

Rapport d'étape **Thèse de Marion Amand**

La problématique de la thèse est de définir des indicateurs de l'effet des réserves en Nouvelle Calédonie. Dans un 1^{er} temps nous cherchons à analyser le récif Aboré pour lequel nous disposons de 3 années de données. L'objectif est de prendre en compte l'ensemble du peuplement observé sur Aboré pour étudier l'impact de la réserve.

Toutes les références se trouvent en annexe 1.

1. Démarche :

Etant donné que le nombre d'espèces observées est important, on les regroupe suivant plusieurs critères (mobilité des espèces, comportement alimentaire, famille taxonomique, classe de taille adulte, classe démographique) et on étudie les variables biologiques (Densité, Biomasse, Taille moyenne et Richesse spécifique) par groupe d'espèce. En croisant les variables et les critères on obtient des métriques (par exemple la densité des piscivores, la taille des carnivores...) et on cherche à savoir laquelle est la plus sensible à la mise en place d'une réserve. Les métriques les plus sensibles seront retenues et pondérées pour en faire un (ou des) indicateur (s).

Méthodologie :

3 étapes :

- Analyse de variance « univariée » (ANOVA) qui permet pour **un critère** donné d'étudier l'effet réserve pour **une variable** donnée (soit 20 modèles en tout)

(1 variable biologique) ~ Zone x Année x Biotope x Groupe d'espèce

Variable : Taille ou Biomasse ou Densité ou Richesse

Groupe d'espèce : un des 5 critères

Cette méthode permet d'évaluer l'effet réserve pour une combinaison variable x critère donnée mais ne permet pas de donner un ordre d'importance aux variables sensibles.

- Analyse PLS « multivariée » qui permet pour **un critère** donné d'étudier l'effet de la réserve sur **l'ensemble des variables**

(4 variables biologiques) ~ Zone x Année x Biotope x Groupe d'espèce

Groupe d'espèce : un des 5 critères

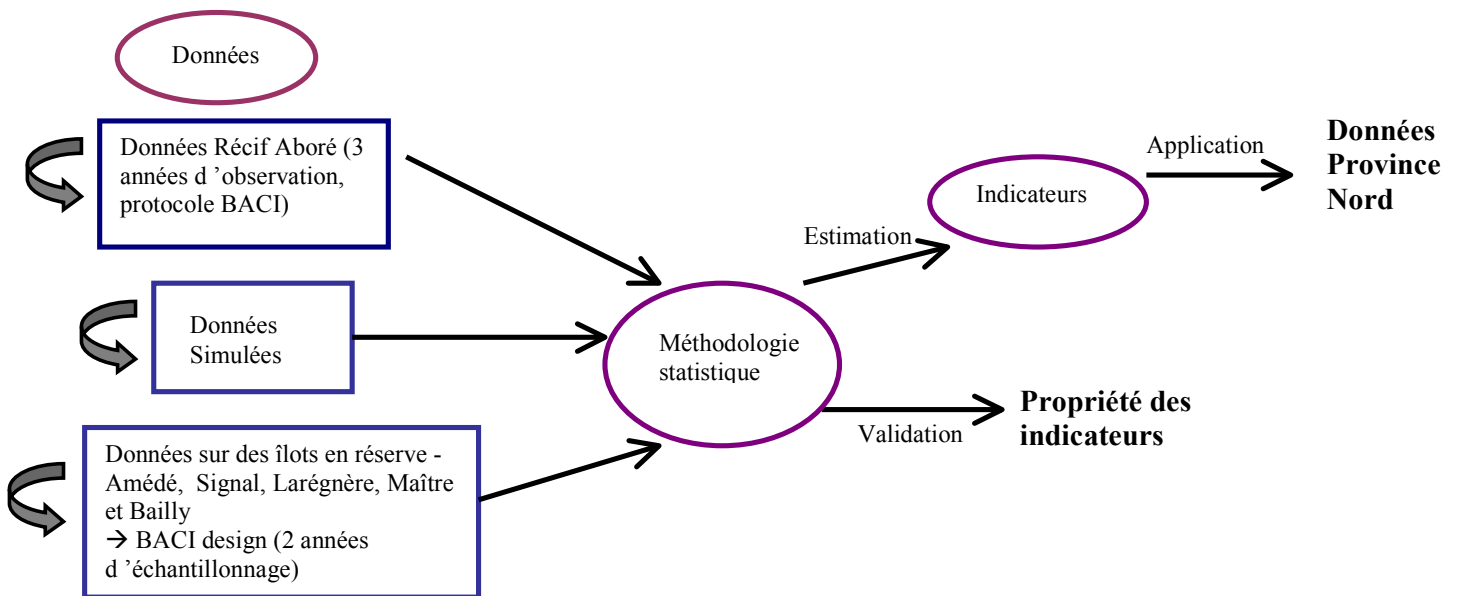
Cette méthode permet pour chaque critère de hiérarchiser les résultats que l'on obtient pour les variables mais ne permet pas de donner un ordre d'importance entre les critères.

- Analyse PLS multiblock qui permet pour **l'ensemble des critères** d'étudier l'effet réserve sur **l'ensemble des variables**

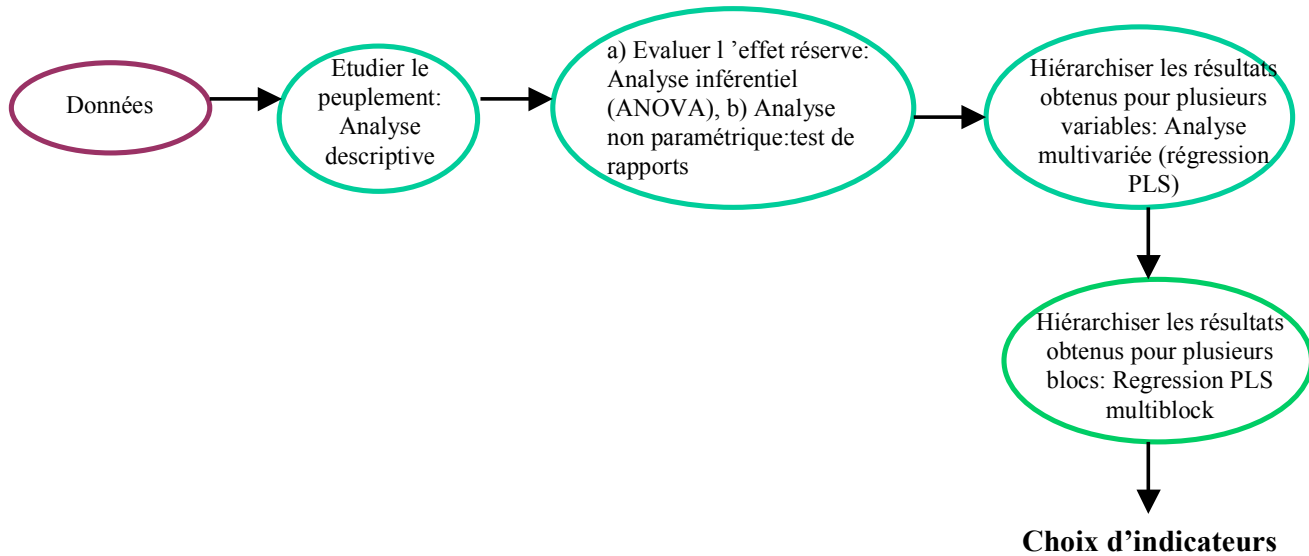
(4 variables biologiques) ~ Zone x Année x Biotope x Groupe d'espèces

Cette méthode permet de hiérarchiser les résultats pour l'ensemble des critères et des variables.

Approche générale de la thèse :



Méthodologie statistique



- a) Analyse non paramétrique: test de rapports
b) Evaluer l'effet réserve: Analyse inférentielle(ANOVA)

- Espèces ciblées par la pêche: piscivores et carnivores | le ratio des piscivores et carnivores sur des espèces de niveau trophique inférieur doit décroître quand la pêche augmente
- Les grosses espèces sont plus pêchées et plus vulnérables que les petites | le rapport des grosses espèces sur les petites doit décroître quand la pêche augmente, et d'autant plus pour les carnivores et piscivores

- Evaluer l'impact d'une réserve sur 4 variables biologiques: densité, biomasse, taille moyenne et richesse spécifique
 - Regrouper le peuplement suivant 5 critères: le régime alimentaire, la famille taxonomique, la mobilité, une classe démographique et une classe de taille adulte
- Modéliser l'effet réserve sur le peuplement, variable par variable et critère par critère.
On évalue pour quelle combinaison critère x variable on a un effet réserve, mais on ne peut pas hiérarchiser les résultats

Hiérarchiser les résultats obtenus pour plusieurs variables: **Analyse multivariée (Regression PLS)**

Pour un critère de groupement donné, les 4 variables biologiques sont intégrées dans le même modèle: on explique l'effet réserve sur les 4 variables en même temps
(D, R, MS, B) ~ habitat*année*reserve (A/B)*groupe d'espèce
Pour chaque critère on peut donc hiérarchiser les résultats, mais pas entre les critères

Hiérarchiser les résultats obtenus pour plusieurs blocs: **Analyse multiblock PLS**

Effectuer l'analyse multiblock afin d'intégrer les 4 variables et les 5 critères dans le même modèle afin de hiérarchiser l'ensemble des résultats pour toutes les combinaisons critère x variable

Simulation

On simulera des données qui ont la même distribution de probabilité que les données réelles.

On pourra par exemple simuler des données de récif et d'îlots dans le cas de zones protégées ou non.

En appliquant ensuite notre démarche d'analyse on pourra mettre en place des indicateurs de l'effet des réserves.

Ces indicateurs issus de données simulées seront alors comparés à ceux obtenus avec les données réelles pour comparer et conforter les résultats.

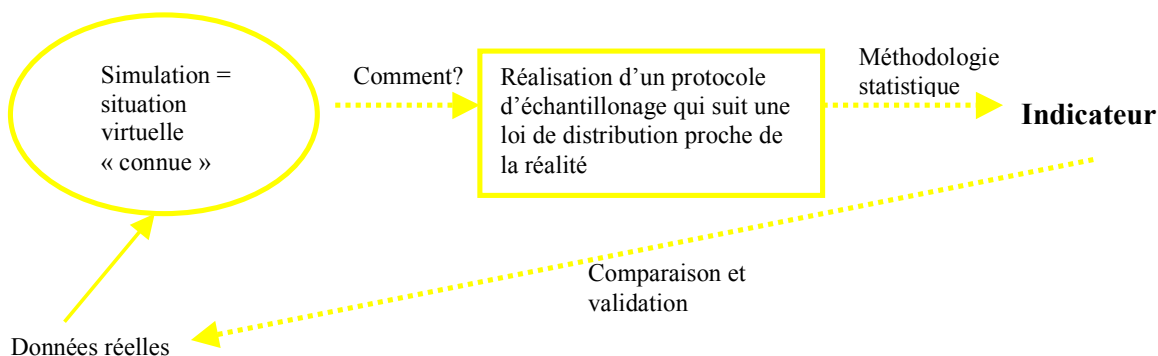
Définition indicateurs

Définir des indicateurs de l'effet des réserves sur le peuplement c'est diagnostiquer quelles sont les variables du peuplement qui réagissent le plus à la mise en place d'une réserve marine.

Pour diagnostiquer ces variables il faut analyser les données relatives au peuplement avec des analyses statistiques multivariées et robustes.

Une fois la démarche statistique finalisée on peut pondérer les variables les plus impactées afin de consolider et valider des indicateurs.

Les indicateurs ainsi obtenus seront donc robustes puisque découlant d'une démarche analytique approfondie. Ils pourront alors être adaptés pour être utilisés sous forme d'indices par les gestionnaires.



2. Résultats

Ils concernent le récif Aboré pour les 2 premiers types d'analyse. Se référer au poster Amand et al. 2004 [3]. Les résultats d'analyses multiblock apparaitront dans le prochain rapport d'étape.

Pour le critère de mobilité on ne trouve aucun effet significatif de la réserve.

Rappelons que la zone A du récif Aboré est la zone restée en réserve depuis 1990 et que la zone B est celle qui a été ouverte entre 1993 et 1995

	Variation	Trophique	Taxonomique	Taille adulte	Classe démographique
Effets positifs de la réserve	↑A and ↓B	Densité des macrocarnivores Taille moyenne de tous les groupes	Densité des Lethrinidés	Taille moyenne des très grands Richesse spécifique et densité de tous les groupes	Taille moyenne des groupes 1, 5 et 6
	↑↑A and ↑B				Taille moyenne du groupe 3
	→A and ↓B	Richesse spécifique de tous les groupes	Richesse spécifique de tous les groupes		
	↓A and ↓↓B	Densité des piscivores Densité des herbivores Biomasse de tous les groupes	Densité des Siganidés		Biomasse du groupe 6 richesse spécifique de tous les groupes
Effets négatifs de la réserve	↓A and ↑B		Densité des Acanthuridés		Taille moyenne du groupe 4
	↑A and ↑↑B				Taille moyenne du groupe 2

3. Bilan par rapport aux objectifs du dernier rapport d'étape

[De fin Octobre 2003 à début Novembre 2003, une mission de Dominique Pelletier (co-directrice de la thèse) aura lieu en Nouvelle-Calédonie afin de rencontrer les partenaires et de finir la rédaction d'un article pour le « Canadian Journal »...]

Dominique Pelletier (co-directrice de la thèse) est effectivement venue, de fin Octobre 2003 à mi Novembre 2003, en mission en Nouvelle Calédonie et nous avons travaillé ensemble à la rédaction d'un article scientifique qui porte sur la méthodologie PLS que nous utilisons actuellement pour évaluer l'effet d'une mise en réserve (Pelletier et al. 2004 [1]).

Pendant la mission de Dominique, qui était incluse dans celle de Jocelyne Ferraris, nous avons eu également diverses réunions de laboratoire avec CoRéUs et les partenaires et c'est à ce moment là que j'ai participé à la rédaction d'un article qui fait la synthèse des indicateurs écologiques et sociologiques potentiels de l'effet des réserves (Pelletier et al. 2004 [2]).

[Analyser les données 2001 du récif Aboré (campagne réalisée dans le cadre du PNEC sur les espèces commerciales) pour continuer d'évaluer l'impact de la réserve sur le peuplement.

Il est également envisagé d'étudier et d'analyser les données disponibles sur d'autres réserves du lagon Sud-Ouest de Nouméa ainsi que sur des sites qui ne sont pas en réserve, dans le but de sélectionner les variables biologiques les plus pertinentes à intégrer dans des indicateurs écologiques de ces réserves...]

Travail sur diverses données (en collaboration avec Michel Kulbicki) qui comprennent :

- des comptages visuels sur des zones hors réserves en 1986, 87, 88, 89 et 90 dans des zones proches du récif Aboré
- des comptages visuels sur le récif Aboré en 1993, 95 et 2001.

Ces données me servent de 2 manières :

1) Faire un point sur le peuplement aux alentours du récif Aboré et sur le récif lui même: de quelle manière le peuplement était il composé autour du récif Aboré avant sa mise en Réserve, et de quelle manière a t'il évolué au sein d'Aboré après la mise en réserve.

→ Tester un certain nombre de rapports qui vont nous servir à mieux connaître l'évolution du peuplement et à vérifier que le comportement du peuplement est en accord avec nos attentes. Ce travail est en cours et doit nous amener à de nouveaux indicateurs de l'effet des réserve.

2) Continuer les travaux d'analyse en terme de méthodologie PLS i.e. tester l'effet de la mise en réserve sur plusieurs variables biologiques (densité, biomasse, richesse et taille moyenne) sachant que le peuplement a été regroupé suivant divers critères (comportement alimentaire, mobilité, famille taxonomique, classe de taille adulte, classe démographique).

→ Poursuivre la définition d'indicateurs dans la continuité de ce qui a déjà été commencé dans la thèse (statistique inférentiel, construction d'indicateurs et validation de ces indicateurs). Ce travail est en cour.

*[Au vu des différentes variables sélectionnées, l'étape suivante consistera à **définir des indicateurs et des indices** de l'impact de la réserve sur le peuplement pour les divers sites étudiés...]*

Beaucoup d'études ont été faites sur les réserves marines : on sait pour chaque étude que telle ou telle variable biologique est plus ou moins impactée par la mise en réserve mais à aucun moment dans la littérature on ne hiérarchise ces résultats.

Le but de la thèse est de savoir hiérarchiser ces résultats :

→ Utilisation de la régression PLS et de la régression PLS multiblock.

→ Quand toutes les variables associées aux différents critères seront hiérarchisées alors on pourra définir quelles sont les plus impactées par la réserve et qui doivent être définis en tant qu'indicateurs de l'effet des réserves.

Un indicateur ne pourra être robuste que si les métriques (combinaisons variable x critère) sur lesquelles il est basé ont été retenues grâce à des analyses statistiques performantes qui peuvent prendre en compte divers variables et critères.

→ Approfondir la méthodologie pour être sûr des métriques que l'on retient sur Aboré. La même approche statistique pourra être transposée à d'autres réserves.

*[Poursuite de la **bibliographie** sur les Aires Marines Protégées, et sur la modélisation mathématique et statistique en vue de généraliser la définition d'indicateur à un niveau régional...]*

55 articles ont été étudiés dans le cadre de la rédaction de l'article PNEC (Pelletier et al. 2004). Ces articles portaient tous sur l'étude de réserves.

*[**Formation en SIG** (Décembre 2003-IRD Nouméa) : utilisation du logiciel SAVANE et de la Base de Données géographique sur le lagon Sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie. Cette formation rentre dans le cadre des cours obligatoire que les doctorants doivent suivre...]*

J'ai effectivement suivi cette formation en décembre 2003 avec Mars Souris qui a développé le logiciel. Savane (cf site internet) est un système d'information géographique complet, conçu pour saisir, rassembler, gérer, analyser et cartographier des données géographiques d'origine très diverses : données d'enquêtes, de cartes thématiques, topographiques, de réseaux, d'images satellitaires, de photographies aériennes, de modèles numériques de terrain... Le noyau de Savane est un système de gestion de base de données relationnelle étendu à la localisation, autour duquel sont développées de nombreuses fonctions pour l'analyse spatiale, la cartographie, la statistique, la télédétection, l'hydrologie, etc.

Savane est un logiciel complet qui permet de saisir des données géographiques, de constituer et de gérer des bases de données relationnelles localisées, d'analyser et de traiter l'information géographique, et enfin de cartographier et d'éditer les résultats des requêtes.

*[**Préparation d'un poster** pour le Congrès International de Vancouver de Mai 2004...]*

2 posters scientifiques ont été réalisés, un à partir des premiers résultats de la thèse (Amand et al 2004 [3]), présenté d'une part le 1^{er} Avril lors du symposium international SCOR à Paris, et d'autre part le 3 mai lors du congrès mondial sur les pêcheries à Vancouver; et un autre poster qui a été présenté uniquement au SCOR et qui présente différents indicateurs sous forme de ratios (Kulbicki et al. 2004 [4]).

Révision d'un papier scientifique (Amand et al. 2003). Cet article a été soumis à Aquatic Living Ressource (ALR) en Octobre 2003 et est en cours de révision. (Résumé en Annexe 2).

Mission en métropole Mars 2004-Mai 2004

La mission se déroule effectivement du 26 Février 2004 au 7 Mai 2004.

Du 30 Mars au 2 Avril 2004, je serais présente au symposium SCOR qui se déroule à Paris et où je présente les 2 posters mentionnés ci-dessus.

Du 1 Mai au 6 Mai 2004, je serais présente au congrès international de Vancouver où je présente également un poster.

*[Un séjour à l'IFREMER à Nantes doit servir à approfondir les connaissances sur la modélisation mathématique. On souhaite, à ce stade de la thèse, commencer à **comparer les indicateurs** qui sont définis pour les diverses réserves étudiées afin de réfléchir au type de modélisation que l'on va utiliser pour évaluer l'impact de mesures de régulation de l'accès aux écosystèmes coralliens et à leurs ressources. On va tester les indicateurs pour définir leurs propriétés statistiques. C'est ce qu'on appellera la **validation des indicateurs**...]*

Tout d'abord il faut approfondir la méthodologie en travaillant avec des régressions multiblock afin d'être sûr des métriques que l'on retient pour les intégrer dans des indicateurs. C'est donc sur cette méthodologie multiblock que j'ai commencé à travailler en métropole sur les données 93, 95 et 2001 du récif Aboré.

*[L'objectif de cette mission est également de finaliser le poster pour le **congrès international de Vancouver** lors duquel une participation est prévue au début du mois de Mai 2004...]*

Le poster a été effectivement commencé à Nouméa et terminé en métropole.

*[Toujours dans le cadre des enseignements obligatoires pour les étudiants en thèse, il est prévu de participer à une **formation** d'une semaine sur la **modélisation écosystémique** lors du congrès international de Vancouver. Pour financer cette formation j'ai fait une demande de bourse auprès des organisateurs du Congrès...]*

Cette formation n'aura pas lieu car je ne peux pas obtenir le financement attendu. Nous allons donc essayer de valider la participation au congrès dans le cadre des enseignements obligatoires en thèse.

[De plus, afin de bien préparer la deuxième moitié de la thèse il est prévu de réunir le comité de thèse durant cette mission...]

Effectivement un comité de thèse sera réuni à Montpellier avant la fin du mois d'Avril.

*[Enfin, la **rédaction d'un papier sur les différents indicateurs** définis pour les réserves étudiées, est envisagé lors de ce séjour en France. Il est à noter que la rédaction de 2 ou 3 papiers est souhaité dans le courant de thèse...]*

Les 3 articles en cours ainsi que le travail sur les indicateurs rapports doivent d'abord être finalisés.

4. Perspectives

Perspectives Mai 2004-Fin 2004

A partir de la fin de l'année je commencerais à faire de la simulation de données: le but est de simuler des données à partir des données réelles de façon à leur appliquer les méthodes statistiques déjà décrites pour définir des indicateurs écologiques. Se servir ensuite de ces indicateurs pour vérifier si l'on obtient la même chose avec les données réelles afin de valider la démarche et d'évaluer des effets réserves. D'éventuelles évolutions inattendues seront analysées plus finement (en cours avec Aboré grâce au travail sur les ratios).

Objectifs finaux Fin 2004-Fin 2005

Je reproduirai ensuite la méthodologie (en particulier l'analyse descriptive et l'analyse multiblock puis la simulation) sur d'autres données d'îlots en réserve.

La définition des indicateurs fera l'objet de publication.

La priorité sera donnée à la modélisation statistique et au travail sur la simulation, et non pas à la modélisation mathématique. En effet il faut d'abord définir une méthodologie robuste qui permette de définir des indicateurs fiables sur quelques réserves, avant de vouloir appréhender la totalité du système lagonaire. Une fois la méthodologie adoptée et les premiers indicateurs validés, ils pourront être appliqués à d'autres réserves des provinces sud et nord.

Rédaction de la thèse (à partir de Juillet 2005).

Calendrier de thèse

Avril-Juin 2004	Juillet-Aout 2004	Sept 2004-Janvier 2005	Fev-Avril 2005	Mai-Juin 2005	Juillet2005-Avril2006
Analyse multiblock	Définition des indicateurs sur Aboré	Simulation →Nouveaux indicateurs →Comparaison avec données réelles Article	Reprendre toute la méthodologie sur des îlots en réserve Article	Analyser les îlots du Nord pour prévision réserve	Rédaction de la thèse

Annexe 1

[1] Pelletier, D., Ferraris, J., Amand, M. (2004). Statistical models for selecting community-based indicators of the impact of an opening to fishing in a marine reserve (En cours de rédaction...)

[2] Pelletier, D., García-Charton, J.A, Ferraris, J., David, G., Thébaud, O., Letourneur, Y., Claudet, J., Amand, M., Kulbicki, M., Galzin, R. (2004). Designing indicators for evaluating the effects of Marine Protected Areas on coral reef ecosystems: a multidisciplinary standpoint Revue (Soumis)

[3] Amand, M., Pelletier, D., Ferraris, J., Kulbicki, M. (2004). Ecological indicators for assessing marine reserve performance: the case of the Aore reef (New Caledonia). Poster Symposium SCOR Paris, Avril 2004 and World Fisheries Congress Vancouver, Mai 2004. **

[4] Kulbicki, M., Amand, M., Bozec, Y. M., (2004). Effectiveness of a range of ecosystemic indicators to test the effects of fishing on highly diverse coral reef fish communities: case study in New Caledonia. Poster Symposium SCOR Paris, Avril 2004.

** cf fichier joint

Annexe 2

A step toward definition of ecological indicators for the impact of fishing in the Abore reef reserve (New Caledonia)

Marion Amand^{a,b}, Dominique Pelletier^b, Jocelyne Ferraris^c, and Michel Kulbicki^a

^a *IRD Centre de Nouméa, Unité de Recherche CoRéUs, 110 promenade Roger Laroque, BP A5, 98848 Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie.*

^b *IFREMER Centre de Nantes, Laboratoire de Mathématiques Appliquées à l'Exploitation des Ressources Halieutiques et Aquicoles (MAERHA), 2 rue de l'île d'Yeu, B.P. 21105, 44311 Nantes Cedex 03, France.*

^c *IRD-UR CoRéUs / EPHE, Université de Perpignan, 52 avenue Paul Alduy, 66860*

Abstract

Les Zones Marines Protégées (ZMP) sont de plus en plus considérées comme des mesures de gestion alternative permettant à la fois une gestion durable des ressources exploitées et la conservation des écosystèmes. Dans cette présentation, on expose une approche pour définir des indicateurs synthétiques et permettre un diagnostic statistiquement testable de l'effet des ZMP sur les peuplements. Ce travail passe par le choix de variables pertinentes (abondance, richesse spécifique, paramètres démographiques, ...) et de méthodes statistiques appropriées.

L'étude présentée a été réalisée sur la réserve du récif Aboré en Nouvelle-Calédonie. Les données issues de deux campagnes scientifiques menées sur le récif sont utilisées pour tester globalement l'effet des ZMP grâce à des modèles linéaires inférentiels (ANOVA, GLM), et par des méthodes de régression PLS (Partial Least Squares). Ces dernières permettent de confronter dans un même modèle quatre variables (densité, richesse, biomasse et taille moyenne des poissons), afin de retenir les plus sensibles et les plus pertinentes pour l'évaluation de l'impact de la réserve. La variabilité de l'habitat est également prise en compte dans la modélisation. Pour le choix d'un indicateur synthétique, différents critères de regroupement des espèces observées ont été considérés, notamment sur la base du régime alimentaire, de la taxonomie, de la mobilité, de caractéristiques démographiques et de caractéristiques de taille. Seul le critère trophique révèle un effet du changement de statut Réserve/Non Réserve pour toutes les variables, à la fois d'après les modèles inférentiels et les régressions PLS. Les résultats des modèles inférentiels et des régressions PLS montrent que la richesse spécifique et la densité sont les variables les plus sensibles à l'impact de l'ouverture à la pêche. La taille moyenne est également bien modélisée sur l'ensemble des résultats mais pas la biomasse. En définitive, il semble qu'un indicateur le plus approprié à l'évaluation d'un impact global de la fermeture/ouverture d'une zone à l'exploitation devrait être basé sur la densité et la diversité en espèces de la structure trophique du peuplement.