pour le domaine littoral et les coraux pour les parties centrales du lagon et le récif barrière. Il est à noter que dans le même temps nécessaire au suivi de la couverture corallienne, la diversité corallienne pourra également être suivie.

Ainsi et afin de minorer les coûts, il est proposé de suivre des critères différents dans les différentes zones (zones côtières et zones lagunaires).

- ⇒ Pour la partie distale du lagon (et notamment la MIS et la MIN) : les substrats coralliens, et les poissons
- ⇒ Pour la partie côtière du lagon : les herbiers et les mangroves.

A ceci il est proposé d'ajouter

- ⇒ le suivi des espèces emblématiques.
- ⇒ le suivi des activités halieutiques
- ⇒ et la recherche des métaux lourds dans les chairs de poissons dans certaines zones tampons.

Découpage du Bien:

Afin de mieux cerner l'évaluation financière nous procéderons à un découpage du Bien.

Premières subdivisions: les sous-parties

Le problème à résoudre est l'optimisation du rapport qualité/prix. Cela demande d'organiser le Bien par un découpage spatial. Ainsi qu'un choix de méthodes de terrain qui soit en adéquation avec les attendus, notamment avec la précision nécessaire aux comparaisons. En d'autres termes il faut maintenir un niveau suffisant du point de vue informatif tout en restant raisonnable du point de vue financier. Si ce point n'est pas bien résolu, le coût du suivi prendra facilement des proportions importantes compte tenu de la taille du Bien.

Une première stratification (ou découpage) des parties du Bien est proposée sur des bases océanologiques et géomorphologiques. On proposera ainsi quatre sous-parties à la MIS : une sous-partie ouest, elle-même divisée en deux, une sous-partie ouest nord, une est et une sud. Deux sous-parties à la partie Bourail-La Foa : une nord (Poé-la baie de la Roche percée) et une sud (Nessadiou-Ouano) chacune divisée en deux (récif barrière et côte). Cinq sous-parties à la MIN: le Recif des Français, le Récif de Cook, le sud-ouest, le centre-sud et le sud-est, les 3 dernières elles-mêmes divisées en 2; puis 2 sous-parties à l'archipel D'Entrecasteaux (Surprise et Huon) ; enfin 3 sous-parties aux îles Loyauté ; Ouvéa-sud, Ouvéa-nord et Beautemps-Beauprès, la seconde étant elle-même divisée en deux puisqu'elle contient une belle mangrove. Soit 23 sous-parties présentant chacune une certaine homogénéité océanologique et géomorphologique.

A ces parties du Bien nous ajouterons le suivi des quelques zones tampons qui séparent le Bien de sources de pollutions possibles. Ce sont dans le sud la Baie Kwé et le lagon de Goro, dans le nord la zone au nord de Koumac, elle-même divisée en deux. Soit quatre sous-parties supplémentaires ce qui porte à 27 le nombre des sous-parties du Bien qu'il faudra suivre.

La zone

- Définition:

Il convient maintenant de définir un niveau inférieur d'approche : les *zones* d'intervention. Les sites où concrètement les opérateurs devront se rendre. La « zone » est donc le lieu d'application des méthodes de suivi.

La *zone* est un espace entièrement compris à l'intérieur de l'unité biocénotique à décrire, comme par exemple une pente interne à Porites en boules ou une zone à Acropora branchus... Des zones comme celles qui sont citées en exemple comprennent classiquement des éléments d'hétérogénéité comme des surfaces de sédiments meubles, des herbiers, des algueraies,...etc. Nous verrons que cette hétérogénéité est un élément de la puissance des tests et qu'elle doit être prise en compte pour minorer les coûts. L'unité morphologique peut cependant correspondre à une unité biocénotique très homogène comme une crête récifale ou un champ d'Acropora.

La désignation des zones peut être aidée par l'imagerie satellitaire.

- Nombre:

A macro échelle spatiale, le suivi va se faire sur des *zones* désignées par un protocole d'échantillonnage dit « stratifié à choix raisonné ». Chaque *zone* sera désignée de manière définitive. Elle sera choisie en premier

lieu en fonction de sa pertinence à représenter le Bien ou l'un de ses aspects et en deuxième lieu en fonction de sa facilité d'accès ainsi que sa facilité à y travailler notamment les jours de forts alizés. Plusieurs *zones* seront choisies dans chaque sous-partie du Bien. Elles seront plus nombreuses dans les sous-parties les plus grandes ou dans celles qui sont les plus hétérogènes à large échelle géomorphologique. (MIS et MIN par exemple)

- Taille

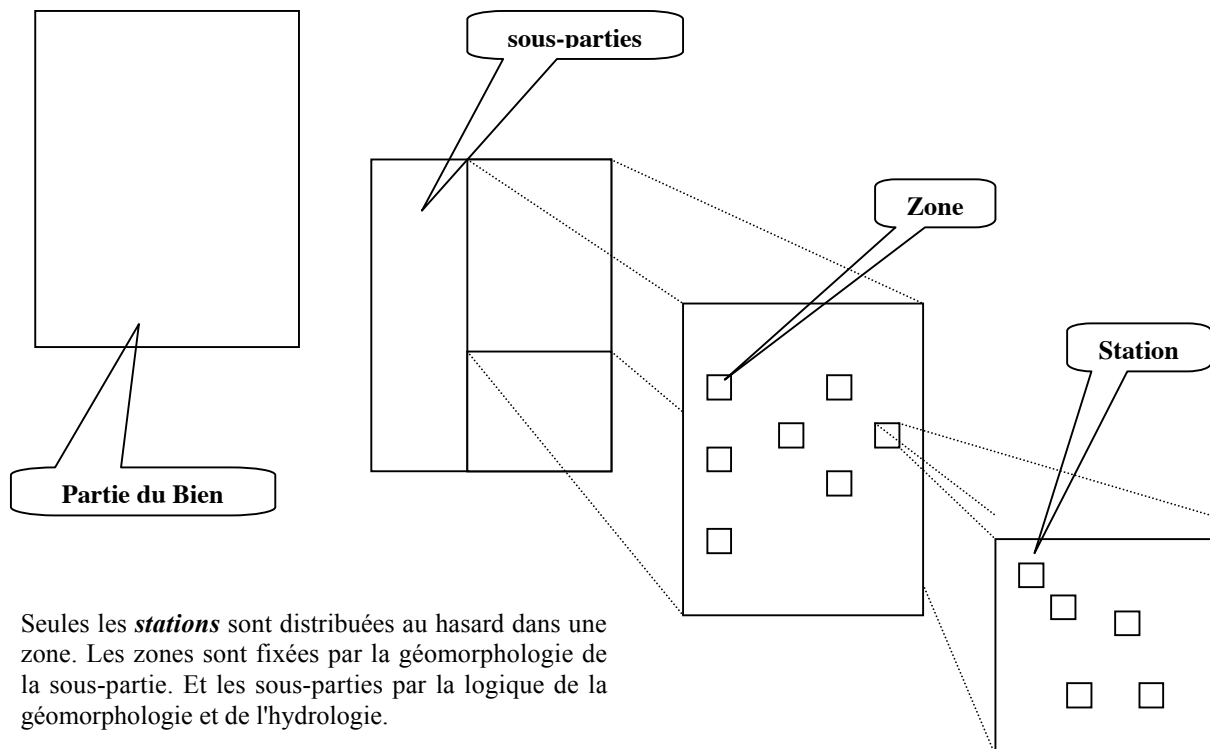
La taille de la *zone* dépendra de son hétérogénéité intrinsèque et de la taille des éléments à échantillonner. De cette manière, la taille des *zones* peut comprendre un bloc récifal de plusieurs hectares, comme dans la MIS par exemple ou comme dans le cas d'un tombant de récif barrière. Elle peut être beaucoup plus petite, moins d'1 ha, ou quelques centaines de m², comme dans le cas d'un herbier très homogène.

Les limites de la *zone* sont repérées au GPS. L'imagerie aérienne et satellitaire sera un complément utile.

Les stations

Les *zones* contiendront les stations au nombre de 3 ou 4 voire 5, constituant chacune un réplicat intra-*zone*. Bien que limitée, cette stratification portera malgré tout à près de 150 le nombre de zones à visiter et sans doute à plus de 600 le nombre de stations. Après les premiers résultats d'analyse ce nombre pourra être modifié.

Le nombre de stations à effectuer dans une *zone* est directement lié au coût du suivi et à la puissance des tests. Ce point est à prendre en compte pour le choix des zones car le nombre de relevés à effectuer est fonction localement de la valeur initiale du critère suivi (la couverture en corail vivant par exemple). Pour une sensibilité des tests de comparaison égale, l'effort ne sera pas identique selon que la couverture corallienne initiale est forte, faible ou moyenne⁶. Par voie de conséquence la diversité dans le choix des stations à échantillonner sur *zone* et leur taille sont à prendre en compte.



Seules les **stations** sont distribuées au hasard dans une zone. Les zones sont fixées par la géomorphologie de la sous-partie. Et les sous-parties par la logique de la géomorphologie et de l'hydrologie.

⁶ On peut montrer mais intuitivement on comprend qu'il ne faille pas beaucoup d'effort pour montrer qu'une zone couverte à 100 % (ou à 0%) a changée, alors qu'il sera plus difficile d'apprécier un même changement si la zone au départ est couverte à 30 % par exemple.

LES METHODES

Les relevés par des méthodes visuelles en plongée:

CORAUX, POISSONS

Les méthodes visuelles réalisées en plongée sont les moins mauvaises méthodes d'investigation (Annexe II). Elles ont, de plus, l'avantage d'être relativement bon marché. Cependant, plus que pour tout autre mode de relevés, les relevés faits par méthodes visuelles en plongée sont susceptibles d'être lourdement biaisés. Au risque de faire apparaître des différences ou des fluctuations artéfactuelles il est nécessaire que le mode opératoire et les critères choisis ne puissent être sensibles ni aux contingences, ni aux différentes aptitudes à la plongée des opérateurs, mais aux seules variations de l'environnement.



L'imagerie satellitaire:

HERBIERS, MANGROVES

L'imagerie satellitaire est une méthode de cartographie de plus en plus employée. Elle a l'avantage de coûter moins chère en budget consolidé que les méthodes traditionnelles de relevés de terrain. En revanche, en milieu marin, elle est limitée aux faibles profondeurs. Elle trouve donc sa place dans l'étude des zones côtières. L'interprétation des images passe toutefois par une nécessaire visite de terrain qui alourdit sensiblement les coûts.

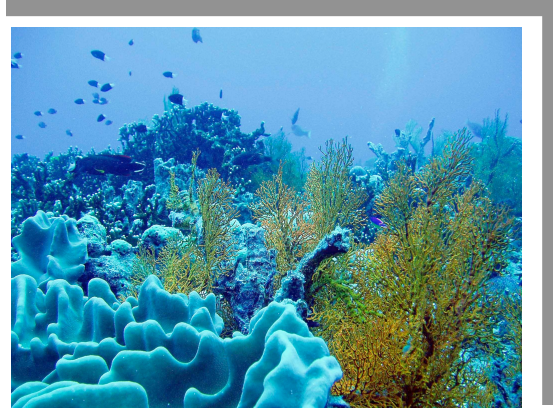


L'imagerie aérienne:

L'imagerie aérienne est un outil plus cher que l'imagerie satellitaire. Elle est également plus lourde d'utilisation mais donne plus de détails et donc de précisions aux interprétations. Elle n'est pas envisagée ici.

Les zones coralliennes

Les zones coralliennes constituent le point focal du Bien à classer. Tous les autres biotopes et toutes les communautés biologiques du Bien sont sous la dépendance du corail. La stabilité de la couverture en corail vivant, la stabilité de la diversité des familles coralliennes traduisent la bonne santé du corail et par voie de conséquence celle du milieu tout entier.



Le critère principal retenu est donc le taux de couverture en corail vivant. Toutefois, comme toutes les espèces (ou familles) coralliennes n'ont pas la même signification écologique, on adjoindra au taux en corail vivant, la diversité des familles. Dans l'état actuel de nos connaissances sur l'écologie des coraux, le niveau spécifique n'a pas beaucoup d'intérêt dans un monitoring et coûterait très cher en frais de détermination. On repèrera au minimum les Acroporidés, les Poritidés et les Pocilloporidés, puis secondairement les autres familles. Les Acroporidés forment des paysages plastiques. Leur sensibilité aux accidents environnementaux est grande. Ils meurent et repoussent rapidement. A l'inverse, les Poritidés sont plus résilients. Leur éventuel déclin constituerait le signal d'une perturbation lourde. En effet, leur durée de vie pluri-centenaire s'accompagne d'une croissance lente et d'une mortalité naturelle faible. Chaque famille d'espèces coralliennes correspond donc à un signal particulier réagissant plus ou moins rapidement à des problèmes environnementaux plus ou moins graves.

D'autres informations sont classiquement recherchées comme la forme et les structures de tailles des colonies ainsi que le recrutement de nouvelles pousses.

Les structures de tailles servent aux études sur la dynamique des populations de coraux et ne sont donc pas dans la ligne de l'objectif visé.

Le Recrutement est sans doute plus heuristique dans le cadre de la présente problématique. Le suivi du recrutement n'est pas très onéreux et pourrait être joint au protocole. Il s'agit d'immerger des carreaux de carrelage en terre cuite et de les relever périodiquement.

Protocole pour le suivi des zones coralliennes

Taux de couverture en coraux vivants

La méthode proposée est différente de la méthode *Reef Check*⁷ mais procure toutefois des données qui s'harmonisent avec cette dernière (i.e. les données obtenues pourront servir à remplir les fiches *Reef check*). Il est en effet important de participer à l'effort international de suivi des récifs coralliens de la planète, mais il est également important d'avoir localement un suivi heuristique.

Les zones coralliennes devant faire l'objet d'un suivi seront choisies en nombre et en situation de manière raisonnée, dans chacune des parties du Bien en série. Les parties coralliennes seront décrites à l'aide de surfaces (stations) positionnées de manière aléatoire dans une (ou plusieurs) zone. Le nombre de stations est déterminé par la diversité du site choisi et fixe ainsi la superficie de la zone à prendre en compte.

La prise des données :

Dans une zone choisie de manière raisonnée, des points seront placés aléatoirement et définitivement. Le meilleur choix, sous l'angle de vue rapport-qualité/prix portera sur une zone homogène de préférence très riche en corail⁸. Des piquets seront fixés à l'aide d'un socle en béton et repérés grâce à un GPS de précision (GPS

⁷ A l'échelle planétaire, le design de la méthode *Reef Check* en fait une méthode efficace, mais pour des raisons liées aux bases des statistiques elle ne l'est plus nécessairement à l'échelle locale. De plus la technique du Line Intersect Transect (LIT) sur transects fixes qu'elle préconise, est peu économe et laisse la place à de nombreux biais d'échantillonnage.

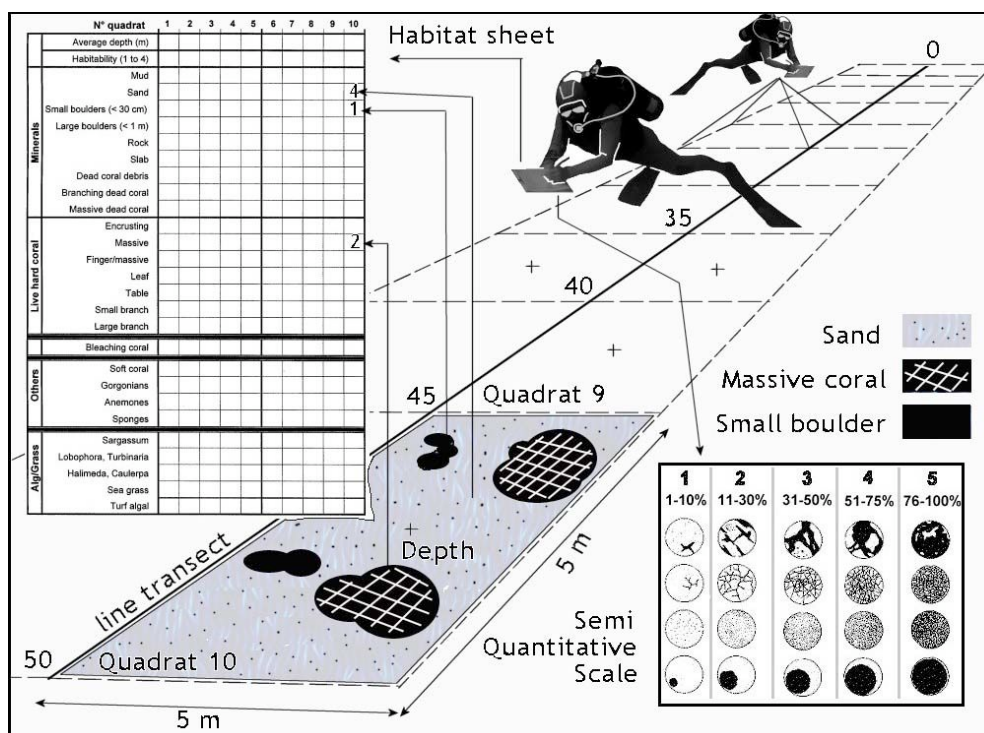
⁸ D'un point de vue statistique une zone très pauvre conviendrait aussi mais elle ne serait pas informative du point de vue biologique.

différentiel). Un fil d'ariane ou une signalétique particulière peuvent être placés pour faciliter les repérages futurs.

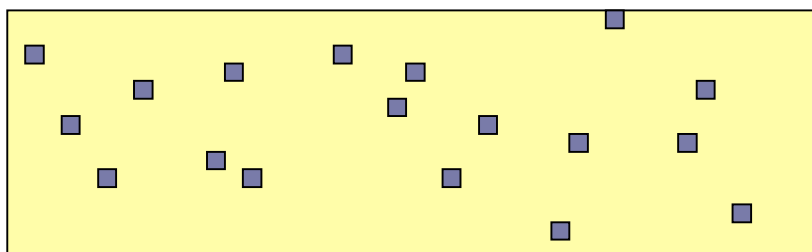
Le plongeur repère à l'œil (ou matérialise) une surface de 25 m² (5 x 5) et note en se servant des descripteurs Reef Check, les pourcentages de couverture spatiale des différents éléments coralliens ou non du substrat. Ces pourcentages sont estimés selon la méthode proposée par Dahl, (1982) modifiée par Clua *et al*, (2006). Cette méthode propose un codage selon des fourchettes de valeurs estimées. Avec le temps, les plongeurs seront de plus en plus expérimentés et pourront resserrer l'intervalle des fourchettes de valeurs et augmenter ainsi la précision des mesures.

Le corail vivant sera désigné par son nom de genre ou de famille. La nomenclature *Reef check* prévoit également les formes. Dans les faits, les relevés dans une zone n'utiliseront la plupart du temps qu'un nombre limité de descripteurs souvent 8 à 10 au maximum. Des photos et des vidéos peuvent utilement compléter le relevé chiffré.

Pour réaliser des économies, il sera préférable de choisir les stations corail près des stations poissons.



Quadrat de 25 m² et tableau des codes de couvertures (Dahl, 1982). La ligne de transect n'est pas nécessaire, mais peut servir de fil d'Ariane. Il est préférable de positionner les quadrats (stations) dans la zone sans lien entre eux, en se servant d'une méthode "au hasard".



Fiches de terrain. (La CPS dispose d'un logiciel de saisi pour ce type de fiche)

Campagne _____		Site _____		Sta. _____	
Lat. _____° _____' _____"		Long. _____° _____' _____"		J ____/____/20____ PI _____	

☐ atoll ☐ île		☐ lagon ☐ sans lagon ☐ pseudo lagon		☐ intérieur ☐ extérieur	
Zonation	☐ côte		☐ zone intermédiaire		☐ barrière
	☐ ordinaire ☐ estuaire		☐ récif immergé ☐ îlot		☐ récif ☐ hoa / chenal
	☐ baie ☐ chenal		☐ fond de lagon ☐ pinnacle		☐ passe ☐ motu
Zonation verticale		☐ intertidal ☐ platier ☐ tombant ☐ talus ☐ cuvette ☐ plaine			
Biotope (1 ou 2 rép.)	☐ fond induré		☐ pâte corallien		☐ champ corallien
	☐ fond détritique		☐ fond meuble		☐ herbier ☐ mangrove

Courant	☐ nul	☐ faible	☐ moyen	☐ fort	H début ____:____
Influence océanique	☐ faible	☐ moyenne	☐ forte		Visibilité ____ m

N° quadrat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Profondeur (m)											
Habitabilité (1 à 4)											
Minéral	Vase										
	Sable										
	Petits Blocs (< 30 cm)										
	Gros Blocs (< 1 m)										
	Roche										
	Dalle										
	Corail mort débris										
	Corail mort branchu										
Coraux vivants	Corail mort massif										
	Encroûtant										
	Massif										
	Digité / Submassif										
	Foliacé										
	Tabulaire										
Divers	Petites Branches										
	Grandes branches										
	Coraux mous										
	Anémones										
Algues / Phanéro.	Eponges										
	Autres : _____										
	Sargassum										
	Lobophora										
	Turbinaria										
	Caulerpa										
	Calcaires Encroût.										
	Halimeda										
Phanérogames											
Turf											

1=1-10% 2=11-30% 3=31-50%
4=51-75% 5=76-100%

1					
2					
3					
4					
5					

Coraux libres

Oursins *Diadema*

Oursins crayon

Autres oursins

Holothuries

Bénitiers

Trocas

Gorgones

Acanthaster planci

Investigations plus lourdes en cas d'un signal de diminution de la couverture en corail vivant

Dans le cas d'une diminution avérée de la couverture corallienne, les causes du problème peuvent être déjà connues si c'est par exemple l'action d'un cyclone ou une marée noire...etc. En revanche, si rien d'évident n'est à signaler, il faudra rechercher les causes dans des changements environnementaux moins visibles ou moins flagrants comme la présence de substances toxiques dans l'eau qui affecterait le fonctionnement des algues symbiotiques (zooxanthelles) par exemple.

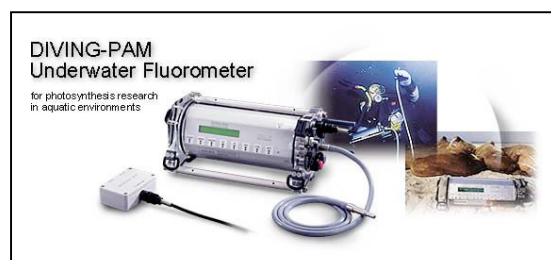
Il n'existe pas de méthode simple. Une méthode efficace consiste à mesurer la "réaction photosynthétique" des coraux par PAM (Pulse Amplitude Modulated Spectrometer). C'est la méthode la plus fiable et de plus très rapide. Elle s'adresse directement à un processus physiologique. Elle est utilisée au Musée Océanographique de Monaco pour mesurer l'état de santé des coraux dans les divers aquariums.

L'avantage, outre sa rapidité, est que le PAM fournit un "diagnostic précoce" bien avant qu'on ne puisse voir (à l'oeil) les dommages. L'inconvénient est que le PAM est sophistiqué et doit faire l'objet d'un apprentissage pour pouvoir le maîtriser. Une formation d'un an est nécessaire. Il existe d'autres méthodes, moins bonnes, plus compliquées, demandant plus de temps, telles, par exemple les mesures d'HSP (Heat Shock Protein). Là encore, les gens du Musée de Monaco (Centre Scientifique de Monaco/Université de Nice Sophia-Antipolis) sont des personnes ressources. L'équipe monégasque met également au point d'autres techniques, malheureusement destructives et qui utilisent la technique des "Bio marqueurs" avec différents index de dommages (péroxydation lipidique, carbonylation des protéines...). Ces tests sont biochimiques et nécessitent un laboratoire équipé, ce qui n'est pas le cas du PAM. Le Directeur de l'ensemble est le PR Denis Allemand⁹

On peut également (1) suivre l'évolution dans le temps de paramètres écophysiologiques telles que la production organique et la calcification. Mais ce sont des méthodes qui demandent du temps, un équipement spécialisé et une certaine expertise. Et qui de toute façon sont maintenant considérées comme un peu dépassées (*sic* PR Michel Pichon). (2) Mesurer l'importance du développement tissulaire (profondeur de pénétration dans le squelette). Mais ce n'est pas fiable, car il varie au sein d'une même espèce - c'est ce que les australiens ont montré notamment pour les Porites. Les variations sont en plus fonctions de paramètres du milieu comme la température. Dans le long terme, cette approche permet ainsi de se faire une idée des variations de la température des eaux, mais les résultats ne sont pas simples à interpréter.

En résumé, l'étude de l'état physiologique des coraux est une aide au diagnostic au cas où des problèmes seraient révélés par la méthode simple et routinière de l'évaluation du taux de couverture en corail vivant. L'état physiologique des polypes peut alors être révélé par l'état de santé des zooxanthelles symbiontes. Cela peut être fait grâce à la technique du P.A.M..

La technique du "PAM fluorimetry" est donc une technique intéressante et non destructive. Elle permet d'évaluer le fonctionnement des photosystèmes de la zooxanthelle. A Monaco, Denis Allemand, Christine Pagès et leurs collègues que l'on peut joindre également à l'adresse suivante : <ferrier@centrescientifique.mc>, l'utilisent de façon courante pour évaluer l'état de santé des coraux. Il existe des appareils étanches conçus pour être utilisés sous l'eau (voir photo ci-jointe). Le prix est cependant assez élevé.



⁹ <allemand@centrescientifique.mc>

Les Herbiers

Les herbiers de phanérogames jouent un rôle de premier plan dans le cycle de vie de nombreux organismes dont un nombre important d'espèces de poissons. Certaines espèces résident leur vie durant dans les herbiers, c'est le cas de certains Pomacentridés, de Labridés, de Léthrinidés..., d'autres, nombreux, comme beaucoup d'espèces d'intérêt commercial appartenant aux familles des Scaridés, Lethrinidés, Epinephelins et Acanthuridés, utilisent l'herbier comme nourricerie pour leurs juvéniles. Les herbiers à phanérogames sont donc à plus d'un titre, des indicateurs biologiques de la santé du lagon¹⁰. Leur (bon) état (maintien et développement) dépend à la fois de la qualité des eaux, de la qualité des sédiments, de l'hydrodynamisme et de tout facteur mécanique ou chimique qui pourrait affecter le milieu. On peut penser que les milieux littoraux puissent être les premiers à ressentir les nuisances d'origine anthropique, et, dans ces milieux littoraux les herbiers et les mangroves sont nos meilleures sentinelles.

Il y a plusieurs espèces de phanérogames et donc plusieurs types d'herbiers. Ils diffèrent en densité et en taille en fonction de l'espèce mais également en fonction de leur situation (avant plage, fond de lagon, au vent ou sous le vent des îlots...etc). La proposition est de limiter le suivi aux herbiers côtiers, c'est-à-dire à ceux qui sont visibles en imagerie satellitaires. Ce choix fait l'économie du suivi des herbiers des fonds de lagon qui ne peuvent se faire qu'en plongée. L'économie sera profitable notamment dans les MIS et MIN et sera mise à profit pour augmenter l'effort d'échantillonnage sur le suivi des poissons et des coraux. Nous proposons en revanche, de suivre en zone tampon, l'herbier de la baie Kwé et ceux de la zone nord ouest, au nord de Koumac qui sont les zones tampon les plus proches des futurs centres industriels du sud et du nord.

Deux critères renseignent sur l'état de santé des herbiers : leur *surface* et la *densité* des brins.¹¹

La surface de l'herbier

La surface des herbiers sera délimitée par imagerie satellitaire qui est performante dans les zones intertidales ou de faibles profondeurs. Elle ne permettra cependant pas l'économie de visites sur le terrain pour estimer la densité des brins. Après étalonnage, ce suivi de densité pourra se faire par imagerie.

Evaluation de la densité des brins d'herbe

La densité des pousses d'un herbier peut être évaluée par un comptage à l'intérieur de quadrat de 100 ou 400 cm² par exemple. On confectionnera pour cela un cadre-gabarit. L'opération sera renouvelée plusieurs fois le long d'un fil d'Ariane (ou transect) de manière à éviter les choix involontaires d'emplacements de la part de l'opérateur. Notons qu'à surface totale investiguée égale (c'est-à-dire à temps de plongée égal), il est préférable de multiplier « le nombre de fois où l'on compte » et d'utiliser des petites surfaces de comptage, plutôt que de réduire « le nombre de fois où l'on compte » et de travailler sur de plus grandes surfaces.

Le nombre de brins dénombrés sur une surface unitaire est une variable aléatoire susceptible de prendre différentes valeurs particulières x_i . Le résultat des différents dénombrements réalisés le long d'un ou de plusieurs transects sera ainsi une série aléatoire de n valeurs allant de x_1 à x_n . Contrairement au protocole proposé précédemment pour le corail, il s'agit dans ce cas d'une série statistique de valeurs paramétrées qui sera donc simplement caractérisée par sa moyenne et sa variance.

$$m_x = 1/n \sum x_i$$

$$\sigma^2 = 1/(n-1) \sum (x_i - m_x)^2$$

¹⁰ Contrairement aux herbiers, les algues sont moins stables. Leurs fluctuations tant en surface qu'en densité, n'est pas très heuristique. Toutefois, la présence de certaines peut être indicatrice de tel ou tel facteur de l'environnement, voire de dégradations environnementales.

¹¹ On pourra utilement trouver des compléments d'informations dans Boudouresque *et al.*, (2006) Protection et conservation de l'herbiers à *Posidonia oceanica* (in press – sortie prévue en mai 2006).

L'herbier peut être considéré comme une *zone* - telle que nous l'avons définie précédemment - même si à l'évidence il présente, comme c'est souvent le cas, des parties de différentes densités. Le plus souvent, on constatera que chaque partie qui apparaît « à l'œil » comme homogène est de petite taille. Il sera donc préférable de travailler à l'échelle de l'herbier et de couvrir un maximum de surface en dispersant le plus possible les points de comptage un peu partout sur la surface de l'herbier. Plus la densité de l'herbier apparaît hétérogène plus il faudra réaliser de points de comptages. Le nombre de points nécessaires pour une précision donnée au risque de 5% peut être calculé dès lors que l'on a une estimation de la variance. Une fois l'herbier choisi pour différents critères (facilité d'accès, proximité ou éloignement d'un point particulier...) il faudra faire des comptages préalables pour estimer cette variance et par là l'effort d'échantillonnage et donc son coût précis.

En pratique, si la variance est d'un ordre de grandeur considérablement plus élevé que la moyenne, le nombre de relevés à faire pour une précision de 5%, peut atteindre des valeurs irréalistes. Il sera alors incontournable de réduire la taille des surfaces unitaires pour réaliser un plus grand nombre de relevés pendant une plongée d'une part, et de stratifier l'herbier en parties homogènes pour réduire la variance d'autre part. Une fois la variance connue, le nombre « n » de relevés pour une précision de 5% par exemple et à un risque de 5% est obtenu de la manière suivante :

$$n = 16.10^2 \sigma^2 / m_x^2$$

On peut toutefois apprécier objectivement l'hétérogénéité de l'herbier. Pour cela, on procèdera à une analyse de la variance à un critère (ANOVA) sur un tableau de données présentant dans chacune des colonnes les valeurs obtenues sur un transect. Chaque transect sera positionné sur la surface de l'herbier de manière raisonnée. Le mieux est d'estimer le nombre de transects que l'on peut effectivement et raisonnablement réaliser et de les espacer régulièrement de manière à couvrir au maximum l'herbier.

Prenons les valeurs présentées dans les tableaux 9 et 10 en fin de document, où la variable est le nombre de brins dénombrés à l'intérieur d'un gabarit d'une surface de 400 cm². Le tab. n° 9 (Annexe I) présente 8 transects réalisés selon un pas régulier dans l'herbier. L'ANOVA est un test de Snédécour (F) qui compare les écarts factoriels aux écarts résiduels, c'est-à-dire la variance des transects et la variance totale.

Le nombre de relevés

Le nombre de relevés nécessaires (et donc le coût de l'opération) pour une précision « d » au risque de 5% peut être calculé :

$$n = (1,96 \sigma / d m_x)^2$$

où

σ est l'écart type et m_x la moyenne des x

Dans le cas des données du tableau n° 9 (Annexe I), le nombre de relevés nécessaires pour que la précision sur la moyenne (=28,63) soit de 5% au risque de 5% est de 180. C'est beaucoup. Une seule personne ne peut pas réaliser un aussi grand nombre de mesures en une seule plongée. Il lui faudra 4 ou 5 plongées au moins, c'est-à-dire 2 ou 3 jours sur site ! A 10% de précision souhaitée, il n'est plus nécessaire que de faire 45 relevés. Dans le cas du tableau 10 pour une précision de 5% le nombre de relevés est de 247 ! (la moyenne dans ce tableau est de 20,2)

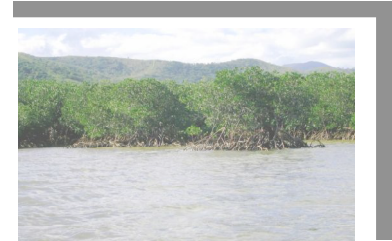
Ainsi plus la surface unitaire utilisée pour compter les brins d'herbe (c'est-à-dire la taille du gabarit choisi) est petite, plus le nombre de relevés nécessaires pour une précision donnée est grand. Il faudrait donc augmenter la surface du gabarit. Mais plus le gabarit est grand, plus le nombre de relevés possibles en une seule plongée est faible et plus l'erreur de comptage augmente. L'optimisation de ce conflit prendra en compte la capacité du plongeur et la profondeur de l'herbier choisi.

Les mangroves

Les mangroves sont des forêts littorales intertropicales plantées de palétuviers. Chaque espèce de palétuvier est adaptée au climat et à l'hydroclimat du lieu où on la trouve. A grande échelle spatiale, elles se répartissent en fonction de la température et à petite échelle spatiale (la Nlle-Calédonie par exemple) de la salinité d'abord puis de l'hydrodynamisme ensuite. La forêt se développe dans les vases littorales côtières qu'elle entretient tant d'un point de vue sédimentologique que chimique tout en étant dépendante d'elles sur les mêmes thèmes géologico-physico-chimiques.

La flore de mangrove en Calédonie est composée de 39 espèces appartenant à 26 familles, 5 espèces sont endémiques. Les principaux palétuviers en Calédonie sont :

<i>Bruguiera gymnorhiza,</i>	<i>Rhizophora samoensis</i>
<i>Avicennia marina,</i>	<i>Sonneratia alba,</i>
<i>Rhizophora stylosa,</i>	<i>Ceriops Tagal,</i>



Les mangroves ont été mises dans le Bien corallien. C'est cependant un écosystème à part entière indépendant des milieux coralliens. Toutefois, dès lors qu'ils sont géographiquement contigus, il existe entre les mangroves et le système récifo-lagonaire une interaction. Le lagon en est largement bénéficiaire et cela pour deux raisons principales. La première est due au fait que la mangrove piège et régule les apports terrigènes issus des bassins versants, la seconde est due au fait que la mangrove produit des sels minéraux nutritifs solubles à partir des matières organiques. Ces sels minéraux nutritifs vont ensuite dans les eaux lagunaires à chaque jusant ce qui enrichit ces eaux et favorise le développement du plancton qu'elles contiennent par voies de conséquences. Il est donc clairement montré que les milieux récifo-lagonaires associés à des mangroves sont plus productifs que les autres. La bonne santé des mangroves est donc un gage de plus grande richesse du lagon.

A l'instar des herbiers, la surface des mangroves et la densité des palétuviers sont des critères de bonne santé et donc de l'importance de leur rôle dans l'éco-complexe qui les lie au milieu récifal.

Toutefois, comme elles sont très dépendantes du linéaire côtier et des transferts sédimentaires qui s'y produisent, elles sont naturellement très instables, notamment aux marges de leur zone d'implantation et à une échelle de temps de l'ordre de la décennie. C'est-à-dire une échelle de temps très inférieure en principe à celle qui nous intéresse dans le cadre de ce suivi. Même si en certains endroits, les mangroves semblent stables « à l'œil », elles sont en réalité mouvantes. Au gré de la sédimentation, des crues ou des sécheresses...etc, de nouvelles zones se peuplent tandis que d'autres se dépeuplent, y compris en leur sein.

Les principales causes de décès des palétuviers sont :

- L'hyper sédimentation (asphyxie ou impossibilité pour les propagules de se développer)
- L'érosion,
- Des teneurs en sulfures trop importantes (du fait d'apport important de MO, développement naturel de la mangrove et/ou développement de végétaux parasites, e.g. lianes, fougères...)
- La modification des circulations d'eaux faisant varier la salinité du substrat
- La pollution par hydrocarbures ou métaux lourds
- Les hausses du niveau marin (mort à court terme mais augmentation des surfaces de mangrove sur le long terme).

Aussi, si le suivi ne porte d'attention qu'à des zones limitées et particulières, il risque de mettre en évidence des fluctuations ininterprétables et ainsi d'alerter de manière intempestive. Les fluctuations sur une zone de quelques hectares, parce qu'elles sont naturelles, ne peuvent être révélatrices de quoi que ce soit, sauf d'une dynamique déjà connue de cet écosystème. C'est donc globalement, à une vaste échelle spatiale qu'il faut apprécier les surfaces et la densité des mangroves. Pour cela l'imagerie satellitaire est toute indiquée.

Ayant par chance une position intertidale, les mangroves sont aisément reconnues sur les images satellitaires. L'imagerie satellitaire peut d'une part rendre compte des surfaces, mais également de la densité du feuillage ainsi que des associations d'espèces après vérification sur le terrain. L'information pouvant être recueillie à partir des images satellitaires est donc sans nul doute la meilleure que nous puissions avoir. Les visites sur le terrain n'auront lieu que si les images laissent suspecter quelques problèmes.

Personne ressource pour la biologie des mangroves : Cyrill Marchand <marchand@noumea.ird.nc>

Les poissons



Le suivi des poissons comme indicateurs écologiques

La communauté scientifique ne possède pas à l'heure actuelle de protocole reconnu, standard et robuste qui utilise « les poissons » comme indicateurs écologiques. Le rapport entre les qualités heuristiques de l'information et le prix de ces études, est très faible. Les poissons, utilisés comme indicateurs écologiques ne sont donc pas pertinents dans le cadre de ce suivi. Celui-ci doit en effet porter sur des caractères simples à identifier et à mesurer, robustes - c'est-à-dire fiables, ils doivent être détenteurs d'une information interprétable et leur *sensibilité* doit pouvoir être appréciée.¹²

Toutefois, la diversité spécifique des poissons peut être utilement choisie pour rendre compte de la biodiversité de la faune corallienne en général. D'autres groupes faunistiques pourraient également convenir mais celui-ci est emblématique de ce type de milieu.

Il a donc été recherché à partir des standards, un critère et une méthode qui satisfasse aux contraintes de l'exercice. De plus, le critère poisson pourra être étudié en même temps et lieu que la couverture corallienne, sur le récif barrière ainsi qu' autour des constructions coralliennes du lagon. Ce point génère des économies.

Le critère « biodiversité poissons »

Le critère proposé est la « diversité spécifique β ». Celle-ci souligne aux travers des diversités intra-site (diversité α) la diversité inter-sites (Legendre et al, 2005)¹³. La diversité β est un concept imaginé par Robert H. Whittaker (Whittaker, 1952) pour décrire des communautés d'insectes, puis la végétation des forêts de l'Orégon et de Californie (Whittaker, 1956 ; 1960) et plus tard présenté formellement (Whittaker, 1972)¹⁴. Cette idée heuristique fut largement reprise et utilisée notamment pour l'étude des forêts tropicales (Tuomisto et al, 2003)¹⁵.

Afin d'augmenter la puissance de ce critère les sources de variations artéfactuelles seront éliminées (autant que faire se peut) par une méthode de terrain cadrée strictement. Cette standardisation s'entend du point de vue de la méthode de relevé des données et du point de vue du site et des conditions environnementales (notamment hydroclimatiques) où et pendant lesquels les relevés seront faits. L'image du peuplement sera donnée par les effectifs par espèce et par classes de tailles.

¹² Les critiques sont de deux natures:

- Le comptage des poissons *in situ*, du fait de leur mobilité, de leur sensibilité à la présence des plongeurs, ou à celle d'autres poissons (requins) ou encore aux intempéries,...etc ne constitue pas une technique capable de fournir des critères ayant les qualités qui ont été définies en préambule. Les techniques de comptage qui sont utilisées par les chercheurs sont adaptées à chaque besoin, mais aucune d'entre-elles n'a été validée pour servir de standard à la communauté scientifique. (Par validation nous entendons qu'elles soient présentées et acceptées dans une revue scientifique internationale spécialisée). Le travail récent de Laurent Vigliola (CPS), reposant largement sur l'important travail de terrain de Michel Kulbicki (IRD) est sans doute la forme la plus aboutie de cette future technique généraliste.
- L'information obtenue est peu précise, elle est également relative et nécessite des interprétations souvent conjecturales. L'heuristique en tant qu'indicateur écologique, des données de «comptage de poissons *in situ*» est donc médiocre. Au mieux, ces données dupliquent partiellement celles issues des données obtenues grâce aux suivis des constructions coralliennes ou des substrats en général.

¹³ Legendre P., D. Borcard and Peres-Neto R.P. (2005) Analysing Beta Diversity : *Ecological Monographs*, 75 (4) :435-50

¹⁴ Whittaker, R. H. (1952) A study of summer foliage insect communities in the Great Smoky Mountains *Ecological Monographs* 22 : 1-44

Whittaker, R. H. (1956) Vegetation of the Great Smoky Mountains *Ecological Monographs* 26: 1-80

Whittaker, R. H. (1960) Vegetation of Siskiyou Mountains *Ecological Monographs* 30 : 279-338

Whittaker, R. H. (1972) Evolution and measurement of species diversity *Taxon* 21 : 213-51

¹⁵ Tuomisto H., K. Ruokolainen and M. Yli-Halla (2003) Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. *Science* 299 : 241-44

La méthode

La méthode est le comptage sur « *points fixes en temps limité et conditions environnementales choisies* ». Cette méthode a pour objectif d'utiliser la mobilité des poissons et leur comportement vis-à-vis du plongeur de manière à en faire un atout et non un biais.

Durant le jour, phase active du nyctémère pour la majorité des poissons, le régime alimentaire et le biotope (le second étant en grande partie lié au premier) sont les deux critères principaux qui déterminent la présence des individus d'une espèce dans un endroit particulier. Le plus souvent il s'agira d'un groupe d'âges particulier ou pour le moins une phase de développement ontologique particulière. La qualité de l'eau et l'hydrodynamisme sont deux autres critères. Ces constats permettent de standardiser la méthode.

Le plongeur (bien lesté) s'installe confortablement sur le fond de manière à être sûr de sa stabilité pendant les minutes qui suivront. Il restera à découvert, au mieux pourra-t-il s'adosser sur une paroi. Il utilisera une bouteille classique gonflée à l'air et un détendeur normal en bon état (qui ne fait pas d'autres bruits que celui des bulles). Il fixera sa montre sur sa plaquette de relevés afin de lire l'heure sans avoir à bouger. Le plongeur laissera passer 1 mn (chronométrée) après s'être installé. Cette minute sera mise à profit pour estimer la visibilité maximale en mètres. Puis il notera, pendant un temps limité, tous les poissons qu'il aperçoit en distinguant l'espèce, la taille et le nombre.

- ⇒ Le plongeur choisira *une fois pour toute* les **conditions environnementales** dans lesquelles il fera les relevés. Ex: temps ensoleillé, vent inférieur à 15 nd, houle du large supérieure à 2 m et marée montante (ces conditions sont celles qui attirent au maximum les poissons).
- ⇒ Le plongeur fixera *une fois pour toute* le **temps** pendant lequel il va repérer et compter les poissons. Une bonne durée de ce temps de comptage sera sans doute 5 mn. En tout cas, pas plus de 10 mn. Ce travail nécessitera un long entraînement permettant au plongeur de se familiariser avec les noms d'espèces. Les sorties efficaces ne se feront donc qu'une fois cette période de formation terminée.
- ⇒ Le plongeur se fixera *une fois pour toute* le nombre de catégories de **tailles** qu'il se sent capable de distinguer (classiquement entre 3 et 5). Il peut également, s'il en est capable, estimer directement la taille des poissons en cm (notamment pour les grosses espèces chez qui les approximations de taille entraînent des différences importantes dans le calcul *a posteriori* du poids).
- ⇒ Le plongeur fixera *une fois pour toute* et selon son aptitude, la limite supérieure pour laquelle il est capable, d'un coup d'œil, de distinguer le **nombre** exact de poissons d'une même catégorie. Classiquement ce sera 6 ou 7. Au-delà le plongeur perdra son temps (qui est compté) et son attention à vouloir faire un décompte précis (et souvent faux). Pour les effectifs plus importants, il fera lui-même ses classes d'effectifs : Ex : de 7 à 10 ; plus de 10 et moins de 15 ; de 15 à 30 ; de 30 à 50 ; 50 à 100 ; plus de 100... etc

Et préalablement à la plongée,

- ⇒ Le plongeur préparera des fiches de plongée sur lesquelles seront imprimés des tableaux avec les noms d'espèces en lignes et les catégories de tailles en colonnes. Les effectifs seront inscrits dans les cases par le plongeur au moment du comptage et de manière codée : par exemple des bâtons pour les individus isolés, des étoiles, des ronds, des triangles...etc pour les catégories d'effectifs plus élevés (cf § précédent). Le rappel de ce code sera inscrit en haut de la page pour mémoire.

Le choix des zones

Les stations poissons seront réalisées sur les récifs barrières et les constructions internes qui sont sous l'influence océanique. Dans ces parties du lagon, les poissons (notamment les espèces plus ou moins nomades) affectionnent les zones où l'hydrodynamisme est sensible. Rappelons que les poissons sont rhéosensibles¹⁶. Ce sont pour les récifs barrières les « sillons internes » et pour les bancs coralliens internes classiquement les façades balayées par les courants de marée. Au niveau des récifs frangeants, le choix de zones standards pose plus de problèmes¹⁷. Ce sont classiquement les constructions coralliennes exposées aux alizés et notamment les

¹⁶ C'est-à-dire sensibles aux courants. Classiquement les poissons sont attirés par les courants, mais même les petites espèces territoriales choisissent leur territoire en fonction des courants ou de l'absence de courant.

¹⁷ La Province nord a souhaité que l'on suive les poissons des zones frangeantes. Pour rester dans une enveloppe financière réaliste, ce suivi ne peut se faire qu'au détriment d'autres zones, comme celles des récifs de Cook, des Français ou de l'archipel d'Entrecasteaux. L'auteur persiste cependant à penser que cela est inutile dans le cadre de ce suivi. L'étude des herbiers littoraux et celle des mangroves suffisent pour rendre compte de l'état de santé du littoral. Si les Provinces souhaitent, par ailleurs, avoir un suivi des ressources ichthyologiques, l'auteur suggère que ce suivi soit déconnecté du présent travail et soit correctement mené. Une demi-mesure ne sera ni satisfaisante pour la gestion des ressources et entravera le suivi

caps au nord des baies qui présentent les plus abondances les plus élevées avec les variances les plus faibles. Toutefois, la turbidité de l'eau côtière risque d'influencer fortement les dénombrements et faire que la variance constatée soit très marquée par celle de la clarté des eaux. Par ailleurs, les eaux s'éclaircissent par vent d'ouest, mais les abondances en poissons diminuent! La définition de conditions standards pose donc des problèmes et il est à craindre qu'aucune ne soit véritablement satisfaisante.

- ⇒ Sillons internes du récif barrière : la géomorphologie du récif barrière présente des zones appelées « sillons internes » où l'évacuation des eaux du déferlement se fait de façon préférentielle. Ces zones présentent donc un hydrodynamisme plus fort qu'ailleurs et sont souvent plus profondes que les zones voisines. Toutefois, on se gardera de choisir des sillons proches des passes, pour ne pas être influencée par celles-ci¹⁸.
- ⇒ Façades des bancs coralliens internes : typiquement la géomorphologie des constructions internes (platier d'îlot ou bancs coralliens) est façonnée par les vents dominants. Ces constructions font un obstacle à l'écoulement des courants de marée et de vent. Il existe donc autour de ces bancs coralliens une (ou deux) zone plus attractive aux poissons que les autres.
- ⇒ Récifs frangeants : Les stations pourront utilement se trouver au niveau des caps qui limitent le nord des baies. Il conviendrait que l'équipe de plongeurs standardise à sa convenance les conditions climatiques de la plongée sachant que plus le vent souffle plus la zone est attractive pour les poissons, mais plus l'eau est turbide et plus la plongée est inconfortable. Un vent de 15 nds environ sera sans doute idéal.

Le choix raisonné de ces zones attractives va permettre de minorer la part des fluctuations d'abondance due aux aléas des déplacements des poissons. Elles conviendront donc mieux que les autres aux comptages. Par ailleurs, et toujours à cause du courant ou des vagues, seuls les comptages par points sont possibles, l'hydrodynamisme empêchant souvent l'utilisation du pentadécamètre.

Nombre et répartition des points

La réduction des variances due au choix raisonné des zones et à la standardisation rigoureuse des modes de comptage ainsi que celles des conditions environnementales, minorera les coûts d'échantillonnage en réduisant le nombre de points nécessaires tout en préservant une précision acceptable. Compte tenu de la nature du critère ce nombre ne pourra être déterminé simplement, ni précisément.

Pour déterminer le nombre de points, il convient de mettre en exergue quelques espèces en fonction de leur régime alimentaire principalement et de leur abondance. Deux ou trois espèces dans le groupe des poissons dits commerciaux et deux ou trois également dans le groupe des petites espèces dites récifales. Ex: un *Plectropomus* (*P. laevi* sur le barrière et *P. leopardus* sur les récifs internes), un *Nason* (*N. unicornis*) et un *Lethrinidé* ou un *Scaridé* pour les premiers; un *Labridé* (*Thalassoma*), un *Chaetodontidé* et un *Pomacentridé* pour les seconds. Le nombre de points d'échantillonnage sera estimé *a priori* à l'aide des variances d'abondances obtenues sur ces espèces. Il s'agira en fait d'un compromis donnant à ± 10 ou 15% la précision souhaitée de notre critère.

Il est probable que le nombre de zones de mesures nécessaires à satisfaire la précision et la sensibilité souhaitées soit entre 3 et 6,...

- ⇒ En ce qui concerne les sillons internes, les différents points seront choisis aux creux de sillons espacés le plus possible tout en restant sur le même bloc récifal. Ces mêmes points pourront être refaits à une ou deux reprises en veillant à laisser passer environ une demi heure entre deux comptages faits au même endroit.
- ⇒ En ce qui concerne les constructions internes, le même protocole sera utilisé mais il sera difficile d'espacer suffisamment les trois points si l'on ne veille pas à choisir *a priori* des constructions coralliennes de tailles importantes.
- ⇒ En ce qui concerne les récifs frangeants, le choix portera sur quelques caps faciles d'accès. Idéalement, il conviendrait de sélectionner des zones éloignées des tribus. Rappelons que le principe du suivi est que les comptages précédents servent de témoins au comptages suivants.

...et compte tenu des répliqués, il est réaliste de penser faire 4 ou 5 points en une journée, difficilement 6 et il faudra deux jours pour en réaliser plus de 6.

environnemental proposé ici. Toutefois, puisque le bureau le souhaite nous donnons une méthode et un chiffrage financier prenant en compte cette requête.

¹⁸ Les passes des récifs sont chacune originale. Leur qualité attractives dépend de leur position, leur orientation par rapport à la houle dominante et leur géomorphologie globale. Leur proximité ajouterait donc une part de variance supplémentaire.

Le traitement

Les dénombrements aboutissent à un tableau d'effectifs par espèce et par taille que l'on peut convertir en tableau de biomasse grâce aux relations spécifiques tailles/poids que l'on trouve dans la bibliographie (Kulbicki, 1993)¹⁹. La distance de visibilité permettra de pondérer les données obtenues en nombres ou en poids, en Indices d'Abondance par unité de surface.

Les données relatives à un bloc récifal et pour une année particulière peuvent être présentées selon une matrice qui présentera en tête de colonnes les stations dans l'espace et en ligne les réplicats temporels, les cases seront les fiches de comptages (tableaux 1 et 2).

Tableau n°1 : Matrice de résultats des dénombrements annuels de poissons sur une zone

Réplicats	station. 1	station. 2	station. 3	...	station. i	...	station. n
Temp. 1	Struct. spec ₁₁	Struct. spec ₂₁	Struct. spec ₃₁		Struct. spec _{i1}		Struct. spec _{n1}
Temp. 2	Struct. spec ₁₂	Struct. spec ₂₂	Struct. spec ₃₂		Struct. spec _{i2}		Struct. spec _{n2}
Temp. 3	Struct. spec ₁₃	Struct. spec ₂₃	Struct. spec ₃₃		Struct. spec _{i3}		Struct. spec _{n3}
Div.spe.totale							
Eff. max/esp							

Matrice qui pourra être annuellement transformée en un tableau espèces x stations

Tableau n°2 : Matrice de résultats des dénombrements annuels de poissons sur une zone

Année i

Toutes espèces	esp. 1	esp. 2	...	esp. 3	...	esp. i	esp. n	Var
station. 1	effect ₁₁	effect ₂₁		effect ₃₁		effect _{i1}	effect _{n1}	Var. 1
station. 2	effect ₁₂	effect ₂₂		effect ₃₂		effect _{i2}	effect _{n2}	Var. 2
station. 3	effect ₁₃	effect ₂₃		effect ₃₃		effect _{i3}	effect _{n3}	Var. 3
....								
station. k	effect _{1k}	effect _{2k}		effect _{3k}		effect _{ik}	effect _{nk}	Var. k
....								
station. p	effect _{1p}	effect _{2p}		effect _{3p}		effect _{ip}	effect _{np}	Var. p
Var	Var. 1	Var. 2	...	Var. 3	...	Var. i	Var. n	Div β

Les espèces absentes seront notées 0 tant en effectifs qu'en présence-absence.

Les écarts entre les variances en lignes (ou les Equitabilités) et la valeur de ces mêmes paramètres calculés en colonne sont riches d'enseignements. Ces paramètres traduisent la biodiversité du milieu. Les écarts entre les variances des stations estimés par la variance de ces variances sera sous la forme d'un seul chiffre l'expression de la biodiversité β.

Ces données permettront de travailler sur les 3 niveaux de biodiversité:

⇒ la biodiversité α qui est dans ce cas la diversité par station (1^{ier} niveau),

¹⁹ Kulbicki M., G. Mou Tham, P. Thollot, and L. Wantiez (1993) Length-weight relationships of fish from the lagoon of New Caledonia. NAGA the ICLARM Quarterly, April-July 1993: 26-30

- ⇒ la biodiversité gamma qui est la biodiversité totale (3^{ième} niveau),
- Ces niveaux, notamment le dernier (le 3^{ième}) ne sont pas d'une grande heuristique,
- ⇒ la biodiversité β qui peut être exprimée comme le rapport de la moyenne des diversités α à la diversité totale ou gamma, ou encore comme la diversité des niveaux α .

Legendre et al. (2005) (ref page 3) donnent une analyse complète des utilisations et des vertus de la diversité β , ainsi qu'une bibliographie d'exemples d'utilisations.

Les poissons ressource halieutique

Indépendamment de la nature patrimoniale de leur biodiversité (cf. chapitre précédent), les populations de poissons de l'éco-complexe récif-lagon-mangrove sont une ressource. Malheureusement il n'existe pas de technique simple, bon marché et fiable pour suivre l'évolution des stocks impactés par la pêche.



Des tentatives intéressantes et récentes (programmes PROGFISH de la CPS et COREUS de l'IRD) se sont développées afin de mettre en place des outils d'expertise pour juger de l'état des stocks de poissons en milieu corallien. L'idée de base étant de dire que les techniques de la science halieutique classique ont été élaborées pour des pêcheries monospécifiques et qu'elles sont mal adaptées aux peuplements hautement diversifiés des milieux récifo-lagonaires. Il faudrait ainsi trouver un nouvel « outil », de nouveaux indicateurs qui prennent en compte la structure polyspécifique du peuplement. En d'autres termes chercher dans l'image démographique des peuplements en place, la trace de l'exploitation halieutique.

Ces outils²⁰ en phase d'élaboration²¹ seront des outils d'expertise et d'aide à la décision. Ils n'entrent pas dans le cadre des qualités nécessaires aux critères d'un suivi.

Les outils classiques que sont (1) les suivis de la « prise par unité d'effort de pêche » (p.u.e.) et (2) sur un petit ensemble d'espèces cibles, le suivi de la taille moyenne (TM) des poissons capturés, demeurent pour l'instant, les seuls critères de suivi paramétrables. (voir Annexe II). Cependant, la recherche de ces informations est onéreuse. Elle demande des enquêtes pérennes et sérieuses et soulignons que peu de pays au monde ont, jusqu'à présent, réalisé de telles enquêtes de manière pérenne dans le cadre de pêcheries côtières artisanales. Seules quelques pêcheries industrielles importantes ont droit à de tels égards.

Il reste donc, ce que l'on pourrait appeler l'utilisation d'un « signal d'expert » basé sur une vue d'ensemble des pêcheries côtières à l'échelle mondiale et s'appuyant sur la comparaison que l'on peut faire avec d'autres sites coralliens connus dans le monde. Il faut pour cela estimer la capture totale par hectare et par an (C/ha/an).

La FAO publie annuellement le détail des captures mondiales. On trouve dans ces bulletins, les productions de sites particuliers comme celles des lagunes côtières ou des plateaux continentaux sous différentes latitudes. Elles ont été évaluées ainsi que celles des productions de certaines zones coralliennes. Le principe, utilisé pour les lagunes côtières par exemple (voir Kapetski et Lasserre 1984)²² consiste à faire des comparaisons de production entre les différents écosystèmes mondiaux de même nature et pour lesquels on connaît par ailleurs l'état de conservation ou de dégradation. Compte tenu de la connaissance de notre propre milieu lagonaire calédonien obtenu grâce au suivi, il sera possible d'apprécier par rapport à d'autres sites comparables du monde, le moment où le « signal d'alarme » doit être tiré.

²⁰ Clua E., Beliaeff B., C. Chauvet., G. David, J. Ferraris, M. Kronen, M. Kulbichi, P. Labrosse, Y. Letourneur, D. Pelletier, O. Thebaud, M. Leopold. 2005 - Toward multidisciplinary indicator panel for assessing coral reef fisheries. *Aquatic Living Resources*. 18, 199-213

²¹ Car, en amont de cette élaboration d'outil performant, deux remarques majeures peuvent être faites. La première est de tenter de décrire un flux de biomasse par une image structurelle instantanée de cette biomasse - n'oublions pas, en effet, que la pêche est un flux de biomasse. Elle correspond à la capture régulière d'une ressource renouvelable. La seconde est de décrire ce qui reste dans le milieu et pas de décrire ce qui est pris par les pêcheurs. A capture égale, ce qui reste dans l'eau peut être très différent selon l'importance locale des flux.

²² Kapetski J.M. and G. Lasserre (1984) Management of coastal lagoon fisheries. *Studies and reviews* 61 (1): 1-437

Kapetski J.M. and G. Lasserre (1984) Management of coastal lagoon fisheries. *Studies and reviews* 61 (2): 438-779

Les 3 premières lignes du tableau n°3 montrent par comparaison avec les lignes suivantes que les productions halieutiques des milieux coralliens sont très inférieures à celles des autres écosystèmes marins de la planète. Par ailleurs, il est raisonnable de penser que les milieux coralliens indonésiens ont atteint des niveaux d'exploitation voisins des seuils limites de tolérances. Toutefois, leurs eaux côtières ont une productivité plus forte que les autres du fait de leur position géographique équatoriale et de la présence de grandes îles ou de continents. 40 kg/ha/an est donc une valeur improbable pour la Nlle-Calédonie. A l'inverse, Rangiroa qui est un atoll et Moorea une très petite île haute, ce sont des milieux coralliens aux capacités de production halieutiques bien inférieures à celles de la Nlle-Calédonie.

Tableau n° 3 - Productions de poissons pour différents écosystèmes mondiaux (données FAO)

Ecosystèmes littoraux	Production halieutique en kg. ha⁻¹ an⁻¹
Plateaux continentaux	Jusqu'à 110
Lagunes non aménagées	Jusqu'à 200
Lagunes aménagées	Jusqu'à 2000
Indonésie (corail)	Jusqu'à 45
G..B. australienne (corail)	Jusqu'à 10
Rangiroa (Tuamotu PF)	4,5
Moorea (Société PF)	15
Lagon de NC (hors S-O)	0,5
Lagon S-O de NC	4,5

Actuellement la production halieutique moyenne de la Nlle-Calédonie est très faible. Il faut souligner que cette production est très inégalement répartie dans l'espace. Les rares études de stocks faites en Province sud (*Lethrinus nebulosus*, *Siganus argenteus* et *Epinephelus cyanopodus*) n'ont pas permis d'évaluer un taux réaliste de mortalité par pêche tant celle-ci semble faible par rapport au taux de mortalité naturelle (LERVEM 1999 et 2003)²³. Ce différentiel dans les taux de mortalité est certainement encore plus marqué dans le lagon nord plus vaste et moins pêché que le lagon sud-ouest. En moyenne, et sur l'ensemble du lagon calédonien la production est voisine de 1 kg/ha/an.

Toutefois une vision moyenne globale est trompeuse car les quelques travaux de génétique des populations tendent à montrer que les peuplements de poissons du lagon calédonien sont composés de sous ensembles autonomes peu perméables entre eux (Planes *et al.*, 1998)²⁴. L'espace lagonaire semble être occupé par plusieurs populations mendéliennes. Du point de vue temporel, les échanges géniques entre les populations de poissons étudiées à Nouméa, Koumac et Thio est de l'ordre du millénaire. Chacune des parties du lagon néo-calédonien contiendrait donc des populations indépendantes les unes des autres.

Le Bien à classer est en série. Cette série prend justement en compte la diversité géomorphologique du lagon calédonien (grandes étendues du sud, grandes étendues du nord, système côtier, atoll, construction océanique isolée...). Il faudrait donc suivre les captures dans chaque partie du Bien indépendamment. Toutefois, dans l'état actuel de la répartition démographique humaine en Nlle-Calédonie, on peut raisonnablement penser faire l'économie du suivi dans le nord, tout en préparant l'avenir et ne suivre les captures avec attention que dans le sud, c'est-à-dire la MIS.

Ainsi, il conviendrait de soutenir et de développer le système de *fiches de pêche* déjà mis en place par la DRN de la Province-Sud. Il faudrait aussi dès à présent jeter les bases d'une mise en place d'un système de « *permis de pêche* » gratuit, mais obligatoire y compris dans le nord et les îles. Cela permettrait dans l'immédiat de faciliter le suivi des captures, d'avoir des données moins biaisées et pour l'avenir de pouvoir, si cela devenait nécessaire, limiter l'effort de pêche de manière plus « douce » (moins conflictuelle) que si l'on prend au dernier moment les mesures drastiques qui s'imposeront au moment où de vrais problèmes de surexploitation se poseront.

²³ LERVEM (1999) Etude des stocks de Siganidés du lagon sud de Nlle-Calédonie. Rapport UNC/DRN Province sud. 27p

LERVEM (2003) Fiches de pêche artisanale en Province sud. Rapport UNC/DRN Province sud. 40p

²⁴ Planes S., M.Parroni, C.Chauvet, 1998 - Evidence of limited gene flow in three species of coral reef fishes in the lagoon of New Caledonia. *Marine Biology*, 130: 361-368

Les poissons comme indicateurs de présence de métaux dans les eaux ou les sédiments

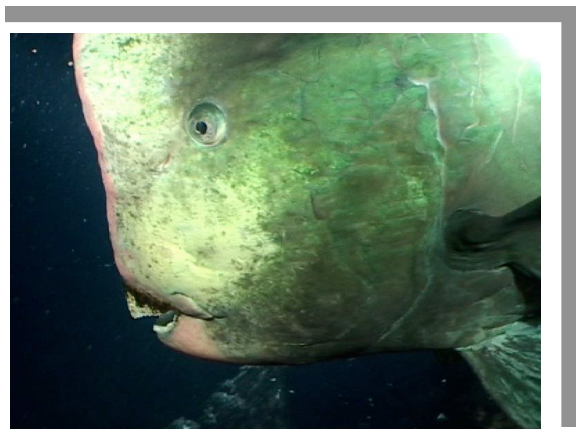
En se nourrissant les poissons concentrent dans leur chair et leur squelette les différents polluants (toxines, métaux lourds...) déjà concentrés dans leurs proies et donc présents dans le milieu. Leurs corps gardent ainsi la « mémoire » des pollutions des sites où ils vivent. L'analyse de leurs muscles et de leurs graisses permet d'identifier les toxines, l'analyse du squelette les métaux.

Cette imprégnation peut bien sûr, être directe, mais elle se fait plus sûrement par le truchement de leur alimentation. Beaucoup d'espèces de poissons sont des carnivores. Ce régime alimentaire place certaines d'entre elles à de très hauts niveaux dans les différentes chaînes alimentaires. Compte tenu de la diversité spécifique de l'ichtyofaune, les réseaux alimentaires sont très variés. Certaines espèces puisent leurs ressources trophiques dans des chaînes alimentaires issues de la production du fond, d'autres de la production des masses d'eaux. Certains poissons sont benthophages et ont pour proies des crustacés, des échinodermes, des mollusques... qui sont elles-mêmes filtreuses, détritivores, brouteuses... d'autres espèces sont piscivores et mangent des poissons benthophages ou planctonophages. De plus, il se trouve que parmi ces derniers, certains sont diurnes et mangent du plancton vivant dans la masse d'eau, tandis que d'autres, sont nocturnes et mangent du plancton remonté du fond... etc , etc. Cette diversité est considérable et les chemins que peuvent suivre les polluants sont multiples.

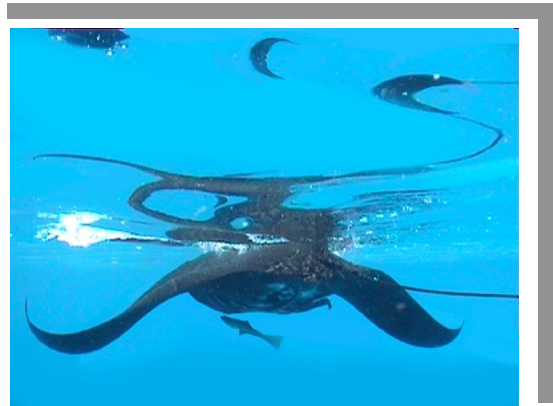
En ce qui concerne la recherche des métaux, l'analyse des otolithes est grâce à ce qui précède la plus heuristique. L'otolithe est un os situé sous l'encéphale du poisson. Il grandit par accrétions successives de cristaux d'aragonite au rythme de la croissance du poisson. Les variations annuelles de cette croissance laissent des traces périodiques sur l'otolithe. Les techniques de microdosages par *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICPMS et ICP AES) permettent de doser les polluants métalliques à l'intérieur et entre les stries de croissance (cf. bibliographie jointe en annexe III). Cela permet ainsi de situer dans la vie du poisson les périodes et les lieux de la contamination, ainsi que les variations temporelles des concentrations. En choisissant bien les espèces par rapport aux chaînes alimentaires (cf. § précédent) et compte tenu de la variété des régimes alimentaires, les dosages sur les otolithes permettront en plus de révéler les pollutions, de situer leurs sources en remontant la chaîne alimentaire à laquelle le poisson appartient.

Cette technologie moderne, nécessite un appareillage que les seuls besoins calédoniens ne rentabiliseraient pas. De plus le coût d'une analyse n'est pas très élevé et le suivi du Bien n'en nécessite qu'un faible nombre. Le laboratoire EPHE/CNRS de Perpignan peut se charger de ces analyses, la personne ressource est le Dr Raymonde Lecomte <raymonde.lecomte@univ-perp.fr> . Ces analyses se font à l'IFREMER de Lumeau et coûtent environs 25 Euros / échantillon.

Dans le contexte de développement industriel et urbain de la Nlle-Calédonie, le suivi des polluants contenus dans la chair et les otolithes des poissons devraient suffire comme « signal » de salubrité du milieu. En cas de déclenchement du signal, une recherche plus poussée devra être entreprise. L'IRD de Nouméa peut s'en charger.

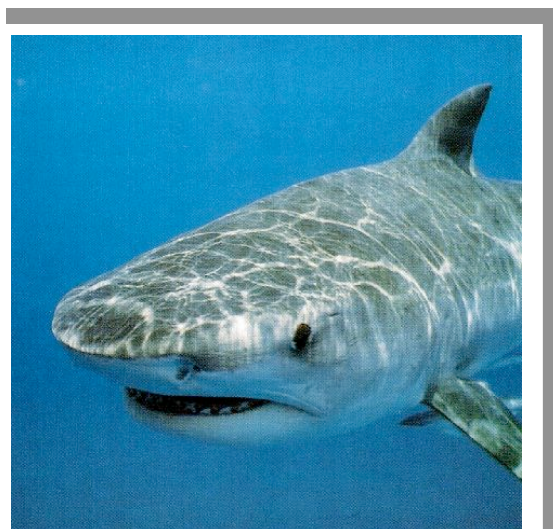


Les espèces patrimoniales et culturelles



Sous l'angle de vue des sciences biologiques et de l'écologie, les espèces patrimoniales et/ou culturelles n'ont pas plus ni moins d'importance que les autres espèces. Souvent moins, en ce sens que ce sont souvent de grosses espèces de vertébrés situées en bout de chaîne ou sur une voie du réseau trophique non essentielle à l'écosystème. Elles correspondent donc et le plus souvent à des nœuds de réseau dont l'absence n'obérerait pas fondamentalement le fonctionnement de l'écosystème ou faiblement. C'est par le biais des médias, qu'elles développent des sentiments et des émotions dans les populations humaines. Cette imprégnation forte des espaces mentaux culturels leur confère ainsi un intérêt « anthropologiquement » supérieur. Aussi acquièrent-elles et à juste titre la dénomination d'*espèces patrimoniales et culturelles*.

Mais elles deviennent dès lors un sujet de géographes et d'anthropologues, voire de sociologues et non un sujet de biologistes ou d'écologues. Sur le thème du suivi environnemental - qui est celui qui nous occupe dans cette présentation - aucun critère les concernant ne saurait correspondre à un critère informatif indispensable à la connaissance de l'état de santé du Bien. En revanche, la perception populaire de l'évolution des peuplements de ces espèces peut être un critère informatif tant sur ces espèces que sur la perception du public vis à vis du classement au patrimoine mondial. L'évaluation relève alors d'enquêtes de routine auprès de la population que nous incluons dans ce travail avec les enquêtes de pêche.



LE CHIFFRAGE FINANCIER

Le chiffrage financier est nécessairement approximatif. Il nécessite pour être précisé que le nombre de sites d'investigation soit fixé et que la variance des critères mesurés sur ces sites soit connue. Il est cependant possible de donner dès à présent un ordre de grandeur des budgets à prévoir.

Rappelons que la proposition est de suivre (a) par imagerie satellitaire les herbiers côtiers et les mangroves et (b) par plongées subaquatiques les coraux et les poissons et (c) enfin par enquêtes l'activité halieutique et les espèces emblématiques.

Le coût des déplacements sur zone diffère selon les sites. Les deux mers intérieures sud et nord (MIS et MIN) hétérogènes sont scindées en plusieurs sous-parties. Non seulement à cause de leur étendue, mais également parce qu'elles sont géomorphologiquement différentes à l'Est et à l'Ouest et le coût de l'accessibilité n'est pas le même partout. Il apparaît *in fine* que pour couvrir annuellement la surveillance du Bien tout entier, 3 personnes spécialisées ne suffisent pas. Si l'on se base sur un trinôme – en mer la sécurité exige qu'au moins une personne soit sur le bateau pendant que les deux autres plongent – il faudra plusieurs années pour couvrir l'ensemble du Bien. Certains travaux seront annuels, comme les suivis halieutiques (sinon ils ne sont plus interprétables), d'autre seront bi ou tri annuels comme les suivis de la bio-diversité des poissons et des coraux et le taux de couverture corallienne vivante. D'autres pourront être quadriannuelles comme la surveillance des herbiers et des mangroves.

Notre estimation, prend donc en compte l'embauche à temps plein de 3 personnes. Cette solution est plus économique et plus performante que le recours (permanent) à des bureaux d'étude. Une de ces personnes aura le niveau Master II, avec pour compétence la capacité de faire des analyses d'images satellitaires (ou d'apprendre à les faire). Compétente également en statistique, elle devra pratiquer la plongée (niveau III). Les deux autres auront le niveau Licence, DUT ou DEUST. Biologistes de préférence, ils devront pratiquer la plongée (niveau III).

Le financement des éventuelles investigations approfondies et les financements nécessaires à comprendre des situations de crise ne seront pas inclus. Des financements seront accordés au coup par coup en cas de besoin.

Coûts relatifs par zone

On peut en première estimation appliquer des coefficients "de coût" par zone, établis par rapport à la zone la plus facile d'accès et donc la moins onéreuse à suivre (Poé-Bourail). Ce coût intègre les frais de déplacements et de moyens pour une « investigation sur site » permettant une « journée efficace de travail ». Ce coût comprendra donc l'accès au site, les déplacements sur site, l'hébergement pour 3 personnes...etc, et cela en fixant comme base de départ Nouméa. L'unité de référence peut être estimée à 20.000 fcp hors main d'œuvre (salaires) et hors investissement ou amortissement de matériel. Les traitements des données et la rédaction des rapports font partie du travail et sont inclus dans les salaires.

Tableau n° 4: Estimation relative des coûts de déplacements d'une « journée efficace de travail » sur le terrain

Sites	Coefficients	Sites	Coefficients
Poé-Ouano nord	2	MIN-SO	4
Poé-Ouano sud	2	MIN-Centre	4
MIS-Ouest	3	Huon	8
MIS-Nord	3	Surprise	8
MIS-Est	6	Ouvea-Nord	5
MIS-Sud	5	Ouvea-Sud	5
MIN-NO	7	BtpsBprs-Sud	5
MIN-NE	7	BtpsBprs-Nord	5
MIN-SE	4	Baie Kwé - Goro	2

Les zones de Poé-Ouano ou de Goro sont les moins coûteuses d'accès. En revanche, se rendre sur la MIS-Ouest depuis Nouméa par exemple est 3 fois plus coûteux, les moyens à la mer sont aussi plus importants.

Il convient de fixer le nombre de parties et sous-parties à visiter. Le tableau n°8 fait une proposition. Ce nombre pourra être révisé si l'idée *a priori* de l'hétérogénéité des sites était éronée. Les parties du Bien sont en effet hétérogènes. La principale hétérogénéité (et donc le premier découpage spatial) est due à la plus ou moins grande proximité des côtes de la Grande Terre, ce qui conduit à un premier découpage. Ensuite, chaque partie du Bien est découpée en sous-partie dont l'arrangement tiendra compte de la géomorphologie, de la démographie ainsi que des activités humaines. Ainsi, la MIS-Est et la MIS-Ouest seront chacune divisée en 4. Nous suggérons d'ajouter l'herbier de la baie Kwé, une zone corallienne au sud-est, prise à l'intérieur du lagon de Goro et une ou deux zones coralliennes dans la zone tampon entre l'île Ouen et le récif Kué. La partie Poé-Ouano sera divisée en 4: le lagon de Poé, la baie de la Néra, la façade de Nessadiou et la partie nord de Ouano. Les quatre subdivisions de la MIN présentées dans le tableau précédent seront divisées chacune en 2, et 1 partie au sud-est sera ajoutée (Pouébo). Surprises et Huon seront chacune divisées en trois et les 3 autres atolls de l'archipel ne seront pas visités. Ouvéa sera divisée en 3 et Beautemps-Beauprès sera visitée au cours de la même mission. Les critères ne seront pas les mêmes partout, ne serait-ce par exemple, par le simple fait que certains écosystèmes comme les herbiers ou les mangroves n'existent pas partout.

Tableau n° 5 : Estimations du nombre de zones d'échantillonnage.

Bien	Parties du Bien (critères géographiques et géomorphologiques)	Divisions cardinales des parties du Bien (critères pragmatiques)	Sous Divisions critères écologiques (proximal/distal)	Nb de zones liées à l'hétérogénéité (et aux risques)	TOTAL
COMPLEXE	MIS	MIS- Ouest (sud Mato)	1	6	6
		MIS- Nord (Merlet)	1	6	6
		Baie Kwé – Goro - ZTampon	1	4	4
		MIS- Est (Ile des Pins)	2	6	12
		MIS- Sud (Corne)	1	6	6
	Poé-Ouano	Nord (Poé-Bourail)	2	6	12
		Sud (Nessadiou-Ouano)	2	6	12
	MIN	MIN-NO (Récif des Français)	1	5	5
		MIN-SO (Poum - Sud Yandé)	2	6 - 6	12 - 24
		MIN-Centre (Béleps- Boat pass)	2	6	12
		MIN-NE (Récif de Cook)	1	5	5
		MIN-SE(Balabio-Heinghein)	2	6 - 6	12 - 24
de la Nlle CALÉDONIE		Diaot	1	4 - 6	4 - 6
	D'Entrecasteaux	Huon	2	3	6
		Surprises	2	3	6
	Ouvéa	Ouvéa N (Pléiades N-St Joseph)	2	3	6
		Ouvéa Sud (Pléiades S)	1	3	3
		Ouvéa Est (Façade océaniqu.)	2	3	6
	Beautps-Beauprès	Beautps-Beauprès	2	3	6
Total	6	20	30	90 - 108	141 - 171

Le suivi dans chacune des zones ne correspond pas au même investissement.

En *italique*, le nombre de zones à ajouter pour les récifs frangeants

Le suivi doit couvrir le plus largement possible le Bien. Le nombre de zones et leur position devront être choisis raisonnablement en fonction de l'hétérogénéité géomorphologique et de l'idée que l'on se fait de la nature des risques et de leur origine. Deux zones stratégiques ont été ajoutées dans le sud. Elles figurent dans le tableau précédent.

Tableau n° 6: Estimation des coûts du travail de terrain.

Divisions cardinales (tableau n° 5)	tab n°5 a	Nombre de zones de suivi				Total b	a . b	Coef. tab 4 c	a.b.c	Journées efficaces d=b.c	Total Milliers d . 20
		Cor.	Poissons	Herbie r	Mangr ove						
MIS- Ouest (sud Mato)	6	6	6			12	72	3	216	36	720
MIS- Nord (Merlet)	6	4	4	2		10	60	3	180	30	600
Baie Kwé - Goro	4	2	2	2		6	24	2	48	12	240
MIS- Est (Ile des Pins)	12	8	8	4		20	240	6	1440	120	2400
MIS- Sud (Corne)	6	6	6			12	72	5	360	60	1200
Poé-Bourail (Nord)	12	6	6	4	2	18	216	2	432	36	720
Nessadiou-Ouano (Sud)	12	6	6	4	2	18	216	2	432	36	720
MIN-NO (Recif des Français)	5	5	5			10	50	7	350	70	1400
MIN-SO (Poum - Sud Yandé)	12	8	8(+6)	2	2	20 (+6)	240 ou 312	4	960 ou 1248	80 ou 104	1600 ou 2080
MIN-Centre (Béleps-Boat pass)	12	8	8	2	2	20	240	4	960	80	1600
MIN-NE (Recif de Cook)	5	5	5			10	50	7	350	70	1400
MIN-SE (Balabio-Heinghein)	12	8	8 (+6)	2	2	20(+6)	240 ou 312	4	960 ou 1248	80 ou 104	1600 ou 2080
Diaot	4	2	2(+6)		2	6(+6)	24 ou 48	3	72 ou 144	18 ou 36	360 ou 720
Huon	6	6	6			12	72	8	576	96	1920
Surprises	6	6	6			12	72	8	576	96	1920
Ouvéa Nord (Pléiades N- St Joseph)	6	5	5		2	12	72	5	360	60	1200
Ouvéa Sud (Pléiades S)	3	3	3			6	18	5	90	30	600
Ouvéa Est (Face océanique-Mouli)	6	5	5		1	11	66	5	330	55	1100
Beautps-Beauprès	6	6	6			12	72	5	360	60	1200
Total	141 ou 171	105	105	22	15	247 ou 265	2116 ou 2224	88	9052 ou 9700	1 125 ou 1 191	22 500 ou 23 820

Le nombre de zones est estimé à 141 ou 171 avec le suivi côtier en PN. Le nombre de jours de travail est estimé en prenant en compte les déplacements sur terre et sur mer, la proximité des zones par rapport au point de bivouac et le temps raisonnable pour réaliser les échantillonnages sur zone. Cette estimation porte à 2116 le nombre de stations (tab n°6), à raison de 6 séries par jour, mais pour trois personnes, cela fait un total de 1058 journées réelles de travail sur le terrain. Contre 1112 avec les poissons du récif frangeant en Province Nord.

Le découpage aboutit au total de 1125 unités (tab n°6) dites « jour efficace » estimées à 20.000 F chaque, soit un coût total de 22,500.000 FCP (tab n°6) hors amortissement de matériel et hors main d'œuvre ou salaires. Contre 23.820.000 Fcp en incluant des stations « poissons et coraux » sur le récif frangeant en Province Nord. Toutefois, les salaires comprendront le traitement des données et la réalisation des rapports. Rappelons que les mangroves et les herbiers sont suivis grâce à des sorties de terrain mais surtout abordés par analyses d'images satellitaires. Les clichés sont supposés déjà acquis et géoréférencés. L'analyse des surfaces et des densités d'herbiers et de mangrove est un travail estimé à 6 mois plein pour un ingénieur spécialisé. Il faudra également ajouter dans le temps de travail, les enquêtes et les analyses de fiches de pêche.

Tableau n°7 : Estimation des heures de travail

	jours	heures
Terrain (cf tableau précédent)	1 058 (1 112)	8 464 (8 896)
Analyse d'images	100	600
Préparation des sorties, Maintenance,	100 (108)	600 (648)
Halieutique (enquêtes, gestion des fiches)	100	600
Traitement des données	50 (52)	300 (312)
Rapport, communication	45	270
Total	1 453 (1 517)	10 834 (11 526)

Les journées de terrain sont raisonnablement estimées à 8h réelles pour notamment tenir compte des préparatifs et de la maintenance du matériel.

La totalité du terrain sera donc fait sur 3 ans et on ajoutera du temps de préparation des missions et de maintenance de matériel proportionnellement au temps passé sur le terrain à raison de 2 jours par mission. Les analyses d'images seront étalées sur 3 ans, les suivis halieutiques, le traitement des données et la communication seront des tâches annuelles. Ainsi le nombre d'**heures annuelles** peut être estimé à**4392 heures (4964)**

3 (4) personnes à temps plein couvrent 3600 (4800) heures de travail annuel, reste donc près de 800 heures (ou *un peu moins de 200*) qui pourront être réalisées par une personne en CDD à mi-temps. Le travail de cette personne concernera les tâches de maintenance et de préparation des missions. D'où l'estimation des coûts annuels :

Tableau n° 8 : Estimation des coûts annuels

	total	annuel
Terrain (cf tableau précédent) (3 ans)	22 500 000 23 820 000	7 500 000 7 940 000
Salaires des 3 (4) permanents (annuel)	15 300 000 19 590 000	15 300 000 19 590 000
CDD mi-temps (annuel)	1 600 000 400 000	1 600 000 400 000
Ammortissement matériel ²⁵ (5 ans)	8 000 000	1 600 000
Fonctionnement (annuel)	1 500 000	1 500 000
Total	-	27 500 000 31.030 000

Le fait de réduire le nombre de sites ne réduit pas de façon proportionnelle les coûts. Le déplacement est toujours le même qu'il se fasse pour le suivi d'une sous-partie ou de quelques sous-partie. Il faut donc utiliser au mieux le temps par sous-partie. Par exemple en regroupant D'Entrecasteaux et les parties nord de la MIN le nombre de zones reste raisonnable et il est alors possible de tout faire dans une même mission fusse t-elle de quelques semaines. Pareillement pour Ouvéa et Beutemps-Beauprès.

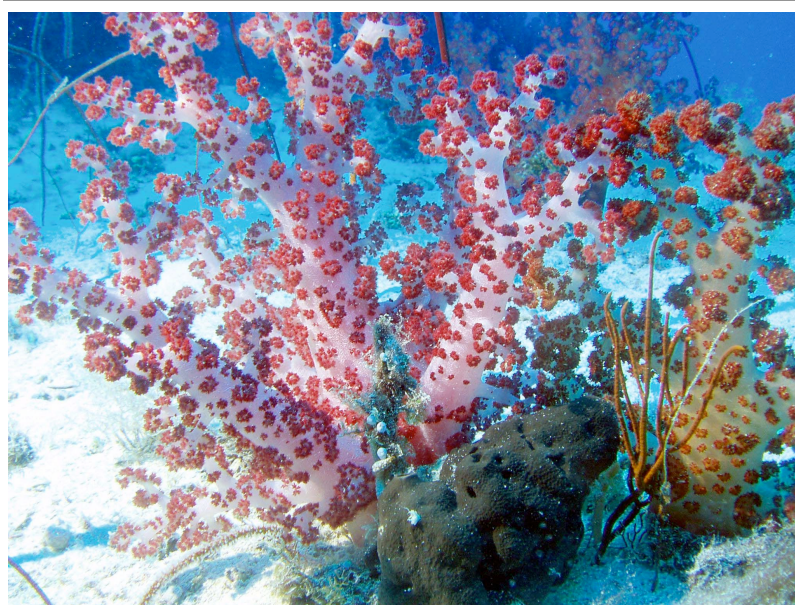
L'ajout du suivi du frangeant en Province Nord (il n'y a pas de récifs frangeants en MIS) en comptant 6 zones par partie, rehausse le nombre d'heures de travail. Sans, le travail pouvait être fait par 3 personnes à temps plein plus un CDD de 800 heures environ, avec, on ajoute 600 heures ce qui impose un permanent de plus, mais réduit considérablement les heures en CDD (200 heures) au point que l'on pourrait envisager de s'en passer en diminuant par exemple le rythme des missions à D'Entrecasteaux - Récif de Cook - Récif des Français. Il n'y aurait alors plus besoin que de 4 permanents pour un montant consolidé de **29.730.000** Francs Pacifique/an.

²⁵ L'équipement correspond à du matériel informatique, du matériel de plongée, un véhicule et une embarcation tractée... L'estimation approximative est de 8.000.000 Fcp amortis sur 5 ans.

Analyse d'otolithes pour la recherche des Métaux

Ces analyses n'ont pas été incluses. Elles pourraient être faites selon une périodicité de 5 ans et uniquement sur les zones à risque. L'analyse d'un otholite est de 100 € soit approximativement 12.000 fcp. Une dizaine de prélèvements par zone soit une soixantaine de prélèvements sont nécessaires (720.000 fcp) auxquels il faut ajouter globalement 1 journée de mission supplémentaire par zone soit un total évalué globalement 1.000.000 Fcp incluant les frais de rapport et de fonctionnement.

A N N E X E S



ANNEXE I

Tableaux illustrants le chapitre Herbier.

Tableau n° 9 : Exemple chiffré d'une ANOVA sur 8 transects. Volontairement cet exemple indique que le nombre de points par transect n'est pas nécessairement constant.

relevés	Transects	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Totaux
1		36	24	27	26	22	10	22	25	
2		27	27	39	25	13	10	2	17	
3		18	39	21	3	2	31	2	8	
4		12	21	30	22	25	21	23	37	
5		30	24	23	27	15	19	26	3	
6		50	39	39	17	8	32	16	2	
7		18	19	25	18	17	23	3	2	
8		21	35	43	24	13	24	14	5	
9		17	49	20	33	17	2	10	18	
10		39	26	28	7	6	2	4	10	
11		24	19	35	21	21	36	23	40	
12		15	30	47	9	1	26	0	38	
13		21	33	28	9	2	25	3	3	
14		16	28	15	23	20	35	8	29	
15		50	36	32	15	8	7	14	0	
16		19	19	22	2	1	14	0	33	
17		17	25	13	28	10	20	14	29	
18		30	35	32	36	16	31	24	25	
19		46	30	27	11	15	8	1	29	
20		45	45	19	34	8	23	13	23	
21		30	19	31	8	5	20	7	21	
22		17	30	27	2	0	27	1	26	
23		17	45	22	28	2	14	3	0	
24		45	21	18	31	10	16	16	22	
25		16	17	29	18	30	24	3	18	
26		39	24	37	25	19	28	18	23	
27		38	21	23	16	15	5	9	22	
28			36	23	24	25	4	27	20	
29			32	27	8	5	3	6	2	
30			41		15	4	10	14	4	
31			48		28	8	17	23	36	
32			30		4		2	1	28	
n		27	32	29	32	31	32	32	32	247
Somme		751	967	801	596	363	567	348	597	4991
Moyenne (m_x)		28	30	28	19	12	18	11	19	20,205
Somme des Carrés		24790	31835	23979	14241	6259	13458	6275	16024	
Carré de la Somme /n		20907	29221	22150	11089	4244	10060	3787	11135	
Som.Carrés Ecarts i		3883	2614	1829	3152	2016	3398	2488	4889	24268
Som.Carrés Ecarts résiduels		24268								
Moyenne générale		20,21								
SCE totaux		36026								
SCE entre Transect		11758								
ddl en colonne		7								
ddl des points		239								
CM entre transects		1679,72								
CM résiduel		101,54								
F		16,54								

Cette valeur de F montre que même au risque de 5 dix millièmes ($F_{tab} = 3,90$) cet herbier (tabl.) est hétérogène.

Le second tableau reprend les 3 premiers transects uniquement car ils sont sensés *a priori* représenter une partie jugée homogène.

Tableau n°10 : Même exemple que dans le tableau précédent où seuls les 3 premiers transects ont été conservés.

Transects relevés	T1	T2	T3	Totaux
1	36	24	27	
2	27	27	39	
3	18	39	21	
4	12	21	30	
5	30	24	23	
6	50	39	39	
7	18	19	25	
8	21	35	43	
9	17	49	20	
10	39	26	28	
11	24	19	35	
12	15	30	47	
13	21	33	28	
14	16	28	15	
15	50	36	32	
16	19	19	22	
17	17	25	13	
18	30	35	32	
19	46	30	27	
20	45	45	19	
21	30	19	31	
22	17	30	27	
23	17	45	22	
24	45	21	18	
25	16	17	29	
26	39	24	37	
27	38	21	23	
28		36	23	
29		32	27	
30		41		
31		48		
32		30		
n	27	32	29	88
Somme	751	967	801	2520
Moyenne	28	30	28	28,63
Somme des Carrés	24790	31835	23979	
Carré de la Somme /n	20907	29221	22150	
Som.Carrés Ecarts i	3883	2614	1829	8326
Som.Carrés Ecarts résiduels	8326			
Moyenne générale	28,63			
SCE totaux	8453			
SCE entre Transect	126,67			
ddl en colonne	2			
ddl des points	85			
CM entre transects	63,34			
CM résiduel	97,95			
F	1,546			

Dans ce cas, F est faible, même très faible compte tenu des degrés de liberté (ddl de 2 et 85). Les 3 transects ont été réalisés sur une partie de l'herbier qui apparaît homogène au risque de 5% (valeur $F_{2 \text{ et } 85}$ de la table 3,10)

ANNEXE II

Commentaires sur les méthodes de comptages de poissons *in situ*

En milieux coralliens notamment, les méthodes de comptages *in situ* ont rendu et rendent encore de grands services. Ce sont les méthodes d'investigation les plus simples et les moins onéreuses. Les chercheurs les utilisent depuis longtemps, le premier travail analytique sur cette méthode est sans doute celui de Harmelin-Vivien *et al.*, (1985)²⁶. Toutefois, chaque chercheur innove en fonction de ses besoins et crée une méthode originale qui lui est propre et qui cadre au mieux avec sa problématique. Mais ce qui importe surtout, est qu'il soit, dans chaque cas, conscient des limites et des biais. En effet, le problème majeur de ces méthodes est de surmonter ou de minorer au mieux les sources de variations créées par la technique elle-même, c'est-à-dire les variations dues aux comportements du poisson, à ses rythmes temporels (circadiens, saisonniers, annuels...) au comportement du ou des opérateurs, à la relation homme-poisson (facteur majeur), puis également aux intempéries, à l'hydroclimat, à la visibilité... et enfin à l'appareillage utilisé et aux traitements des données.

Les poissons sont des vertébrés mobiles. L'eau est leur milieu naturel.

- Chaque espèce présente des comportements qui lui sont propres. Certaines sont nomades sur de plus ou moins grandes surfaces et la présence d'un plongeur sera alors décelée par le poisson soit par hasard, soit à tous les coups selon la taille du domaine d'errance. D'autres sont sédentaires sur des territoires plus ou moins importants, avec gîte ou sans gîte. Certaines ont des activités qui changent, au moins en intensité, avec la marée, la lumière (heure de la journée, couverture nuageuse), avec l'hydrodynamisme...etc.

- Chaque espèce présente également vis à vis des plongeurs des comportements qui leurs sont propres. Certaines fuient aussitôt, d'autres fuient si le plongeur est trop près d'elle, d'autres s'écartent et restent, tandis que d'autres s'écartent, s'arrêtent un instant et fuient, d'autres sont sensibles au bruit du détendeur...etc. Certaines sont attirées par le plongeur et leur nombre autour du plongeur va augmenter avec le temps de la plongée, certaines sont attirées par les espèces qui les précèdent si bien que sans les premières les secondes ne seront pas là, ou en moindre abondance...etc etc.

Les plongeurs sont aussi des vertébrés mobile, mais l'eau n'est pas leur milieu naturel, bien que certains soient beaucoup plus à l'aise que d'autres... ce qui est d'ailleurs ressenti par les poissons. De plus, les plongeurs sont équipés de combinaisons aux couleurs variées, avec des bouteilles quelquefois jaunes, noires, blanches, ou métallisées... avec des détendeurs qui ne font pas tous le même bruit, non seulement en intensité mais en fréquences...etc. Et tout cela, sans compter que la législation interdit à un travailleur subaquatique de plonger seul, ce qui double les problèmes et quoi qu'il en soit l'un des plongeurs ne peut contrôler ce que fait l'autre.

Les chasseurs sous-marins savent que les rencontres avec les poissons et donc leur pêche, seront différentes en fonction de l'heure de la journée, de l'agitation de la mer, de la couverture nuageuse... Qu'au même endroit, un jour la pêche sera bonne, un autre jour elle sera mauvaise. De plus, un bon chasseur aura toujours quelques prises, alors qu'un chasseur médiocre ou débutant pourra être bredouille...etc Il est fréquent que deux plongeurs ou chasseurs plongeant en binôme fassent pourtant des récits différents de leur plongée !

Tous ces travers sont amplifiés par le fait que pour une même espèce, chaque poisson présente individuellement des originalités de comportement notamment en fonction de la taille ou de l'âge et pas toujours de la même manière. Un jeune léthrinid sera moins farouche qu'un individu plus âgé, tandis que ce sera le contraire pour la plupart des méros.

Ces quelques lignes montrent toute la complexité qu'il y a, à comprendre ce que l'on mesure ou note sous l'eau et qu'il faut bien plus qu'une simple visite annuelle en un point du lagon pour apprécier de véritables changements d'effectifs, de biomasse ou encore de structure du peuplement.

La technique

1. La technique la plus utilisée consiste à dérouler un pentadécamètre, puis à compter (ou tout en comptant) les poissons qui se trouvent à l'intérieur d'une bande de 2 ou 5 m de large de part et d'autre du ruban. On comprendra après la lecture des paragraphes précédents qu'un biais considérable est dès à présent introduit, et

²⁶ Harmelin-Vivien M. , J. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, R. Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, R. Chevalier, J. Duclerc, et G. Lasserre (1985) Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: méthodes et problèmes, Rev. Ecol. (terre et Vie) 40: 467-539

Ce travail paru en français, fut à l'époque traduit en anglais et diffusé largement en milieu anglo-saxons par nos collègues de l'Université de Miami (Floride)

qu'il faudra tout le savoir et la maîtrise d'un vieux chercheur pour tirer des enseignements de données ainsi obtenues.

2. Une autre technique dérivée, consiste à ne pas fixer la largeur du transect mais à noter la distance au transect à laquelle chaque poisson se trouve. Pour chaque espèce, la moyenne pondérée des distances individuelles est prise pour largeur de transect... ! alors qu'il ne s'agit en fait, que de la distance moyenne à laquelle les individus d'une espèce particulière se positionnent par rapport au transect. Mais en prenant cette distance moyenne pour largeur de transect alors que l'on est sensés avoir repéré les poissons jusqu'à la limite de visibilité, on diminue artificiellement la surface de référence et par voie de conséquence, on augmente la densité. C'est malheureusement la technique la plus utilisée en NC. Elle est préconisée par la CPS et consacrée dans un petit fascicule. Elle a toutefois l'avantage d'obliger à la rigueur. Elle minore donc les différences entre plongeurs et donne des valeurs relatives de qualité.

De plus, le traitement du volume considérable de données obtenues de cette manière en NC, donne une excellente idée de la position moyenne des individus de chaque espèce vis à vis d'un plongeur moyen.

3. Une autre idée est de considérer qu'un poisson est plus sûrement vu de l'opérateur s'il est proche que s'il est loin de celui-ci. Et qu'il y a donc, avec l'éloignement, une décroissance de la probabilité de voir un poisson. Cette idée est mise en pratique avec succès sur la terre ou dans les airs où la distance de visibilité est importante et pour des objets (arbres, chamoix, oiseaux, bancs de thons, baleines...) dont la répartition spatiale n'est pas sensible à la présence de l'opérateur. Sous l'eau la rupture de visibilité est le plus souvent franche et a lieu à quelques mètres de l'opérateur et comme nous l'avons expliqué, dans bien des cas, la présence ou l'absence d'un poisson est en partie due à la présence de l'opérateur. Cette technique n'est donc pas appropriée au milieu subaquatique.²⁷

4. Une dernière idée, développée récemment par L. Vigliola à la CPS, consiste à noter la distance de visibilité, puis l'ensemble des poissons qui sont visibles autour du plongeur. Les effectifs de chaque espèce sont ensuite coefficientés. La valeur numérique du coefficient est obtenue grâce aux données obtenues par la méthode du §2 précédent (données en grande partie dues à M. Kulbicki de l'IRD). C'est sans aucun doute la meilleure façon de procéder. Cette méthode n'est cependant pas parfaite ne serait ce que par le fait que les poissons les plus farouches ne seront jamais dans le décompte, même s'ils étaient présents sur la zone.

Méthode proposée

La standardisation du protocole que nous proposons permet de réduire au maximum toutes les sources de variations qui pourraient provenir de l'environnement et de l'opérateur. Ces contraintes, permettent au mieux les comparaisons. De plus la méthode que nous proposons apportera des données pouvant, si c'est souhaitable, être traitées par la méthode précédente du §4.

²⁷ Et la publication Kulbicki et Sarramegna (1999) *Aquat. living Resour.* 12 (5) : 315-25, qui compare les deux méthodes (§ 2 et §3) ne prouve que le fait que ces deux méthodes majorent de la même manière le peuplement, la seconde ne pouvant pas servir de justification à la première.

ANNEXE III

Pertinence des indicateurs halieutiques "classiques" dans la gestion des pêcheries multispecifics lagunaires.

Les surpêches et l'évolution "colapsismique" de certaines pêcheries commerciales laissent penser qu'une remise en cause de l'halieutique classique doit être faite, et que les indicateurs de base comme les « prises par unité d'effort de pêche » (p.u.e.) et la « Taille Moyenne des individus capturés » (TM) sont à abandonner. Certains ajoutent même que cette inadéquation serait encore plus forte pour la pêche côtière et particulièrement pour la pêche en milieu récifal où elle serait accentuée par l'idée que le caractère multispecific de captures serait un argument aggravant justifiant ce rejet.

Même si de nouveaux indicateurs seraient évidemment les bienvenus, ce précédent raisonnement est néanmoins erroné et cela pour deux raisons.

1 - Dans le cas des surpêches des pêcheries commerciales, ce ne sont pas les méthodes classiques de la science halieutique qui n'ont pas permis de bien gérer les stocks. En effet, dans la quasi totalité des cas, les recommandations des halieutes n'ont pas été suivies. Ce sont au contraire des politiques visant à régler des problèmes sociaux de court terme qui leur ont été préférées. En conséquence, le système naturel "proies-prédateurs" que devrait constituer le couple "pêcheurs-ressource" ne peut plus évoluer naturellement. Des aides directes ou indirectes compensent la faiblesse des prises. Dans un tel contexte d'aides, ce ne sont plus les revenus issus de la ressource qui permettent de continuer de prélever celle-ci mais les aides. Aucune situation d'équilibre « raisonnable » (MSY) n'est alors possible, et l'on peut pêcher en théorie jusqu'au dernier poisson, puisqu'à la limite, le seul statut de pêcheur est rémunérateur. Il y a quelques décennies, la "surpêche" était un concept uniquement économique, depuis la fin des années 80, la surpêche est devenue une réalité biologique due à toutes ces erreurs politiques.

De plus, la tentation est souvent grande chez les halieutes, d'utiliser les modèles descriptifs pour des modèles prédictifs ! Les premiers n'étant, de plus faibles, que dans la limite de la précision et de l'exactitude des observations qui ont permis de les élaborer.

Il est vrai que la modélisation s'éloigne quelquefois des réalités pragmatiques ; soit du fait d'une trop grande simplification, soit du fait de l'impossibilité que nous avons à connaître la valeur de certains paramètres (comme la mortalité naturelle par exemple). Cependant, cela ne remet pas en cause la pertinence de quelques paramètres classiques de description des systèmes halieutiques qui demeurent des valeurs sûres. C'est le cas de l'évolution de la taille moyenne dans les captures et de la p.u.e. lorsqu'elle est issue d'un paramétrage de l'u.e. bien réfléchi (voir plus loin).²⁸

2 – Dans le cas des milieux coralliens, l'argument à charge avancé serait le fait que ces peuplements sont hautement diversifiés alors que ces méthodes ne seraient conçues que pour des approches spécifiques. C'est faux. Certes la littérature abonde en études spécifiques, mais tout simplement parce que les pêcheries industrielles sont classiquement monospécifiques. Mais rien n'interdit qu'une approche globale multispecific puisse être réalisée. Ce n'est pas sur le registre de l'unité de population que reposent les modèles mais sur la stabilité des biomasses exploitées. Nous reviendrons plus loin sur ce point. Ainsi, le modèle global simple de Schaeffer (Schaeffer, 1954)²⁹ a déjà été amendé pour un ensemble multispecific corallien par Kirkwood (1982)³⁰. et la puissance de calcul qu'offrent les ordinateurs actuels autorise même des analyses structurales multispecifics. Dans cet ordre d'idée, il y a plus de dix ans, Do Chi (com. pers.) mit cette idée en pratique en traitant la structure d'âges des populations par des ACP. Des analyses typologiques multitableaux peuvent également très bien rendre compte de l'évolution des structures d'âges et des assemblages d'espèces d'un peuplement multispecific soumis à la pêche.

²⁸ La réduction en Europe de l'effort de pêche exprimé en « cv » à la fin des années 70, fut un fiasco sur le thème de la réduction de la mortalité par pêche, car le cheval vapeur d'un bateau des années 50-60, n'a rien à voir en terme d'efficacité de pêche avec un cheval vapeur des années 80. Et la réduction par exemple de 30 % de l'effort de pêche méditerranéen exprimé en cv, a correspondu en fait à une augmentation globale importante de l'effort, en termes d'impact sur la ressource.

²⁹ Schaeffer M.B. 1954 – Some aspects of the dynamics of populations important to management of the commercial marine fisheries. *Bul. Inter. Am. Trop. Tuna Comm. 1* (2) : 27-56

³⁰ Kirkwood G.P. 1982 – Simple models for multispecies fisheries : 83-98, in Pauly D. & Murphy G.I. (Eds): Theory and management of tropical fisheries. ICLARM conference Proceeding 9:360 p

La bonne utilisation de ces paramètres

Dans le cadre de la gestion des pêcheries lagonaires l'auteur continue de penser que les indicateurs classiques que sont la taille moyenne (TM) dans les captures et de la p.u.e. sont pertinents

Ces paramètres ont au moins cinq avantages majeurs.

- Premièrement, ils transmettent une information intégrée sur le long terme : la TM est une information intégrée sur la ressource, la p.u.e. est une information intégrée sur la ressource et sur la pêche.
- Deuxièmement, ils prennent en considération le facteur temps. Ils considèrent ainsi les captures comme la mesure d'un flux de biomasse et non comme une valeur instantanée toujours conjoncturelle.
- Troisièmement, ils traitent directement de la capture et pas indirectement comme le fait la description du peuplement en place, lequel n'a pas nécessairement, au moins dans sa totalité, vocation à supporter les captures.
- Quatrièmement, (point majeur) ils permettent d'apprécier la part de l'effort de pêche sur les fluctuations du stock alors que celles-ci peuvent dépendre de beaucoup d'autres phénomènes (intempéries, pollutions... recrutement exceptionnel...).
- Cinquièmement - et c'est surtout vrai pour la TM - ils servent de signal d'alarme et doivent permettre de se préoccuper d'une espèce avant qu'elle ne soit gravement en danger.

La p.u.e.

Comment établir la p.u.e.

L'obtention des aspects quantitatifs des p.u.e. ne posent pas de réel problème. Ils demandent des moyens pérennes et donc de la persévérance. Les aspects qualitatifs, c'est-à-dire le choix de la nature de l'Unité de l'Effort de pêche, demandent en revanche, une bonne compréhension du cas, des connaissances d'expert et souvent de l'astuce. Cela fait appel non seulement à la connaissance des techniques de pêche utilisées et à celles des comportements des espèces recherchées, mais également aux aspects sociaux, économiques, culturels, géographiques, climatologiques, ...etc. Chaque cas est particulier et il ne faut pas hésiter à tenir compte de détails structuraux de la pêche ni à utiliser des coefficients pour pondérer les paramètres qui composent l'Unité d'Effort. A titre d'exemple, dans le contexte de la pêche côtière, l'unité "bateau" peut changer de nature et d'efficacité en fonction de nombreux facteurs souvent synergiques : la motorisation, la taille et l'architecture, l'engin de pêche embarqué, le nombre de pêcheurs..., les espèces ciblées,... et également les caractéristiques "socio-économico-culturelles" locales. Tout cela doit être considéré pour établir et ajuster l'Unité d'Effort de pêche.

La structuration de l'espace mental des "ingénieurs halieutes" qui mettent en place les questionnaires de recherche d'informations, diffère souvent de la structuration des espaces mentaux des pêcheurs soumis aux enquêtes. L'établissement d'Unités d'Effort basés sur la logique des premiers amène quelquefois surprises et déconvenues³¹. Les exemples ne sont pas rares. Un exemple : à Lifou le régime social Coutumier gère l'accès à la pêche à la langouste et l'effort de pêche n'est donc pas linéairement corrélé à la démographie. Autre exemple : en Nouvelle-Calédonie la majorité des barques sont conçues pour les espaces côtiers (mangrove, estuaires...), elles ne peuvent donc pas (ou mal) affronter le lagon quand les alizés dépassent 15 nd. La distribution spatiale de l'Effort s'en trouve donc grandement influencée. Autre exemple : le nombre de pêcheurs par embarcation doit être pris en compte s'il s'agit de pêche à la ligne à main car il change l'efficacité du bateau. Ce nombre n'a en revanche pas d'incidence s'il s'agit de pêche au filet, il est intimement lié et donc redondant à la taille du bateau. Autre exemple : la langouste se pêche à pieds. Un groupe de deux personnes est plus efficace que deux individus isolés. Cependant, dans un groupe de trois, l'un d'eux porte le sac contenant les captures des deux autres et ne pêche pas, mais c'est alors le temps de pêche par sortie et son efficacité qui en seront modifiés ...etc, etc.

Chaque cas est particulier et mérite d'être analysé dans le détail. Sans ce travail préliminaire les fluctuations de p.u.e. peuvent être ininterprétables.

³¹ Les questions, dans le sens enquêteur-enquêtés ou les réponses dans le sens inverse sont souvent mal comprises ou interprétées au deuxième degré !

Utilisation de la p.u.e.

Pour utiliser la p.u.e., il convient de s'assurer que les captures sont bien estimées, c'est-à-dire de manière au moins comparative, et que l'Unité d'Effort de pêche est bien choisie. Dans ces conditions, la p.u.e. devient un remarquable « Indice d'Abondance ». Remarquable, car il traduit l'abondance de la ressource réellement accessible au pêcheur compte tenu des caractéristiques du couple pêche-ressource. L'évolution spatiale mais surtout temporelle d'une p.u.e. bien évaluée est également instructive et l'interprétation de ce type de variations est une excellente aide à la décision.

Quant à la relation qui lie la p.u.e. à l'effort, (fig n°1) son intérêt réside dans le fait qu'elle renseigne sur l'implication de la pêche (tout au moins sous sa facette exprimée par la nature de l'Unité d'Effort choisie) à expliquer les fluctuations de l'abondance de la ressource. Bien des fois on a pu conclure à l'inefficacité de ce paramètre parce qu'on a refusé de chercher ailleurs les causes réelles de la chute des Indices d'abondance (pollutions, destruction des nurseries...).

L'utilisation ultérieure de la p.u.e. dans un modèle global quelconque n'est donc qu'une chose très secondaire et souvent inutile ou incorrecte.

Toutefois, le modèle global de Scheaffer ou l'un de ses dérivés, permet, par nature, de juger d'une situation d'équilibre ou de non équilibre. Le cas de la pêche de l'atoll de Tikehau (cf. encart I) est, à ce titre, intéressant. L'historique des captures dans ce lagon montre que dans les lagons, la biomasse des stocks considérée espèce par espèce, fluctue largement alors que la biomasse globale change peu ou plus lentement. Rappelons ici que le modèle de Scheaffer, dérivé du modèle de Verhulst, a pour fondement $dB = 0$ (variation de biomasse nulle). Ils décrivent donc des situations de biomasses à l'équilibre, que celles-ci soient celles d'une population ou que ce soient celles d'un peuplement. Il apparaît ainsi que les peuplements insulaires non seulement se prêtent, mais sans doute mieux que les autres, à de telles approches car la forte biodiversité contribue certainement à la stabilité globale de la biomasse ou en tout cas à plus de résilience de sa part. Ces modèles trouvent ainsi dans ces milieux insulaires, et justement parce qu'ils sont isolés, une application encore plus heuristique qu'ils n'en avaient lors de leur conception pour les zones tempérées de la planète.

Un autre aspect important du calcul de la p.u.e. et des informations d'enquêtes qui lui sont associées, réside dans l'aide qui peut être apportée à l'artisan pêcheur opérant dans un système monétarisé. Dans le contexte socio-culturel qui nous occupe, les rentrées d'argent dans un foyer d'artisan pêcheur sont souvent d'origines multiples et le chef de famille distingue difficilement l'origine de ses recettes et la destination des dépenses. Il en résulte qu'une activité de pêche peut perdurer à perte sans que le pêcheur n'en prenne conscience. Dans ce cas, les enquêtes menées pour l'établissement de p.u.e. permettront bien souvent d'apporter des conseils profitables aux pêcheurs sur le registre des rendements de leur activité.

La taille moyenne (et la taille minimale de capture)

La taille d'un poisson, d'un crustacé ou d'un mollusque est assez bien corrélée à son âge. Notamment chez les plus jeunes. L'évolution de la taille moyenne individuelle dans les captures traduit donc l'évolution de l'espérance de vie des individus qui constituent les stocks. La variation de ce paramètre est un indicateur heuristique car elle intègre sur le long terme le bilan du couple « recrutement-mortalité ». Il s'agit ainsi d'un indicateur qui permet de répondre aux interrogations spécifiques, c'est-à-dire relatives à l'état d'un stock dans le contexte de l'exploitation même si celle-ci s'adresse à un peuplement multispécifique. Ces interrogations sont au centre des préoccupations des gestionnaires (cf. encart II). Dans la mesure où son calcul repose sur un échantillonnage correctement élaboré, la Taille Moyenne est un indicateur de type S.O.S. (Il convient donc tout à fait à la philosophie de la « Sonnette d'alarme ». C'est un signal d'alarme dont le suivi permet le diagnostic de l'état des ressources en routine. Lorsqu'il donne l'alarme, l'analyse du système amènera le gestionnaire à proposer les mesures *ad hoc*, visant soit à modifier en nature ou en importance la mortalité par pêche soit à augmenter le recrutement, ce qui est certes moins facile mais pas toujours impossible (cf. les Acadja dans les lagunes du Bénin ou la Valliculture dans celles d'Italie).

Ce paramètre amène naturellement à la notion de "taille minimale de capture". Cette dernière qui devrait être calculée pour chaque espèce dans le contexte de chaque type de pêche, est souvent présentée aux pêcheurs comme une contrainte au seul bénéfice de la ressource. C'est un tord. L'estimation d'une taille minimale de capture est en premier lieu, le résultat d'un calcul basé sur la croissance et la mortalité et qui propose donc une taille dont le respect, par l'ensemble des pêcheurs, procure le meilleur profit à l'ensemble des pêcheurs. Idéalement, il serait nécessaire de la fixer avant que des problèmes de surpêche ne se posent (cf. la

langouste de Nouvelle-Calédonie), car, dans ce cas, le nécessaire retour à "la bonne taille" devient effectivement une contrainte pour les pêcheurs, contrainte d'autant plus dure que le temps de "mal-pêche" fut long. Des aides sociales sont alors nécessaires, aides qui bien souvent deviennent pérennes et le cycle décrit en introduction est alors amorcé. Le système ainsi dénaturé ne peut qu'évoluer vers le colapse.

Conclusions

En toile de fond ce propos souligne la différence entre un travail d'expertise qui conduit à des conseils pour des règles de conduites et celui d'une étude scientifique qui doit rendre compte de la réalité avec l'exactitude et si possible beaucoup de précision.

Ainsi,

- L'exemple sur la pêche Pomotu montre que le suivi des captures même grossièrement obtenues et l'utilisation des modèles les plus simples peuvent permettre le diagnostic d'une pêche artisanale lagonaire. Celle-ci étant donc prise dans sa globalité en faisant abstraction du caractère polyspécifique des captures. (Cas n°I)
- L'exemple sur les Siganidés de Nouvelle-Calédonie prend globalement une famille de poissons, où, comme cela est souvent le cas, une espèce domine. Il traite alors d'une part les captures globales pour un diagnostic général et fait d'autre part appel aux paramètres biologiques de l'espèce principale pour répondre précisément à une question des gestionnaires. (Cas n°II)

Ces deux exemples sont des travaux d'expertises, le suivant est un travail de recherche,

- L'exemple de l'Epinepheliné *Epinephelus cyanopodus*, plus élaboré, fait appel à un suivi du stock et une analyse de données plus fine, pour répondre à une question que de toute façon ne se posent pas les gestionnaires ! En effet, le travail scientifique explique pourquoi le stock en question va apparemment bien. Il ne suscite donc aucune inquiétude pouvant à court terme générer des problèmes sociaux ou économiques, voire encore écologiques... mais l'étude du chercheur montre que cette bonne santé du stock n'est qu'un hasard de conjoncture (Cas n°III)

Ainsi, ces deux indicateurs complémentaires que sont « la p.u.e. » et « la taille (ou l'âge) moyenne dans les captures » associés aux interprétations des analyses qu'ils autorisent et des études biologiques qu'ils suscitent, demeurent de puissantes aides à la gestion. Ils sont tous les deux obtenus à partir des captures et ont ainsi l'avantage d'intégrer sans avoir à les mesurer, les potentialités réelles des peuplements en terme de régénération, de croissance et de résilience à la mortalité additionnelle que constitue la pêche.

Une gestion bien comprise ne peut donc pas faire l'économie d'un suivi des captures ni de celui de la pêche (Effort nominal pour des extensions d'analyses économiques, mais surtout l'Effort effectif), et ne peut pas faire non plus l'impasse sur une connaissance minimale de la biologie des espèces exploitées ; en particulier, celle de l'étude de la croissance individuelle.

Au-delà de ce qui vient d'être dit, il est sans doute bon de souligner que la pêche réduit par nature l'espérance de vie des individus qui constituent la ressource. Ainsi, chacun s'accordera à admettre qu'on ne peut avoir en même temps un peuplement pléthorique fait de gros et vieux individus et des captures importantes soutenues. Aussi, dans les zones où l'usage du plan d'eau et de sa ressource sont multiples, l'art de la gestion résidera dans un bon dosage du compromis. Et un grand progrès sera réalisé dès lors que les pêcheurs auront admis qu'ils ne sont pas les uniques attributaires (voire propriétaires) de la ressource et que la ressource vivante n'est plus nécessairement qu'une ressource alimentaire.

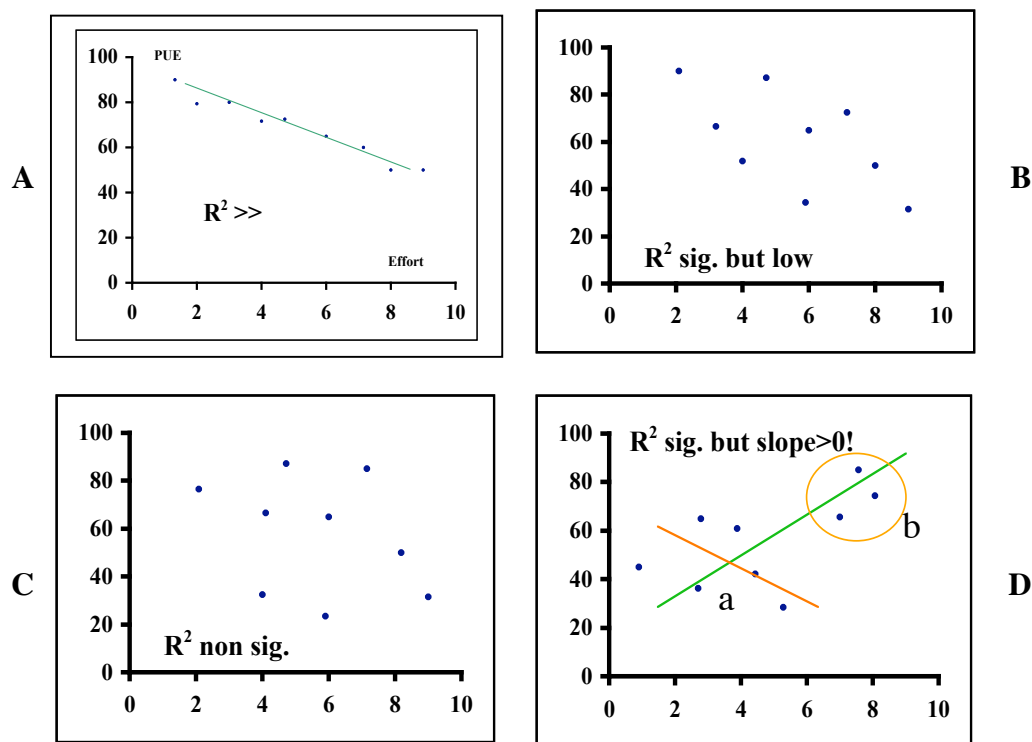


Fig n° 1 : $p.u.e.^{32} = f(\text{Effort})^{33}$ Les différents cas types.

Le coefficient de détermination R^2 traduit la dépendance de la production (du stock) par unité d'effort (pue en ordonnée) relativement à l'Effort de pêche considéré par l'Unité (bien) choisie (f en abscisse). La **figure A** où R^2 est voisin de 1, décrit donc un stock dont les variations constatées de p.u.e. sont dues principalement à l'Effort de pêche considéré. Le corollaire est qu'une action sur cet Effort aura des conséquences tangibles sur le stock et qu'ainsi le coût de cette action sera un bon investissement et les actions entreprises de bonnes mesures de gestion. La pente de la droite est un indicateur de sensibilité de la pue à cet effort. Elle mesure la vitesse de réaction du stock aux mesures envisagées et permet d'apprécier éventuellement *le retour sur investissement*. (cas I). La **figure B** montre une situation où les variations du stock sont fortes mais peu liées à l'Effort de pêche considéré dans l'unité de l'abscisse. L'investissement mis dans une modification de l'Effort ne sera que d'un faible intérêt et d'autant plus faible que R^2 est petit, car dans ce cas, d'autres facteurs interviennent. (cas II et III). La **figure C** montre une situation où seuls des facteurs, autres que la pêche, ont une action sur la ressource (cas II - les Siganidés dans la zone de lagon proche de Nouméa). Enfin, la **figure D** montre une situation où un suivi biologique en parallèle montre qu'il s'agit, malgré l'apparence, d'une situation de type B et non de type C. Des événements importants (ici le recrutement) ont lieu de manière exceptionnelle. Un test de type Cochran peut séparer les deux lots de points a et b. Cette interprétation confortée par l'observation de terrain (comme dans le cas III - *Epinephelus cyanopodus* du lagon sud-ouest) distingue le lot "a" qui traduit la situation ordinaire où l'effet de l'Effort peut être apprécié, du lot "b" qui correspond aux états du stock issus d'événements extraordinaires comme un exceptionnel recrutement.

Seuls les cas A, B peuvent être ensuite interprétés dans des modèles globaux de type Shaeffer. Ce type de représentation n'apporte d'ailleurs pas nécessairement plus d'informations pratiques, sauf à utiliser plus en avant le modèle avec des données de nature économique comme dans l'exemple de la pêcherie de Rangiroa (cas I).

³² La pue est soit en données brutes ou en transformées log. Toutes autres transformations n'a à notre sens aucune réalité biologique et restent des jeux mathématiques sans intérêt pratique.

³³ Il faut souligner l'importance du choix de l'Unité d'Effort pour que les variations constatées ne soient pas dues à la mesure de l'Effort.

Cas n°1 :**Le cas des pêcheries artisanales lagunaires aux Tuamotu. (issu de Galzin *et al*, 1989)³⁴**

Les données de pêche de Tikehau (Morize, 1984, 1985, Grand, 1985 et Stein 1988) montrent qu'entre 1982 et 1987, les captures d'une même espèce varient annuellement d'un facteur 1 à un facteur 60 alors que les captures totales varient peu, d'un facteur 1 à un facteur 1,2. Indépendamment des considérations écologiques et socio-économiques que cela suppose, ces données chronologiques montrent que dans ce type de pêcherie les modèles globaux de surproduction ne peuvent être appliqués qu'à la capture totale. C'est ce qui a été fait à Rangiroa où les PUE et les statistiques de pêche ont pu être établies sur la période allant de 1972 à 1987. L'Unité d'Effort et les captures considèrent uniquement les "parcs à poissons"³⁵.

Dans cet exemple la relation $PUE = f(E)$ montre un lien fort entre le stock accessible et l'unité d'effort choisie (fig 1a). Le modèle auquel elle s'ajuste (Fox, 1970³⁶ - fig 1b) indique que pratiquement parlant, un effort compris entre 50 et 100 parcs donne une production maximum voisine de 280 à 300 tonnes. Transposé dans un modèle économique (fig. 1c) ce modèle indique que le maximum de rentabilité d'un parc est obtenu pour un effort de pêche total compris entre 8 et 15 parcs seulement (fig c). Il est alors intéressant de noter que le nombre de parcs à Rangiroa est passé d'environ 100 en 1972 alors que la pêche était de nature vivrière et que la recherche d'un maximum de biomasse était donc l'objectif, à 15 parcs vers la fin de la période d'étude (1987), c'est-à-dire quand la pêcherie s'est monétarisée et que l'objectif était donc devenu de maximiser les bénéfices.

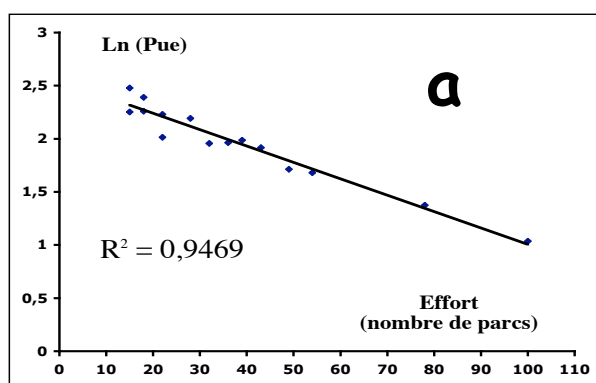
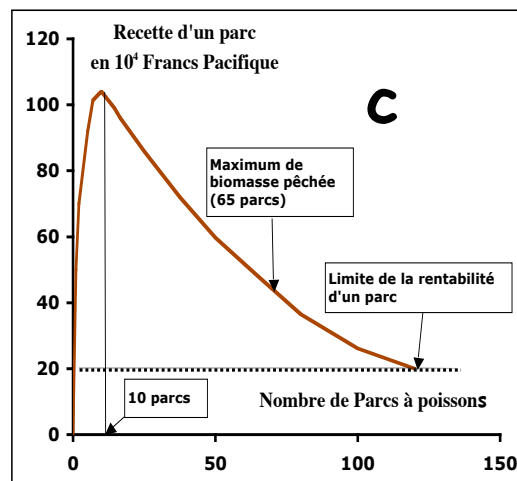
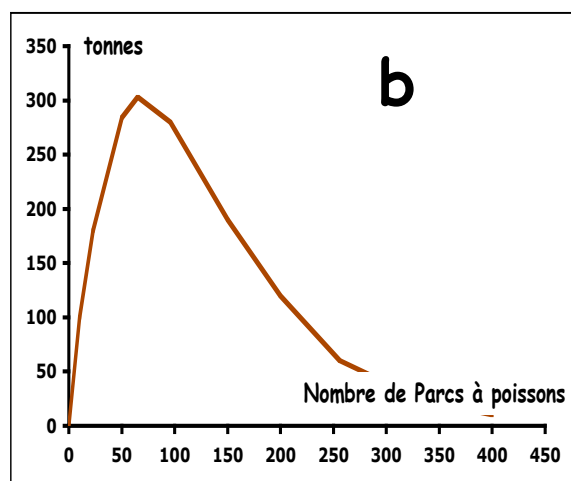


Fig. 1 a : Relation entre la p.u.e. et l'Effort dans le lagon de Rangiroa (1972-87). Les variations de l'effort de pêche expliquent presque intégralement (à 94%) celles de la p.u.e.

Ib , Ic : Modèles de production halieutique en biomasse (b) et économique (c) issus du modèle de Fox (1970). Dans ce dernier cas, il s'agit de la modélisation de la recette moyenne d'un parc en fonction du nombre de parcs en activité pour les années 1972-87.



³⁴ Galzin R., Chauvet C., Conte E., Morize E., Stein A., 1989 – Dégénérescences naturelles et/ou anthropiques en zones côtières intertropicales et répercussions possibles sur l'économie des pêches : le cas des récifs coralliens.

³⁵ Les parcs à poissons sont des trappes, c'est-à-dire des pièges à poste fixe.

³⁶ Fox W.W. 1970 – An exponential yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.* 99 : 80-88

Cas n°II :

La pêcherie de Siganidae du lagon sud-ouest de Nlle-Calédonie. Dans laquelle *Siganus argenteus* est largement prédominant

(LERVEM, 2003)³⁷

La taille moyenne dans les captures de Siganidés (essentiellement *Siganus argenteus*) étant jugée petite, une étude fut entreprise. La Province Sud de N^{lle}-Calédonie dispose de relevés de pêche artisanale depuis 1992. Le lagon est divisé en carrés statistiques. La technique de pêche aux Siganidés est la senne à poche. L'unité d'Effort fut donc « la journée-barque de pêche » Les figures a et b montrent respectivement le résultat obtenu dans l'extrême sud du lagon, zone essentiellement exploitée par les artisans pêcheurs, et le résultat obtenu autour de Nouméa, zone où les captures autres qu'artisanales (plaisancières) sont les plus importantes. (fig II)

L'étude de la croissance individuelle de *Siganus argenteus* a montré que les captures s'opéraient majoritairement sur les classes d'âge II et III, et ceci pour deux raisons. La première est relative au marché : le chaland calédonien préfère le Siganidé "portion" de moins de 200 g. La seconde est relative à la technique de pêche : les Siganidés sont capturés à la senne sur les platiers récifaux peu profonds. Ce type de biotope n'abrite que les jeunes classes d'âges. A partir de la 4^e année de vie ces Siganidés quittent les zones peu profondes et ne sont (donc) plus accessibles à la senne. Il y a ainsi une *réforme* naturelle des plus vieilles classes d'âge. Mais, grâce aux résultats de cette étude scientifique biologique, une simulation a permis de montrer qu'avec une taille minimale de capture légèrement majorée, le même Effort de pêche pourrait produire 50 % de biomasse en plus !

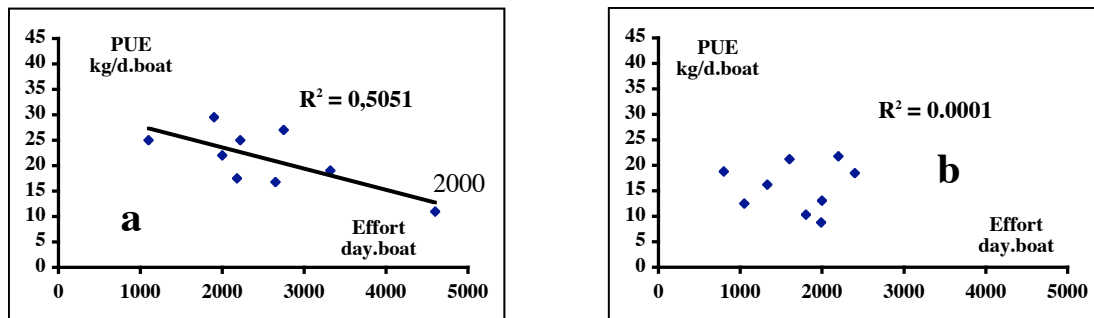


Fig. II: Evolution des p.u.e. en fonction de l'effort. En « a » Il s'agit des carrés statistiques éloignés de Nouméa. Les caractéristiques de la droite laissent penser que le stock est de manière satisfaisante à l'équilibre et que la moitié de ses variations sont expliquées par l'Effort de pêche artisanal. Une autre information du graphique porte sur l'année 2000 : l'Effort de 2000 est trop élevé. Une étude économique montrerait que le rendement d'une Unité d'Effort aura sans doute été affectée. Cette année là, les pêcheurs auront pêché du Siganidé avec des rendements financiers médiocres ou peut être même à perte ! En « b » il s'agit du carré statistique où se situe Nouméa. Il n'y a aucune corrélation entre la prise et l'Effort de pêche artisanal. La pêche artisanale n'explique donc pas les fluctuations de la p.u.e., d'autres facteurs ont beaucoup plus d'influence. Les pêches récréatives et vivrières ont sans doute dans cette zone une influence plus forte que la pêche de métier. Ce sont donc les activités de plaisance et vivrières qu'il faut étudier et encadrer avec un regard écologique et de préservation des paysages plutôt que la pêche artisanale avec une optique économique de marché.

³⁷ LERVEM 2003 – Analyse des fiches de pêche du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Rapport LERVEM-UNC / Province Sud. : 40 p

Cas III :**Le cas d'*Epinephelus cyanopodus* (Loche bleue) du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie.**

(LERVEM, 2003)

Les statistiques de pêche de la Direction aux ressources naturelles de la Province Sud consacrent depuis 1996 une rubrique spéciale à *Epinephelus cyanopodus* (la "Loche bleue"). Ce poisson est pêché principalement à la ligne à main. L'Unité d'Effort de pêche tient donc compte du nombre de pêcheurs par barque en plus du nombre de jours par sortie et du nombre de barques. La droite des p.u.e. en fonction de l'Effort montre une pente positive (!) due notamment aux points des années 1999 et 2000 (fig. IIIa). On devrait donc conclure qu'il n'y a pas de relation entre l'Effort et la PUE comme pour le graphique b du cas II. Mais cette espèce fait par ailleurs l'objet d'une étude et d'un suivi du recrutement dans le milieu naturel depuis 1992. Ce suivi annuel donne un Indice d'Abondance des recrues dans la zone (fig IIIb) et l'étude donne la croissance individuelle (fig IIIc et IIIId). A la lumière de ces connaissances les p.u.e. deviennent alors interprétables et un (ré)ajustement à un modèle classique peut être proposé (fig. IIIe).

L'importance du recrutement d'*Epinephelus cyanopodus* varie annuellement d'un Indice 1 à 60 (fig IIIb). L'année 1996 fut une année de recrutement exceptionnel ($I = 60$) suivi en 1997 d'un Indice 17. Si l'on excepte ces deux années, l'observation sur 11 années (1992-2002) montre un Indice de Recrutement moyen égal à $1,9 \pm 1,2$. Les stocks d'*E. cyanopodus* sont donc classiquement renouvelés par des recrutements de faible magnitude. A l'échelle d'une décennie ou plus, ce recrutement en "bruit de fond" est ponctué de manière aléatoire par des recrutements considérables dont l'importance peut dépasser, à eux seuls, le cumul des recrutements des années intermédiaires.

L'équilibre du stock est donc apériodiquement rompu. Ces recrutements importants, imprévisibles et incertains entraînent quelques années plus tard une augmentation de la p.u.e. qui peut même être accompagnée d'une augmentation de l'Effort ! C'est ce que nous observons ici (fig IIIa). La réussite du recrutement 1996 s'est traduite 4 années plus tard, par une arrivée massive de poissons en âge d'être exploités (45 cm de LT). Une autre interprétation du graphe de la figure IIIa est donc alors possible. Les points des années 96, 97 et 98 peuvent même être utilisés dans un modèle global (fig IIIe - mais ce dernier point est évidemment peu rigoureux. Une série historique de données plus longue serait moins hasardeuse). Mais faute de mieux, cette démarche permet de se faire, en situation d'expertise, un jugement sur le niveau de l'Effort de pêche relativement aux capacités de ce stock. Dans le cadre d'une expertise cette démarche est tout à fait recevable.

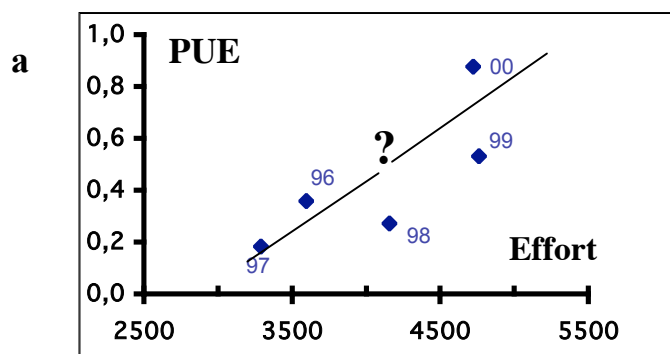


Fig III a : Evolution de la pêche de *Epinephelus cyanopodus* sur l'ensemble du lagon Sud-Ouest durant les années 1996 à 2000. Les années 1999 et 2000 sont influencées par le fort recrutement de 1996 (cf fig b). Les années 1996-1998 sont des années « normales », c'est-à-dire des années où aucune classe d'âge ne domine nettement la démographie.

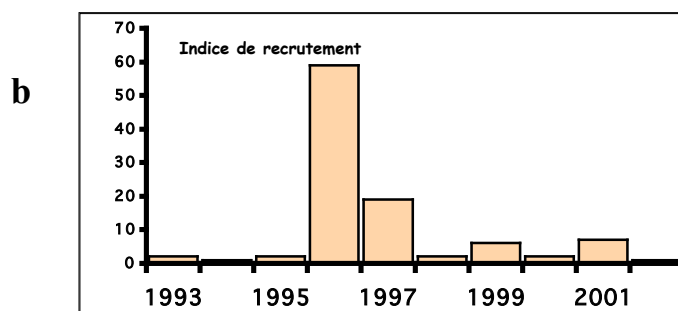


Fig III b : Estimation des recrutements annuels d'*E. cyanopodus* dans le lagon sud-ouest. Les indices d'abondance sont obtenus par comptages sur transects dans les nurseries.

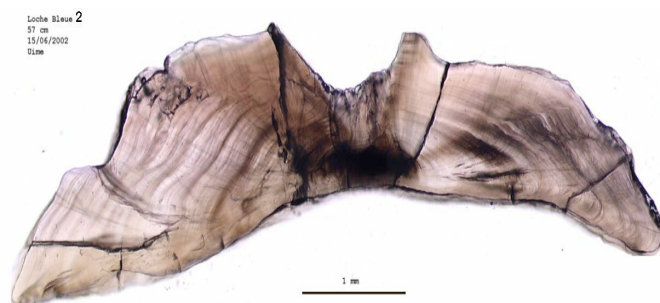


Fig III c : Otolithe d'un *Epinephelus cyanopodus* recruté en 1996 (ponte 95) et capturée en 2002.

Les cohortes 1996 et 1997 ont encore une forte incidence sur les captures en 2005.

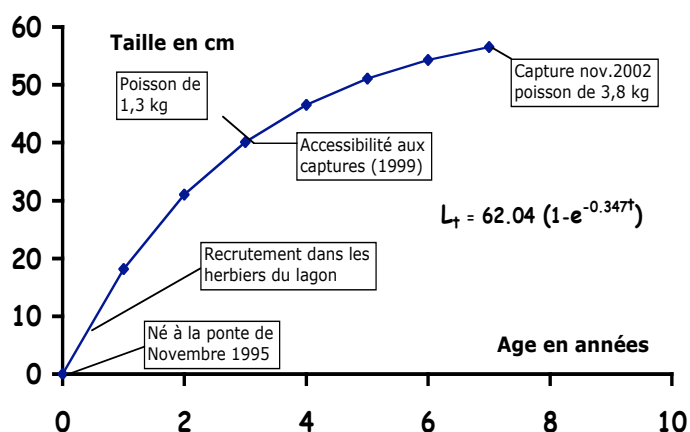


Fig III d : Croissance individuelle d'un *Epinephelus cyanopodus* né en 1995 et recruté dans le lagon en 1996, puis dans la pêcherie à partir de 1999.

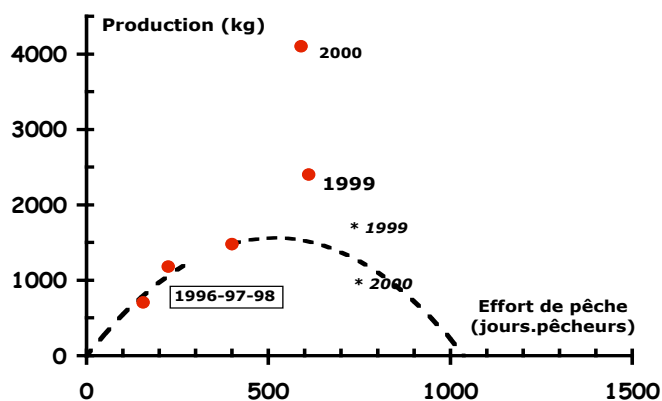


Fig III e : Modélisation (sans intérêt) selon le modèle de Shaeffer des données halieutiques sur *Epinephelus cyanopodus*.

Les points en italiques 1999 et 2000 sont les points qui « auraient probablement été constatés » si l'Effort de ces deux années s'était développé à l'identique mais sans l'apport dû au recrutement des années 1996 et 97.

ANNEXE IV Bibliographie sur les dosages de métaux lourds dans les otolithes de poissons

- BATH G.E., THORROLD S.R., JONES C.M., CAMPANA S.E., McLAREN J.W., LAM J.W.H., 2000. Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochim.Acat.*, 64 : 1705-1714.
- BERGENIUS M.A.J., MAPSTONE B.D., BEGG G.A., MURCHIE C.D., 2004. The use of otolith chemistry to determine stock structure of three epinepheline serranid coral reef fishes on the Great Barrier Reef, Australia. *Fisheries Research*, 72 : 253-270.
- CAMPANA S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths : pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 188 : 263-297.
- CASSELMAN J.M., 1982. Chemical analysis of the optically different zones in eel otoliths, *Proc. 1980 North American eel conference. Ont. Fish. Techn. Rep. Ser.*, 4 : 74-82.
- DUFOUR E., GERDEAUX D., 2001. Apports des isotopes stables aux études écologiques sur les poissons. *Cybiu*, 25 (4) : 369-382.
- EDMONDS J.S., MORAN M.J., LAPUTI N., MORITA M., 1989. Trace element analysis of fish sagittae as an aid to stock identification : pink snapper (*Chrysophrys auratus*) in Western Australian Waters. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.*, 46 : 50-54.
- FORRESTER G.E., SWEARER S.E., 2002. Trace elements in otoliths indicate the use of open-coast versus bay nursery habitats by juvenile California halibut. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 241 : 201-213.
- GILLANDERS B.M., 2001. Trace metals in four structures of fish and their use for estimates of stock structure. *Fish. Bull.*, 99 : 410-419.
- GILLANDERS B.M., 2005. Using elemental chemistry of fish otoliths to determine connectivity between estuarine and coastal habitats. *Estuarine, Coastal and shelf Science*, 64 : 47-57.
- GILLANDERS B.M., KINGSFORD M.J., 1996. Elements in otoliths may elucidate the contribution of estuarine recruitment to sustaining coastal reef populations of a temperate reef fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 141 : 13-20.
- HANSON P.J., ZDANOWICZ V.S., 1998. Elemental composition of otoliths from Atlantic croaker along an estuarine pollution gradient. *Journal of fish Biology*, 54 : 656-668.
- LECOMTE-FINIGER R., 1999. L'otolithe : la « boîte noire » des Téléostéens. *Ann. Biol.*, 38 : 107-122.
- MARTIN G.B., THORROLD S.R., 2005. Temperature and salinity effects on magnesium, manganese, and barium incorporation in otoliths of larval and early juvenile spot *Leiostomus xanthurus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 293 : 223-232.
- MILTON D.A., CHENERY S.R., 2001. Sources and uptake of trace metals in otoliths of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 264 : 47-65.
- RAKTE R.L., TAWNSEND D.W., FOLSON S.D. ? MORISSON M.A., 1990. Strontium : calcium concentration in otoliths of herring larvae as indicators of environmental histories. *Environ. Biol. Fishes*, 27 : 51-61.