ReaT

Outils pour l'évaluation des ressources récifales

COMPTAGE VISUEL DE POISSONS EN PLONGÉE :

Conditions d'utilisation et de mise en œuvre

Outils pour l'évaluation des ressources récifales

COMPTAGE VISUEL DE POISSONS EN PLONGÉE

Conditions d'utilisation et de mise en œuvre

Pierre Labrosse, Conseiller pour la gestion de la pêche en milieu récifal, CPS, Nouméa
Michel Kulbicki, Chargé de Recherche à l'IRD, Nouméa
Jocelyne Ferraris, Chargée de Recherche à l'IRD, Nouméa

Secrétariat général de la Communauté du Pacifique
Nouméa, Nouvelle-Calédonie
2001
Réalisé avec le concours financier de la France

© Copyright, Secrétariat général de la Communauté du Pacifique (CPS), 2001

Texte original : français

Secretariat of the Pacific Community Cataloguing-in-publication data

Labrosse, Pierre
Comptage visuel de poissons en plongée : conditions d'utilisation et de mise en œuvre / par Pierre Labrosse, Michel Kulbicki et Jocelyne Ferraris

(REAT: outils pour l'évaluation des ressources récifales)

1. Fish stock assessment - Oceania - Handbooks, manuals, etc.
2. Diving--Handbooks, manuals, etc.

1. Title 2. Secretariat of the Pacific Community 3. Series 4. Kulbicki, Michel
5. Ferraris, Jocelyne

ISBN 982-203-766-X AACR2

Secrétariat général de la Communauté du Pacifique
BP D5
98848 Nouméa Cedex
Nouvelle-Calédonie

Téléphone : + 687 26 20 00
Télécopie : + 687 26 38 18
Mél. : spc@spc.int
http://www.spc.int

Réalisé au siège du Secrétariat général de la Communauté du Pacifique
Nouméa, Nouvelle-Calédonie

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS v

AVANT-PROPOS vi

I - INTRODUCTION 1
I.1 - Pourquoi évaluer les ressources ? Évaluation et gestion 1
I.2 - Quelles sont les méthodes d'évaluation dont dispose le gestionnaire des pêches? Place des comptages visuels en plongée 3

II - GÉNÉRALITÉS SUR LES COMPTAGES VISUELS DE POISSONS EN PLONGÉE . . . 5
II.1 - Principes de base 5
II.2 - Quelles données pour quelles informations? 6
II.2.1 - État des stocks de poissons 7
II.2.2 - Facteurs du milieu 10
II.3 - Sources d'erreur 12
II.3.1 - Sources d'erreur dues au plongeur 12
II.3.2 - Sources d'erreur dues au poisson 13
II.3.3 - Sources d'erreur dues à l'échantillonnage 14
II.4 - Comment limiter les sources d'erreur? 16
II.4.1 - Entraînement des observateurs 16
II.4.2 - Règles de base pour la planification de l'échantillonnage et le choix des transects ou points fixes 21

III - MISE EN OEUVRE DES TECHNIQUES DE COMPTAGES VISUELS DE POISSONS EN PLONGÉE AVEC DISTANCE VARIABLE 27
III.1 - Rappel des règles de sécurité applicables au travail en plongée 27
III.2 - Matériel 29
III.3 - Transects 30
III.4 - Points fixes 34

IV - UTILISATION DES DONNÉES RÉCOLTÉES 38
IV.1 - Saisie et mise en forme des données 38
IV.2 - Calculs des densités, biomasses et abondances (numériques et pondérales) 38
IV.3 - Précision sur les estimations de densités et de biomasses 41
IV.4 - Composition moyenne du substrat et recouvrement par les organismes vivants 43
IV.5 - Première analyse des résultats 43
IV.5.1 - Comparaisons des résultats 43
IV.5.2 - Relations entre poissons et facteurs du milieu 46

V – CONCLUSIONS 48

ANNEXES 49
Annexe 1 - Silhouettes caractéristiques des principales familles de poissons d'intérêt pour la commercialisation et/ou la consommation 49
Annexe 2 - Liste indicative d'espèces de poissons d'intérêt pour la consommation et/ou la commercialisation 50
Annexe 3 - Feuille d'enregistrement des comptages de poissons 51
Annexe 4 - Feuille d'enregistrement des facteurs du milieu 52

POUR EN SAVOIR PLUS 53

REMERCIEMENTS

Ce livret est le résultat d'un travail d'équipe. Aussi, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

La section publications de la CPS a joué un rôle majeur dans ce travail. Un grand merci à Muriel Borderie qui a assuré la mise en page du document et à Jipé Le-Bars qui est à l'origine de l'ensemble des illustrations.

Nous n'oublions pas les relecteurs qui ont apporté des améliorations sensibles aux manuscrits : Marie-Thérèse Bui, Jean-Paul Gaudechoux et André Capiez.

Enfin, nous remercions tout particulièrement Mireille Harmelin-Vivien qui nous a autorisé à nous inspirer librement d'une publication en date de 1985 relative aux comptages visuels en plongée (voir rubrique "pour en savoir plus").

Ce document est dédié à Pierre Thollot

AVANT-PROPOS

Ce document est le premier d'une série destinée à répondre aux souhaits formulés par les agents des services des pêches des pays et territoires insulaires du Pacifique de pouvoir disposer d'outils et de conseils pratiques pour la mise en oeuvre de méthodes d'évaluation des ressources et pêcheries en milieu récifal. Elle est ouverte à tous les auteurs et s'inscrit dans un processus de définition de méthodes normalisées d'évaluation et de suivi des ressources et activités de pêche récifo-lagonaire à l'échelle régionale.

Différents manuels et publications ont abordé les techniques de comptages visuels de poissons en plongée et leurs applications, ainsi que le traitement et l'analyse des données. C'est pourquoi ce document ne fait qu'en rappeler les grands principes. Il est principalement destiné à présenter une méthode de comptage visuel en plongée qui a été développée puis perfectionnée par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Elle a été éprouvée dans de nombreux endroits (Nouvelle-Calédonie, Tonga, Fidji, etc.). Elle peut aussi être adaptée et trouver des applications dans l'évaluation des ressources de certains invertébrés. Ce document est complémentaire du logiciel REAcT-FishUVC qui permet, outre la saisie des données issues de campagnes acquises à l'aide de cette méthode, la réalisation de premiers calculs.

1 - INTRODUCTION

1.1 - *Pourquoi évaluer les ressources ? Évaluation et gestion*

L'augmentation continue de la population de nombreuses îles du Pacifique, en particulier dans les zones urbaines et les capitales, entraîne un besoin toujours croissant de protéines. Étant donné l'espace limité dont disposent les petites îles et le stade encore peu développé des économies des pays concernés, il est peu probable que l'agriculture ou les importations puissent satisfaire intégralement cette demande nutritionnelle dans un proche avenir. La pression exercée par les pêches, en particulier sur les zones côtières, augmente inévitablement.

Outre les besoins locaux, la demande de l'Asie et d'ailleurs pour des ressources particulières qu'offrent les récifs ne cesse de croître et de nouveaux marchés s'ouvrent aux exportateurs océaniens. C'est le cas, par exemple, des poissons de récif commercialisés vivants et destinés à la restauration et à l'aquariophilie. Ces activités de pêche spécifiques ne sont pas sans conséquence sur les écosystèmes récifaux. Elles comportent parfois des risques importants car elles visent des espèces qui, pour la plupart, sont fragiles en raison de leur rareté et/ou de leurs caractéristiques biologiques et écologiques. Du fait de leur forte valeur marchande, leur pêche prédispose aussi à l'emploi de pratiques destructrices (pêche au cyanure et à l'explosif) qui mettent en danger les pêcheurs, les récifs coralliens et leurs habitants.

Toutefois, malgré les risques inhérents à ces activités, les ressources récifales représentent pour les pays océaniens une source de nutrition et de revenus, ainsi qu'un potentiel de développement importants. Les communautés et les gouvernements océaniens doivent donc trouver un équilibre entre des demandes conflictuelles, le développement et le maintien de l'intégrité écologique. Cependant, les informations disponibles et leurs moyens sont encore insuffisants.

Malgré un début de sensibilisation, le manque de données ainsi que l'absence de stratégies de gestion spécifiques peuvent être à l'origine de situations critiques d'un point de vue écologique, et à terme préjudiciables pour la sécurité alimentaire des populations riveraines.

Gérer, c'est prévoir ! Gérer, c'est aussi adapter des moyens qui existent pour atteindre des objectifs qui ont été fixés à moyen ou long terme (au-delà de trois ans).

Toute action de gestion s'appuie sur une connaissance plus ou moins parfaite du contexte ou de l'environnement qu'elle concerne. Il faut donc être en mesure de recueillir des données qui permettent de décrire au mieux une situation à un moment donné. Idéalement et suivant le concept d'approche précautionnaire, il faudrait élaborer des plans de gestion à partir d'informations de base et y inclure des mesures de surveillance qui permettraient de déclencher une intervention dès que l'on observerait des modifications imputables à l'homme.

Ces informations devraient comprendre :

- **une estimation des stocks totaux et exploitables;**
- **une analyse des principales structures des peuplements (structures de taille, trophiques et démographiques);**
- **un état de santé du récif et des écosystèmes apparentés;**
- **une bonne compréhension de la dynamique des pêcheries.**

Elles devraient permettre d'adapter les mesures de gestion à chaque nouvelle situation rencontrée.

Leur acquisition implique :

1) de définir des stratégies d'échantillonnage qui offrent une représentation fiable de la ressource pour un effort acceptable en termes de coût et de temps ;
2) de mettre en œuvre des méthodes suffisamment éprouvées pour fournir des informations de qualité qui puissent être comparées dans l'espace mais aussi dans le

temps, afin de permettre une mesure fiable des changements intervenus.

I.2 - Quelles sont les méthodes d'évaluation dont dispose le gestionnaire des pêches? Place des comptages visuels en plongée

De nombreuses méthodes d'évaluation des ressources récifo-lagonaires existent. Aucune d'entre elles n'est parfaite et toutes présentent des avantages et des inconvénients. Elles ont un point commun ; elles reposent sur l'étude d'une fraction ou d'un sous-ensemble représentatif des peuplements étudiés. Elles nécessitent donc la mise en oeuvre de méthodes d'échantillonnage qui peuvent être réparties en trois catégories.

Les **méthodes avec prélèvements** concernent principalement les relevés des pêches au casier (et plus généralement à l'aide de pièges), au chalut, au filet et à la ligne. Elles reposent sur l'analyse des Prises par Unité d'Effort (PUE) qui sont supposées être un indice de densité des populations étudiées. Ces méthodes peuvent être utilisées à n'importe quel moment et jusqu'à des profondeurs importantes. Par ailleurs, elles peuvent être mises en oeuvre à moindre coût sur de grandes échelles avec un personnel relativement peu qualifié. En revanche, la conception et la sélectivité des engins, l'effet

Tableau récapitulatif des différentes catégories de techniques d'échantillonnage

Techniques d'échantillonnage	Qualité des données				Besoins	
	Exhaustivité	Précision	Couverture	Biais liés au stade de vie	Formation du personnel	Coût
Avec prélèvements	Faible*	Faible à modérée	Élevée	Oui	Faible	Faible
Mixtes	Élevée	Modérée	Modérée	Oui	Élevée	Élevé
Sans prélèvements	Élevée	Élevée	Faible	Non	Élevée	Élevé

* sauf explosif et empoisonnement

des appâts, la capturabilité des espèces sont autant de facteurs qui affectent l'exhaustivité et la précision des mesures qui restent faibles à modérées. Une exception cependant est représentée par la pêche à l'explosif ou par empoisonnement (par exemple avec de la roténone) qui donnent toutes deux de bons résultats notamment en terme de richesse spécifique mais dont les effets destructeurs représentent un facteur limitant, notamment dans l'optique d'échantillonnages répétitifs.

Les **méthodes** dites "**mixtes**" sont intermédiaires entre les techniques avec et sans prélèvements. Elles comprennent notamment les méthodes de captures-marquages-recaptures qui répondent difficilement aux questions posées par l'évaluation qualitative et quantitative des ressources. En revanche, elles sont utilisées avec succès pour des déterminations d'âge, de croissance, de déplacements et de comportements de populations de poissons récifaux.

Du fait de l'hyperdiversité[1] et de la grande hétérogénéité des milieux récifo-lagonaires, les techniques qui font appel aux prélèvements se révèlent souvent inappropriées.

Les plus efficaces d'entre elles sont destructrices et/ou perturbantes (dynamite, roténone), mais peuvent ponctuellement présenter un intérêt pour calibrer les techniques basées sur l'observation. Ceci justifie le développement des **méthodes sans prélèvements** qui comprennent les comptages visuels et les techniques hydroacoustiques. Ces dernières sont surtout utiles pour l'évaluation des stocks de poissons pélagiques ou semi-pélagiques comportant un nombre restreint d'espèces. Elles sont peu adaptées aux communautés benthiques très diversifiées, bien que certaines applications puissent être envisagées, notamment pour des études comportementales. La clarté des eaux tropicales est un facteur qui a contribué à une utilisation croissante des évaluations visuelles *in situ*. Ces méthodes sont aussi bien adaptées à ce contexte du fait de leur caractère exhaustif, précis et non destructeur. Les comptages visuels en plongée (CVP) ont été initialement utilisés pour mesurer des abondances de poissons et d'invertébrés. Ils ont trouvé des applications en dynamique des populations exploitées ou non, en écologie et en gestion des milieux et ressources naturelles. Leur utilisation nécessite un personnel formé et qualifié.

[1] La notion d'hyperdiversité est le reflet, non seulement d'une très grande diversité des espèces, mais aussi d'une très grande diversité de biotopes, de niches écologiques, de comportements, de génomes et d'usages.

II - GÉNÉRALITÉS SUR LES COMPTAGES VISUELS DE POISSONS EN PLONGÉE

II.1 - Principes de base

Comme leur nom l'indique, les techniques de comptages visuels en plongée ont pour base le dénombrement visuel d'organismes *in situ,* donc dans le milieu. Elles peuvent être mises en oeuvre à l'aide de différents moyens. Les plus utilisés sont la plongée libre et la plongée en scaphandre autonome. Dans certains cas des appareils photo, des caméras ou des engins submersibles peuvent être employés ; leur utilisation vise principalement à contourner les contraintes liées à l'échantillonnage réalisé par des plongeurs.

L'utilisation des comptages visuels en plongée est limitée par :

1) la visibilité qui doit être suffisante pour enregistrer des informations "utiles". De ce fait, les eaux trop turbides (milieux estuariens, mangroves, zones minières, etc.) et/ou privées d'un minimum de lumière (plongée de nuit ou profonde) rendent difficiles, voire impossible l'utilisation de ces méthodes;
2) l'état de la mer et plus généralement les conditions météorologiques;
3) la physiologie des plongeurs en milieu aquatique. Dans le cas de la plongée libre, les observateurs sont limités par leur aptitude à rester en apnée sous l'eau s'ils ne peuvent pas réaliser le comptage à partir de la surface. L'usage du scaphandre autonome implique de ne pas dépasser sans danger certaines profondeurs et durées. Enfin, la capacité à résister au froid et à la fatigue est aussi un facteur limitant.

En conséquence, les comptages visuels en plongée libre ou en scaphandre autonome trouvent leurs terrains d'application dans les eaux claires, peu agitées et peu profondes (en général entre la surface et 20 mètres de profondeur).

Les dénombrements peuvent être réalisés sur des trajets aléatoires (choisis au hasard), sur des quadrats (zones quadrillées parcourues par les plongeurs), sur des transects ou à partir de points fixes. Seules ces deux dernières méthodes appliquées au recensement des poissons sont abordées dans ce manuel ; les autres méthodes restent peu utilisées et/ou peuvent poser des problèmes dans le cas précis de l'évaluation des ressources.

Les **transects** sont représentés par des couloirs dont les dimensions en longueur et en largeur sont définies et délimitent une surface de dénombrement. Ils sont en général matérialisés par un ruban souple et gradué qui est déroulé sur le fond, de part et d'autre duquel les comptages sont entrepris. Cette méthode est l'une des plus utilisées ; elle est bien adaptée à l'étude des peuplements, notamment dans l'évaluation des ressources en poissons commerciaux et/ou d'intérêt pour la consommation.
Les dénombrements peuvent être menés à partir de **points fixes.** Dans ce cas, l'observateur effectue le comptage à partir d'un emplacement déterminé en tournant autour de lui-même. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir être conduite plus rapidement que les transects. Elle est particulièrement recommandée dans l'étude d'une espèce ou de petits groupes d'espèces, notamment dans les milieux très hétérogènes, ainsi que des structures complexes isolées ou de grandes dimensions (patates coralliennes, gros blocs).

II.2 - *Quelles données pour quelles informations?*

Des données qui sont collectées et de la stratégie d'échantillonnage dépend la nature des informations qui peuvent être obtenues. Elles peuvent être différentes selon que l'on souhaite réaliser des inventaires qualitatifs ou quantitatifs de la ressource en poissons.

Les informations qui intéressent le gestionnaire des pêches en milieu récifal peuvent être scindées en deux catégories :

1) état et quantification du stock de poissons d'intérêt pour la consommation, la commercialisation, ou en raison de leur intérêt écologique (indicateur biologique). Cet aspect inclut l'analyse de la structure de ces peuplements;

2) état de l'habitat récifal qui supporte la ressource, y compris les organismes vivants associés.

Ces informations sont principalement destinées :

1) à pouvoir effectuer des comparaisons dans l'espace (localisation de la ressource et détermination de ses caractéristiques en fonction d'un lieu, d'un biotope ou de zones soumises à des pressions de pêche différentes) et/ou dans le temps (suivi de la ressource, tendances évolutives et détection des changements);
2) à établir les relations qui existent entre la ressource et le milieu.

II.2.1 - Etat des stocks[1] de poissons

a) Identification et dénombrement des espèces

L'identification et le dénombrement des espèces permettent d'estimer la **richesse spécifique**, c'est-à-dire de recenser le nombre d'espèces, notamment dans le cas d'inventaires environnementaux. Ils peuvent être restreints à une fraction du peuplement d'intérêt pour la consommation et/ou la commercialisation, ou encore du point de vue écologique. Ce paramètre est important à prendre en compte. En effet, toute atteinte notable à l'environnement, comme la destruction du corail, se traduit par une diminution de la richesse spécifique qui est une mesure de la diversité (nombre d'espèces, leur proportion dans le peuplement, etc.).

b) Dénombrement des individus

Le comptage des individus a pour objectif d'estimer l'**abondance** (nombre de poissons) et la **densité**, c'est-à-dire le nombre de poissons par unité de surface (par exemple des ind./m^2). L'abondance et la densité sont deux facteurs qui peuvent être affectés par les activités de pêche et donc dans certains cas traduire leur intensité. Ces dénombrements peuvent s'effectuer sur une surface préalablement déterminée par un rectangle (transect) ou un cercle (point fixe) respectivement de longueur-largeur et de rayon préalablement fixés et connus (**comptages avec distance fixe**).

1 Le mot "stock" n'est pas utilisé au sens halieutique du terme, mais définit une quantité (en nombre ou en poids) présente dans un milieu délimité.

L'observateur compte les poissons dans l'aire ainsi délimitée. Pour une espèce donnée, l'estimation de la densité moyenne D sur un transect de largeur d et de longueur L est de la forme :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_i}{L.d}$$

avec n_i: nombre de poissons vus

Dans le cas des points fixes, la densité devient :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_i}{\pi.r^2}$$

avec n_i: nombre de poissons vus et r : rayon choisi pour l'observation

L'estimation correcte des densités par cette méthode suppose que :

- aucun poisson n'échappe à l'observateur dans la surface déterminée, ce qui représente un objectif jamais atteint mais dont il faut se rapprocher ;
- les individus ne sont comptés qu'une seule fois (cf. chapitre II.3).

Cette méthode devrait être plus particulièrement réservée pour des peuplements de poissons peu mobiles, c'est-à-dire avec un faible risque d'erreurs liées à des déplacements rapides d'individus qui tendent à entraîner une sous-évaluation de la densité et de la biomasse. De plus, la largeur des transects retenue a une incidence sur les résultats. Les estimations des densités sont d'autant plus faibles que la largeur du transect est importante, ce qui semble logique dans la mesure où plus les poissons sont éloignés, moins ils ont de chance d'être observés. Cette relation est variable selon les espèces ou groupes d'espèces. Elle est plus ou moins marquée pour les gros individus et pour les espèces les plus mobiles. Les dénombrements peuvent aussi être réalisés en prenant en compte la distance des poissons au transect ou au point au moment de l'observation (**comptages avec distances variables**). Le calcul des superficies s'opère alors ultérieurement.

L'observateur évalue et note la distance perpendiculaire qui sépare le poisson vu du transect ou la distance du poisson au point fixe. Dans le cas des bancs de poissons, deux distances sont prises en compte, la distance entre le transect et le poisson le plus proche du transect (ou point fixe) et la distance entre le transect et le

QUELQUES NOTIONS SUR LA THÉORIE D'ÉCHANTILLONNAGE PAR LA DISTANCE

Le dénombrement d'individus associé à l'estimation de leur distance par rapport au transect ou au point fixe repose sur la réalité que tous les poissons détectables ne sont pas obligatoirement observés. Elle est fondée sur l'hypothèse que la détectabilité, c'est-à-dire la probabilité de détecter un poisson diminue avec la distance d'observation. En d'autres termes, plus un individu est éloigné du transect ou du point fixe, moins il a de chances d'être vu. Le calcul des densités est dépendant de la fonction de détectabilité g(x). Elle permet d'obtenir à partir des observations une courbe de probabilité de voir un poisson en fonction de sa distance au transect et ce, pour une espèce, une famille ou un peuplement donnés. La densité estimée D prend la forme :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_i}{L.a} \qquad \text{avec } a = \int_0^{d_{max}} g(x).dx$$

n_i : nombre de poissons
L: longueur du transect
d_{max}: distance perpendiculaire du transect à la limite de détectabilité

poisson du banc le plus éloigné du transect (ou point fixe).

Tout comme dans la première méthode, l'estimation correcte des densités repose sur quelques hypothèses qui sont les suivantes :

1) les poissons ne sont pas comptés deux fois ;
2) la distance des poissons est fixée à la position où ils sont observés la première fois ;
3) la probabilité de détection des poissons sur la ligne délimitant le transect est égale à 1, ce qui signifie que tous les individus présents sur le ruban sont supposés être vus et dénombrés.

Cette méthode prend bien en compte les espèces peu mobiles et limite aussi les

erreurs dues aux déplacements rapides ou aux fuites des poissons qui sont rencontrées dans les comptages avec distance fixe (cf. paragraphe II.3.2). De ce fait, elle est mieux adaptée à l'évaluation des ressources.

c) Évaluation de la taille des individus

L'évaluation de la taille permet d'estimer :

- les **tailles moyennes** ;
- les **poids moyens** (à partir des relations taille-poids existantes) ;
- la **biomasse**, c'est-à-dire le poids frais par unité de surface (par exemple des g/m^2 ou des kg/ha) ; elle est obtenue en utilisant les poids moyens individuels et les abondances ;
- le **stock** présent dans un milieu, c'est-à-dire le poids total sur l'ensemble de la surface échantillonnée.

Tout comme l'abondance et la densité, les tailles moyennes des poissons et les biomasses sont deux paramètres qui sont affectés par la pêche, notamment pour les espèces les plus visées. Par exemple, dans le cas particulier d'un stock vierge, c'est-à-dire non exploité, l'introduction d'une activité de pêche aura pour conséquence rapide la diminution des tailles moyennes et de la biomasse, notamment des espèces de grosses tailles à longue durée de vie.

II.2.2 - Facteurs du milieu

Selon la question posée et les moyens dont disposent les observateurs, un ou plusieurs de ces facteurs peuvent être enregistrés. La morphologie des zones étudiées a une influence sur l'organisation des peuplements. Il est donc important de cerner les relations qui existent entre les habitats (substrat, organismes recouvrants, etc.) et les paramètres qui caractérisent la ressource (richesse spécifique, densité et biomasse).

Les facteurs du milieu peuvent être classés en deux catégories :

a) Facteurs constants ou peu fluctuants

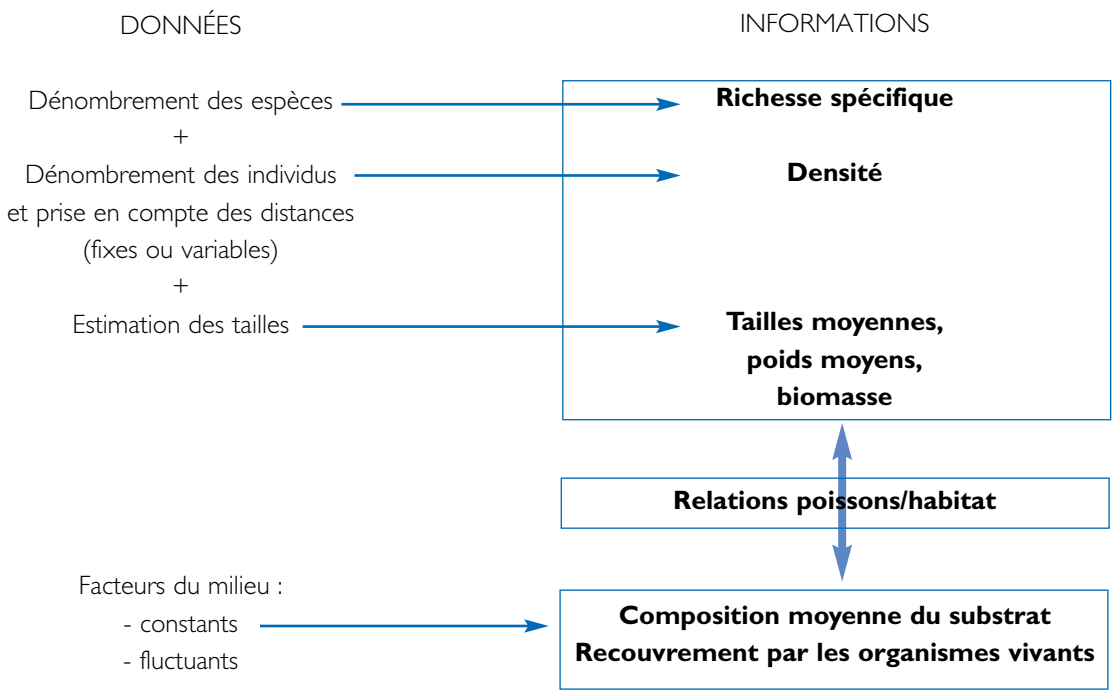
- Localisation du site (coordonnées géographiques + nom du site et éventuellement repères).
- Type de milieu ou biotope (récif barrière, d'îlot ou frangeant).
- Zone récifale (pente, avant-récif, etc.)
- Orientation par rapport au vent.
- Profondeur (min. et max.).

- Substrat.
- Nature des activités (zone de pêche réglementée ou non, réserve, zone écotouristique, etc.).
- Salinité.
- Température de l'eau.
- Organismes recouvrants.
- Organismes associés (invertébrés).

b) Facteurs fluctuants

- Date et heure (début et fin).
- Visibilité.
- Courant.

TABLEAU RÉCAPITULATIF



II.3 - Sources d'erreur

Toutes les méthodes d'évaluation souffrent d'imperfections et les comptages visuels en plongée comportent aussi des sources d'erreur. Elles ont trois origines : l'observateur, le comportement des poissons et la stratégie d'échantillonnage retenue. Dans tous les cas, la connaissance de ces sources d'erreur est indispensable afin de tenter de les minimiser, d'une part, et de les prendre en compte dans l'analyse et l'interprétation des résultats, d'autre part.

II.3.1 - Sources d'erreur dues au plongeur

Elles peuvent être liées à l'observateur lui-même et/ou aux interactions entre observateurs et poissons. La technique utilisée peut en être aussi à l'origine.

a) Erreurs directement liées à l'observateur

Du fait des limitations de temps de plongée mentionnées dans le premier paragraphe de ce chapitre, mais aussi du caractère souvent fugitif des animaux observés, l'observateur doit être en mesure de saisir l'information aussi vite que possible. Il doit être en mesure d'identifier et d'estimer les tailles et distances rapidement avec une précision suffisante. Toute hésitation a pour conséquence la perte d'information. L'observateur peut porter son attention préférentiellement sur un groupe de poissons ou sur une fraction du peuplement qui l'intéresse davantage, ce qui constitue aussi une erreur systématique. Il peut aussi avoir tendance à sous- ou surévaluer les tailles et/ou les distances. Par ailleurs, il existe toujours un risque de compter plusieurs fois des mêmes individus. Enfin, dans le cas des comptages avec distances variables, la détectabilité des poissons tend à augmenter avec leur taille pour presque toutes les espèces, ainsi qu'avec la taille des bancs pour certaines d'entre elles (nombre d'individus dans un banc).

Hésitations, baisses d'attention et attention préférentielle s'accentuent quand les conditions dans lesquelles s'effectuent les comptages se dégradent (froid, courant, fatigue, etc.) ou quand la quantité d'information à saisir est trop importante (trop d'espèces, trop de poissons). En conséquence, l'observateur doit être le moins possible influencé par le contexte environnemental, psycholo-

gique et matériel de son travail. Ceci signifie qu'il doit avoir une parfaite maîtrise des techniques de plongée et ne doit pas subir de perturbations propres à réduire son acuité visuelle et/ou sa motricité.

b) Interactions observateurs-poissons
Ces interactions concernent principalement les modifications de comportement des poissons par rapport au plongeur. Ces modifications sont variables et peuvent prendre la forme de réactions de fuite ou au contraire d'attirance. A titre d'exemple, certaines espèces comme celles du genre *Plectropomus* (saumonées) tendent à être attirées par l'observateur et à le suivre. Inversement, les becs de cane (*Lethrinus nebulosus*) ont tendance à s'en éloigner en restant à la limite de visibilité. Ces comportements d'attirance ou de fuite sont aussi fonction de la phase d'activité (diurne ou nocturne), de l'âge des individus et de la localisation. Les trajectoires simultanées du poisson et de l'observateur peuvent induire des biais négatifs ou positifs dans l'estimation des tailles selon qu'ils nagent respectivement dans la même direction ou en un sens opposé avec un angle de vision différent de 90° par rapport au transect.

L'attitude du plongeur ainsi que la technique utilisée ont aussi une influence sur ces comportements, comme par exemple le bruit lié à l'émission des bulles des scaphandres autonomes en circuit ouvert. La fréquentation régulière d'un site (notamment dans le cas de suivi) tend à diminuer les réactions d'attirance ou de fuite et donc à minimiser ces biais.

II.3.2 - Sources d'erreur dues au poisson

Les principales sources d'erreur liées aux poissons tiennent à la répartition des espèces dans l'espace et dans le temps. Elles dépendent de nombreux paramètres liés à l'habitat, au comportement et au rythme d'activité.

Ainsi, certaines espèces sédentaires vivent dans les anfractuosités de la roche ou du corail le jour et sont actives seulement la nuit et ne sont donc parfois pas détectables par l'observateur. Il en est de même pour celles qui effectuent de brèves sorties de leurs caches ou pour celles qui sont

très mobiles ou qui colonisent certains biotopes de manière saisonnière. La probabilité de rencontre des espèces et donc de leur dénombrement est influencée par leurs comportements et leur domaine vital ou leur territoire. C'est pourquoi, il est donc toujours difficile d'évaluer un peuplement de poissons dans sa totalité et il ne faut jamais oublier que le peuplement vu (et donc échantillonné) ne correspond qu'à une partie de l'ensemble des espèces qui occupent le site étudié. Les différentes caractéristiques biologiques et écologiques des poissons influencent les mesures et les estimations. L'interprétation des résultats doit tenir compte du fait que chaque espèce n'est pas perçue (et donc pas estimée) de façon identique aux autres.

II.3.3 - Sources d'erreur dues à l'échantillonnage

Les erreurs d'échantillonnage proviennent principalement du fait que les résultats dépendent des éléments (ensemble des transects ou points fixes) qui constituent l'échantillon (n), mais aussi de la technique en elle-même.

Un échantillon est un sous-ensemble restreint de la population sur laquelle portent les résultats obtenus à partir des données observées. En effet pour des raisons techniques, économiques ou tout simplement logiques (destruction des individus comme par exemple la capture des poissons par pêche expérimentale), il n'est généralement pas possible de collecter les données sur l'ensemble de la population. L'étude sur un sous-ensemble permet d'augmenter le nombre et la qualité des paramètres mesurés.

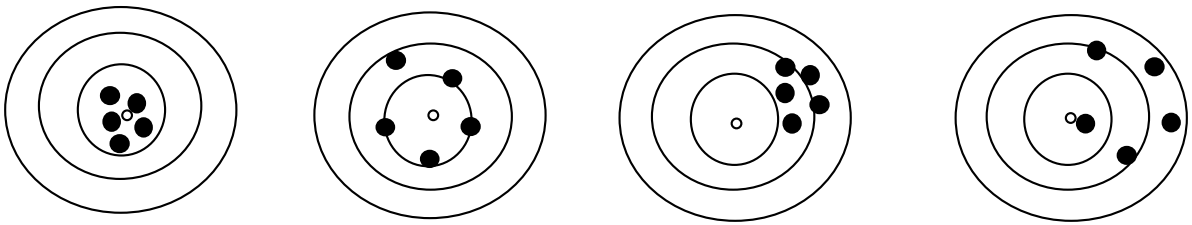
L'extrapolation des résultats obtenus à partir de l'échantillon fournit généralement des estimations de précision satisfaisante pour l'ensemble de la population. Si on observe deux échantillons composés d'un nombre donné d'éléments (ensemble de transects ou de points fixes), les mesures calculées seront différentes mais permettront des estimations comparables des paramètres de la population. La population statistique est définie comme l'ensemble des N éléments sur lesquels portent les conclusions, soit les N unités de surface correspondant aux transects potentiels sur lesquels il est possible de faire les comptages pour une zone et une période d'étude. Pour être représentatif de la population statistique, l'échantillon doit être choisi selon un plan de sondage rigoureux (aléatoi-

re ou raisonné). L'échantillon sera considéré comme égal à la population statistique (n=N). Le positionnement et l'orientation des transects peuvent être considérés comme une source d'erreur liée à l'échantillonnage. Il convient d'éviter qu'un même transect recoupe différents milieux et donc qu'il soit situé dans un milieu homogène. Les zones de transition entre biotopes différents sont aussi à proscrire.

ATTENTION…

La précision des estimations sur la population va dépendre de la taille de l'échantillon (nombre de transects) et de la variabilité (différences entre les mesures de chacun des transects). Il ne faut pas confondre cette variabilité des mesures individuelles ou erreur aléatoire (dispersion) avec l'erreur systématique (biais).

Dans les figures ci-dessous, on imagine que le paramètre à estimer correspond au centre de la cible et que chaque impact de balle correspond à la mesure effectuée sur un transect. Quatre situations-type sont ainsi représentées.



Biais faible
Dispersion faible

Biais faible
Dispersion forte

Biais fort
Dispersion faible

Biais fort
Dispersion forte

- Le manque de précision peut être lié à un biais fort et/ou à une dispersion forte. L'idéal est représenté par la première situation (biais faible, dispersion faible).
- Le biais lié à l'échantillonnage peut être réduit par un choix aléatoire des éléments de l'échantillon.
- Les erreurs d'observation et de représentativité ne diminuent pas si la taille de l'échantillon augmente.
- La dispersion est fonction de l'hétérogénéité de la population. Elle se mesure par la variance.
- Si la dispersion est grande, c'est-à-dire les transects très différents les uns des autres, l'estimation sera meilleure en stratifiant la population (par exemple par biotope).

EN RÉSUMÉ

Erreur totale =

***erreurs d'observation** (dues à l'observateur)*

***+ erreurs de couverture de la population cible** (dues aux interactions observateurs-poissons et aux poissons)*

***+ erreurs d'échantillonnage** (erreur systématique + erreur aléatoire)*

II.4 - Comment limiter les sources d'erreur?

II.4.1 - Entraînement des observateurs

S'il est difficile, voire impossible de minimiser les erreurs dues aux poissons, il est en revanche plus aisé de limiter celles dues à l'observateur grâce à une bonne maîtrise des techniques de plongée et de comptage. Ceci passe par le respect de certaines règles dans la mise en œuvre de la méthode sur le terrain (cf. chapitre III) et la nécessité préalable d'un entraînement régulier des plongeurs qui comporte plusieurs points.

a) Identification des poissons

Elle représente la première étape de l'entraînement. Les principaux poissons récifaux qui intéressent la commercialisation et/ou la consommation appartiennent à environ une quinzaine de familles, dont les principales sont les suivantes :

- Serranidae (mérous, loches et saumonées).
- Carangidae (carangues).
- Lutjanidae (dorades et jaunets).
- Caesionidae (fusiliers).
- Lethrinidae (becs et bossus).
- Mullidae (rougets, barbets).
- Labridae (labres).
- Scaridae (perroquets).
- Acanthuridae (chirurgiens).
- Siganidae (picots).
- Kyphosidae (saupes tropicales).
- Holocentridae (poissons-écureuils).
- Haemulidae (castex).

A cette liste peut être ajoutée, la famille des Chaetodontidae (poissons-papillons) qui peuvent avoir un rôle d'indicateur écologique de l'état de santé des récifs coralliens.

La première clé de leur identification est la forme du poisson qui est en général com-

mune à la quasi-totalité des espèces d'une même famille (annexe 1).

Les caractères morphologiques visuels qui permettent la reconnaissance d'une espèce au sein d'une famille sont ses formes, la couleur de sa livrée et tous les signes distinctifs qu'elle peut comporter tels que taches, lignes, stries, associées à leur localisation sur le corps et/ou les nageoires. Le comportement et les biotopes préférentiels représentent aussi des informations utiles dans l'identification. Il convient donc de les connaître et de les mémoriser, ce qui représente très certainement le travail d'entraînement le plus fastidieux. En effet, l'aspect de certains poissons évolue au cours de leur cycle de vie. Ainsi beaucoup de labres et de poissons-perroquets ont des couleurs différentes durant les phases juvéniles et adultes. De même, les couleurs pour une même espèce peuvent être différentes selon le sexe. Les poissons-perroquets en sont une bonne illustration.

L'entraînement à l'identification des poissons passe par un double apprentissage sur terre à l'aide des ouvrages disponibles (cf. rubrique "Pour en savoir plus…") et *in situ* en plongée. Afin d'éviter toute confusion dans l'utilisation des noms communs, il est préférable d'utiliser les noms scientifiques en latin des espèces. Ils se composent d'un nom de genre (ex: *Lethrinus*, nom de genre de certains becs et bossus) suivi du nom d'espèce (ex: *Lethrinus nebulosus*, le bec de cane). Dans la pratique, il convient de débuter l'apprentissage par environ une cinquantaine d'espèces dont les critères de reconnaissance sont facilement identifiables. Une liste indicative de poissons d'intérêt pour la consommation et la commercialisation est proposée en annexe 2. Quand un poisson d'une famille donnée ne peut pas être reconnu durant une plongée, il faut pouvoir noter rapidement ses caractéristiques principales (forme, couleurs, taches, etc.) afin de pouvoir l'identifier grâce aux livres dès le retour en surface. Le recours à l'élaboration de croquis grossiers permettant de le décrire et de positionner des signes particuliers sur son corps peut s'avérer précieux.

b) Dénombrement des individus

Les difficultés liées au comptage de poissons sont principalement dues aux limites de l'œil humain qui ne peut pas dénombrer instantanément plus de 4 objets. Par ailleurs, un

comptage précis ne peut pas être effectué sur plus de 10 à 20 individus dans le cas d'un banc relativement immobile. Au-delà et pour pallier à ces limites, la technique la plus fréquemment utilisée pour dénombrer des bancs importants est celle dite du "comptage en paquets". Elle consiste à compter un groupe de 10 à 20 poissons. Ce "paquet" devient l'unité de dénombrement et l'observateur évalue leur nombre sur l'ensemble de l'espace occupé par le banc de poissons. Dans le cas de bancs importants (> à 200 individus), il peut être utile de regrouper les "paquets" en "super-paquets" représentant 5 à 10 "paquets" de base.

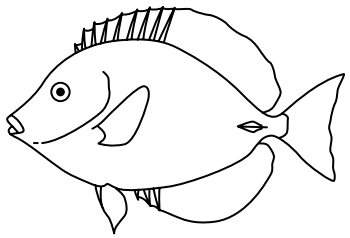
Dans le cas plus complexe où un banc de poissons est constitué de plusieurs espèces différentes (banc pluri-spécifique), il est conseillé de débuter le comptage par les espèces les plus abondantes, c'est-à-dire les plus importantes en nombre. Il en est de même dans le cas de bancs où vient s'ajouter une hétérogénéité dans les tailles. Lors de l'entraînement, la prise de photographies est un bon moyen d'estimer les erreurs qui sont commises et à quel niveau elles le sont.

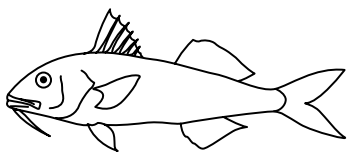
c) Estimation de la taille des individus

Pour pouvoir espérer des résultats acceptables, l'estimation des tailles doit être suffisamment précise. La différence relative entre les tailles estimées et les tailles réelles ne doit pas dépasser 20% et approcher si possible 10%. De nombreux facteurs peuvent affecter cette estimation.

Effets d'optique liés à la forme d'un poisson

Ces poissons ont la même taille et pourtant… Le moins haut des deux semble être plus grand !





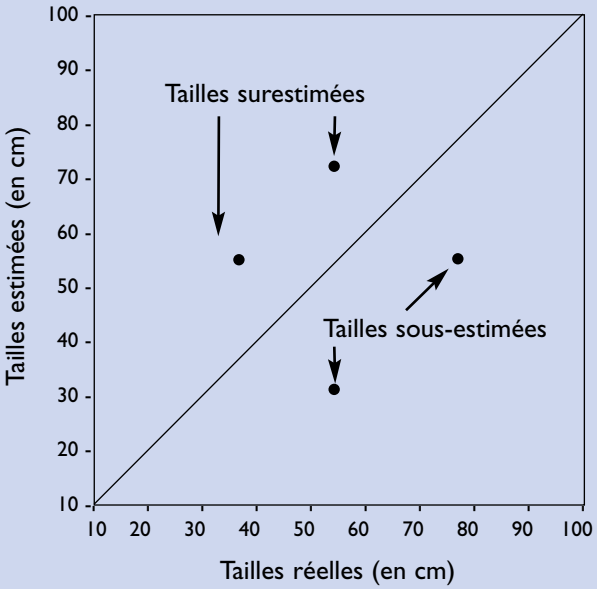
Parmi les principaux, il faut citer l'effet de grossissement de l'eau (ou effet de loupe du masque), l'angle sous lequel le poisson est vu, la clarté de l'eau et la forme des poissons.

Pour s'entraîner, une des méthodes les plus fréquentes consiste à utiliser des silhouettes de poissons de tailles et de formes différentes qui peuvent correspondre aux principales familles qui feront l'objet des évaluations (cf. Annexe 1). Elles peuvent être facilement fabriquées en contreplaqué marine ou en PVC. Elles sont fixées sur une ligne de 150 mètres lestée, immergée et fixée aux extrémités. Les tailles des silhouettes doivent couvrir la gamme comprise entre 10 et 100 cm.

Le plongeur nage le long de la ligne à une distance préétablie (en général 3 mètres au début de l'entraînement). Pour chaque silhouette il note son numéro et estime sa taille. Au début de la période d'entraînement, quelques silhouettes de référence, sur lesquelles la taille est indiquée, peuvent être utilisées comme repères pour l'estimation des autres maquettes.

De retour à terre, les estimations du plongeur sont comparées avec les valeurs de taille réelle ; cette comparaison permet d'évaluer les performances du plongeur et d'apprécier ses progrès. La manière la plus simple consiste à établir un graphique en reportant sous forme de points les différentes valeurs estimées ("y" en ordonnée) en fonction des tailles réelles des silhouettes ("x" en abscisse). Les points doivent se rapprocher le plus possible de la ligne droite où "x" est égal à "y", c'est-à-dire où les valeurs estimées correspondent aux valeurs réelles. Les points situés en dessus de cette droite montrent que l'observateur a surestimé la taille des silhouettes. Dans le cas contraire où ils se trouvent au-dessous de la droite, le plongeur a sous-évalué leur taille. D'une manière générale, il convient non pas d'analyser les points pris séparément, mais d'analyser les tendances générales pour apprécier si l'observateur tend à globalement sur- ou sous-estimer les tailles et dans quelle gamme il le fait. Un observateur peut faire des erreurs préférentielles comme, par exemple, sous-évaluer systématiquement les tailles des plus gros poissons alors qu'il estime correctement celles des poissons qui sont plus petits.

Droite d'étalonnage pour mesurer les performances de l'observateur dans l'estimation des tailles



Les résultats des observations reportés sur ce graphique doivent se rapprocher le plus possible de cette droite.

De manière plus détaillée, cette approche des performances peut faire l'objet d'une analyse statistique (test t sur le coefficient de corrélation entre tailles estimées et tailles réelles). L'estimation correcte de la taille des poissons implique la répétition de cet entraînement jusqu'à ce que les tailles observées se rapprochent suffisamment des tailles réelles (marges d'erreur inférieure à 20 %). Lors d'une campagne d'échantillonnage, et à titre de validation, un poisson peut être capturé et sa taille mesurée et comparée avec celle qui a été préalablement estimée.

d) Estimation des distances (dans le cas des comptages avec distances variables)

Comme pour les tailles, il faut se méfier de l'effet de grossissement de l'eau dans l'estimation des distances. La clarté de l'eau peut aussi induire des erreurs d'évaluation. Ainsi, quand l'eau est claire, une tendance à la sous-estimation des distances est observée, alors qu'inversement les distances sont surestimées dans les eaux turbides.

L'entraînement à l'évaluation des distances perpendiculaires au transect peut se faire en disposant de part et d'autre du transect, à une distance connue, deux rubans qui serviront de points de référence et des objets dont la distance au transect est également connue… sauf du plongeur à l'entraînement ! Comme pour la taille des poissons, les résultats obtenus par l'observa-

La capacité d'estimer correctement les tailles et les distances s'émousse avec le temps ; il faut donc s'entraîner ou procéder régulièrement à des échantillonnages pour maintenir des performances acceptables.

La meilleure validation des mesures et de vérification des données passe par leur utilisation et leur interprétation !

teur peuvent être comparés au moyen d'une courbe aux distances réelles, puis l'exercice peut être répété en prenant en compte les erreurs (sous- ou surestimations) jusqu'à réduire la marge d'erreur. (cf. paragraphe précédent).

II.4.2 *Règles de base pour la planification de l'échantillonnage et le choix des transects ou points fixes*

A. Démarche méthodologique

Il est difficile, voire impossible, d'éliminer tous les problèmes liés à l'échantillonnage. La réussite d'une campagne d'échantillonnage est le résultat du respect d'une démarche méthodologique qui comporte des étapes précises.

a) Une planification rigoureuse

La phase de planification est indispensable pour établir des choix justifiés. Une bonne planification doit permettre de minimiser les biais et d'assurer une bonne précision de l'étude et d'éviter les problèmes liés à l'échantillonnage trop souvent constatés une fois les données obtenues.

La phase de planification doit apporter des réponses aux questions qui suivent :

- **Quel est le matériel biologique sur lequel seront réalisées les observations pour répondre au problème ?** Il peut s'agir par exemple du comptage de tous les poissons ou uniquement du dénombrement des poissons d'intérêt commercial.
- **Quelle approche retenir ?** Elle peut être expérimentale (on provoque la cause du phénomène à étudier, comme, par exemple, la fermeture et l'ouverture d'une zone à la pêche) ou descriptive (on décrit le phénomène par échantillonnage de la population étudiée : c'est le cas de

l'échantillonnage de zones soumises à différentes intensités de pêche).

- **Quel est l'élément sur lequel s'effectuent les observations ?** Il s'agit ici d'un transect ou d'un point fixe.
- **Quelle est la population étudiée ?** Elle est représentée par l'ensemble des éléments (transects ou points fixes); elle est définie par 4 facteurs : sa nature (ex : transect); ses caractéristiques propres (ex : longueur du transect), sa localisation (ex : lagon sud-ouest), la date à laquelle on la considère (ex : mois d'août 2001).
- **Quelles sont les variables prises en compte ?** Ce sont les attributs de l'élément. Les variables peuvent être quantitatives (ex : nombre de poissons du transect, taille du poisson, densité, biomasse, etc.) ou qualitatives (espèce de poisson).
- **Quel est le dispositif de mesure ?** Dans le cas qui nous intéresse, il s'agit de la technique de comptage visuel en plongée.
- **Quel est le plan d'échantillonnage retenu ?** Il peut s'agir d'un échantillonnage aléatoire simple, stratifié par biotope, systématique, etc.
- **Quels sont les paramètres à estimer ?** Il peut s'agir d'une moyenne ou d'un total sur variable quantitative (nombre de poissons, densité, biomasse), d'un pourcentage sur une variable qualitative (% d'espèces), etc.

b) L'acquisition de données de qualité
Elle est fonction de la collecte en elle-même et du plan d'échantillonnage.

c) Une utilisation intelligente des données
Elle comprend leur traitement, leur interprétation, mais aussi les conclusions/décisions et la phase de restitution des résultats.

La planification de l'échantillonnage et du traitement des données doivent se faire simultanément afin de mieux justifier le "pourquoi" et le "comment" de la collecte.

B. Taille de l'échantillon

La **taille de l'échantillon**, c'est-à-dire le nombre de transects à réaliser afin d'aboutir à une évaluation moyenne représentative de la population, doit être au minimum de 2 pour mesurer une dispersion. Mais ce n'est pas suffisant ; il en faut d'autant plus qu'il existe une grande hétérogénéité dans la population. Pour estimer le paramètre

d'une population à 10% près (p = 0,1) avec 5 chances sur 100 de se tromper en donnant la valeur de ce même paramètre (alpha = 5%), la taille théorique de l'échantillon est donnée par :

- $\mathbf{n_0=t^2S^2/P^2}$ pour la moyenne ;
- $\mathbf{n_0=P(100-P)t^2/P^2}$ pour une proportion d'une population infinie (N>10 000) ;
- $\mathbf{n = n_0 / (1+n_0 / N)}$ pour une population finie (N<10 000).

avec S^2 : variance de l'échantillon (voir définition de la variance en page 24);

P : proportion d'une modalité d'une variable qualitative (ex : proportion de femelles de la variable "sexe" qui comporte deux modalités, mâles ou femelles).

La taille de l'échantillon peut aussi être calculée en fonction du coût. Si on considère le budget total de l'étude (C) et le coût unitaire (c) attaché à une observation (un transect), le nombre de transects (n) sera donné par :

$$\mathbf{n=C/c.}$$

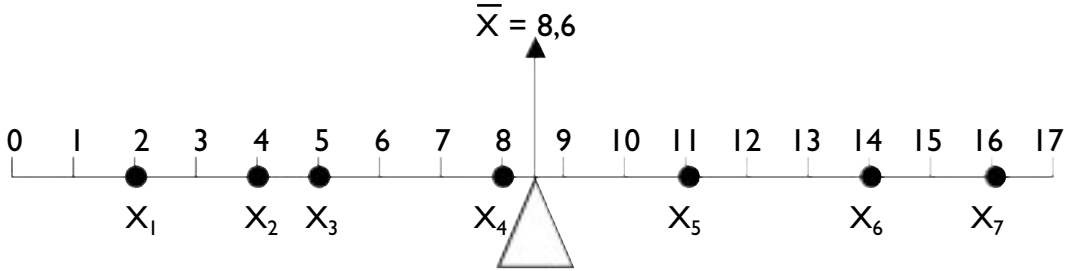
C. Plan d'échantillonnage

Le **plan d'échantillonnage** représente la stratégie adoptée pour cerner la population à évaluer. De lui dépend la méthode de sélection de l'échantillon (choix des éléments), la formulation de l'estimateur, et les caractéristiques de la population étudiée. Les critères de biais, de coût et de précision sont à prendre en compte dans le choix du plan d'échantillonnage.

Le **tirage aléatoire** des unités d'échantillonnage donne l'assurance que la sélection d'un individu n'influence pas la sélection des autres. Ceci signifie qu'il ne faut laisser aucune latitude de choix à l'enquêteur. Un choix aléatoire peut se réaliser de nombreuses manières telles que le tirage informatisé de coordonnées géographiques, le tirage de carrés dans une zone quadrillée, ou plus simplement en pointant une carte avec un crayon… avec les yeux bandés! Il est parfois difficile de définir un échantillon au hasard. Un échantillonnage non aléatoire peut alors aussi donner des résultats intéressants, à condition toutefois de pouvoir contrôler le choix des éléments (choix raisonné) et de se méfier de toute généralisation hâtive. Il représente souvent la technique la plus économique pour des études exploratoires.

DÉFINITION DE LA VARIANCE

La variance est une mesure de la dispersion de la population que l'on cherche à étudier. Dans l'exemple théorique, ci-dessous, les mesures de n éléments d'un échantillon sont considérées comme autant de poids disposés sur une barre horizontale et qui sont associés à une valeur individuelle.



La moyenne ($\overline{X}$) correspond au point d'appui qui permet d'équilibrer les écarts négatifs et les écarts positifs :

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7}{n}$$

En remplaçant chaque mesure par sa valeur numérique, la formule devient :

$$\overline{X} = \frac{2 + 4 + 5 + 8 + 11 + 14 + 16}{7} = 8,6$$

La variance (S^2) est égale à la moyenne du carré de tous les écarts entre la mesure (X_i) et la moyenne ($\overline{X}$) :

$$S^2 = \frac{\sum_i^n (X_i - \overline{X})^2}{n}$$

En reprenant les valeurs utilisées dans l'exemple, on obtient :

$$S^2 = \frac{(2 - 8,6)^2 + (4 - 8,6)^2 + ...+ (16 - 8,6)^2}{7} = 24$$

On distingue l'échantillonnage **probabiliste**, où chaque élément de la population a une probabilité connue d'avance d'appartenir a l'échantillon (scientifiquement rigoureux avec une théorie mathématique qui le justifie), de l'échantillonnage **empirique** qui ne permet pas de calculer la probabilité d'inclusion des individus (quotas, unité types) (moins rigoureux mais dont l'utilisation est souvent dictée par des considérations budgétaires).

Les principaux plans d'échantillonnage probabilistes sont :

- **l'échantillonnage aléatoire simple** : Les éléments de la population ont la même probabilité d'appartenir à l'échantillon ;
- **l'échantillonnage stratifié** qui consiste à subdiviser la population en sous-groupes plus homogènes. Dans chaque strate, on extrait un échantillonnage aléatoire. Pour tirer profit de la stratification, il faut qu'il existe une relation forte entre le ou les facteurs de stratification et le caractère étudié. Ceci nécessite de connaître la structure de la population ;
- **l'échantillonnage par grappe** (ou à plusieurs degrés) qui revient à réaliser un échantillonnage aléatoire composé d'unités qui sont elles-mêmes des sous-groupes de la population (ou grappes). L'ensemble des unités à l'intérieur de chaque sous-groupe est toujours représentatif de la population ;
- **l'échantillonnage systématique** qui consiste à prélever systématiquement un nombre n d'éléments séparés par un intervalle constant (intervalle de temps, d'espace, de nombre de lignes, etc.). Le premier élément doit être choisi sur une base aléatoire. Ce type d'échantillonnage est fréquemment utilisé dans les évaluations de ressources par comptage visuel en plongée.

Dans ce qui suit, les estimations qui sont présentées concernent le cas de plans d'échantillonnage aléatoire simple. Ils peuvent être extrapolés à l'échantillonnage systématique (sous réserve que le premier élément, par exemple un transect, soit choisi de manière aléatoire). Ils sont applicables à différentes échelles et permettent d'établir des comparaisons dans l'espace (par exemple entre biotopes) et/ou dans le temps (entre deux dates).

EN RÉSUMÉ…

Une stratégie d'échantillonnage s'élabore en plusieurs points :

1) *choix de la population sur laquelle on veut étendre les conclusions de l'étude (notamment les limites d'espace et/ou de temps) ;*

2) *choix de la taille de l'échantillon ; elle est fixée à partir de contraintes de coût et de la précision recherchée;*

3) *choix des n éléments appartenant à l'échantillon (plan d'échantillonnage);*

4) *façon de collecter les informations sur l'échantillonnage (technique d'échantillonnage = comptages visuels en plongée).*

III - Mise en œuvre des techniques de comptages visuels de poissons en plongée avec distance variable

Les méthodes présentées dans ce chapitre s'appuient sur la théorie d'échantillonnage par la distance. Elles prennent donc en compte la distance des poissons au transect ou au point fixe.

III.1 - Rappel des règles de sécurité applicables au travail en plongée

Le travail en plongée est une activité qui comporte des risques qui peuvent être minimisés grâce au respect de certaines règles élémentaires qui sont rappelées ci-dessous.

Avant toute plongée, vérifier systématiquement les points suivants :

1) la validité de votre certificat médical d'aptitude à la plongée (à renouveler annuellement) ;
2) l'état de la météo et éventuellement les prévisions si elles sont disponibles ;
3) le bon état de votre matériel et de son fonctionnement, notamment de l'ensemble jaquette, bloc, détendeurs ;
4) la présence obligatoire d'une sécurité de surface et les conditions de sécurité de l'embarcation ;
5) la présence des équipements de sécurité indispensables et leur bon fonctionnement (radio VHF, oxyréanimateur, boîte de premiers secours, liste des personnes et services médicaux à contacter en cas d'urgence).

Vous devez être en bonne forme physique et morale avant chaque plongée. Ne pas plonger si vous êtes enrhumés, fatigués ou après un repas trop copieux et/ou trop "arrosé" !

Pendant les plongées :

1) NE JAMAIS PLONGER SEUL (2 plongeurs au minimum).
2) En toutes circonstances, garder le contact visuel avec les personnes qui plongent avec vous et, si possible, ne pas vous en éloigner.
3) Si vous perdez votre binôme ou les personnes qui plongent avec vous, attendre une minute là où vous êtes en faisant éventuellement un tour sur vous-même (360°), puis remonter lentement en cherchant les bulles des autres. Vers la surface, effectuer un 360°. Dès l'arrivée en surface, gonfler votre gilet et faire le signe OK à la sécurité surface. NE JAMAIS REDESCENDRE SEUL, attendre les autres.
4) Éviter les montées et descentes successives (mouvement de "yoyo").
5) Pour les plongées où la profonfeur maximale atteinte est supérieure à 10 mètres, effectuer systématiquement un palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres.
6) D'une manière générale, essayer de rester en deçà de la courbe des paliers.
7) Remonter toujours lentement (ne pas aller plus vite que la vitesse des petites bulles).

Après les plongées :

1) Noter les paramètres de vos plongées (lieux, profondeurs maximales atteintes, durée totale, durée des intervalles, faits particuliers).
2) Rincer soigneusement à l'eau douce votre matériel et vérifier son état.
3) Eviter les efforts physiques intenses ainsi que l'immersion en apnée dans les 8 heures qui suivent la dernière plongée.
4) Ne pas prendre l'avion dans les 24 heures qui suivent la dernière plongée.

Il est bon de rappeler que dans la quasi-totalité des accidents de plongée enregistrés ces dernières années, une ou plusieurs de ces règles n'ont pas été appliquées. Leur respect aurait sans doute contribué à sauver de nombreuses vies. N'oubliez jamais que chaque plongeur est responsable à la fois de sa propre sécurité mais aussi de celle des autres.

III.2 - Matériel

Sur le bateau :

- livres d'identification (se référer à la rubrique "Pour en savoir plus…");
- chemises plastiques de couleurs différentes (1 pour les feuilles de relevés vierges, 1 pour les feuilles remplies);
- 1 GPS portable + piles de rechange;
- gommes;
- taille-crayon.

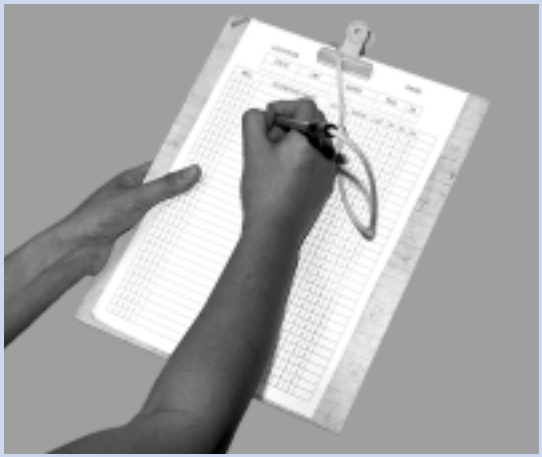
RECOMMANDATION

Afin de préserver les livres et d'éviter qu'ils s'abîment trop rapidement, il est conseillé de les recouvrir avec une couverture plastique et plus généralement de stocker le matériel sensible à l'eau et l'humidité dans un contenant étanche (de type glacière).

Pour le travail dans l'eau :

- 3 pentadécamètres;
- 1 plaquette rigide (PVC) par plongeur munie de pinces (au minimum 2 pinces);
- feuilles de relevés (au minimum 3 fiches station et 5 fiches de relevés poissons).

Un pentadécamètre



Une plaquette rigide (PVC)

- crayons (au minimum 2 par plongeur : 1 dans la manche de la combinaison ou dans le fourreau du couteau + 1 fixé à la plaquette par un cordon);
- montre étanche;
- profondimètre.

RECOMMANDATION

Utiliser de préférence des crayons en résine. Par rapport aux crayons en bois, ils présentent le gros avantage de ne pas se fendre et d'avoir une mine plus solide.

III.3 - Transects

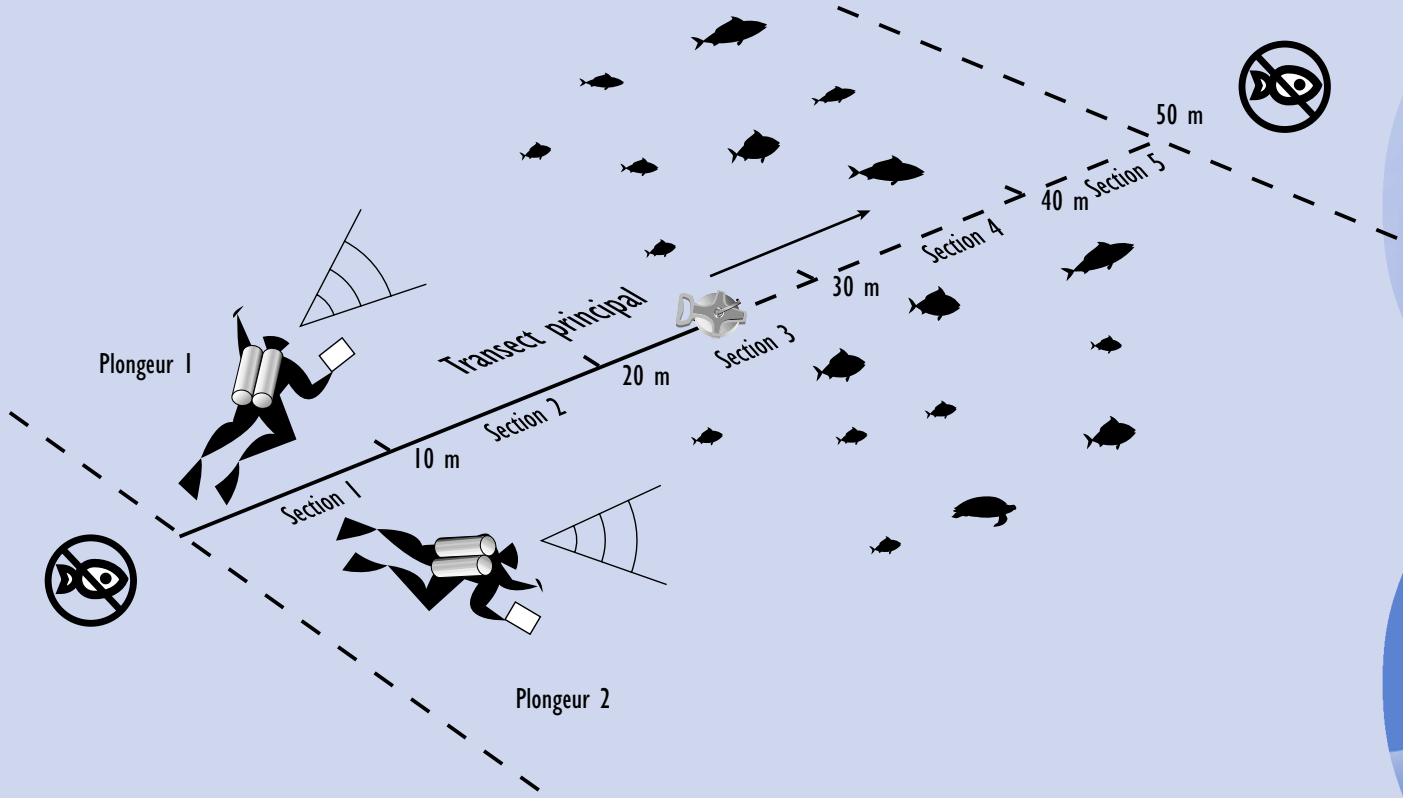
La technique présentée ci-dessous prend en compte des transects d'une longueur standard de 50 mètres.

Sur le bateau avant la plongée :

- Remplir la partie haute de la feuille de station relative aux informations générales de la station : numéro de station, position GPS, brève description, etc. (cf. annexe 4). Faire de même sur la feuille d'enregistrement des données poissons (cf. annexe 3).

Durant la plongée :

- Mise à l'eau.
- En surface, vérifier une fois de plus avec le binôme que rien n'a été oublié lors de la mise à l'eau (double vérification).
- Descente.
- Une fois au fond, déterminer le point de départ du transect.
- Fixer l'extrémité de l'un des pentadécamètres à une roche ou dans le sable à l'aide d'une tige métallique et poser les deux autres pentadécamètres à côté.
- Déterminer la direction et l'axe virtuel de déroulement du pentadécamètre.
- Attendre 2 à 3 minutes, le temps que les poissons se calment et s'habituent à la présence des plongeurs.
- Débuter le comptage poissons.
- Un des deux plongeurs déroule le pentadécamètre au fur et à mesure que le comptage s'effectue.



Comptage visuel sur transect–Vue 3 D

QUELQUES RÈGLES À RESPECTER DANS LA RÉALISATION DU COMPTAGE

1) *L'idéal est de progresser par sections d'environ 3 mètres, notamment pour éviter de compter deux fois ou plus les mêmes poissons.*
2) *Dans le cas où les deux plongeurs comptent chacun d'un côté du transect, il faut veiller à ce qu'ils progressent ensemble. Si un seul plongeur effectue le comptage, il faut d'abord compter un côté, puis l'autre. Le ruban est alors déroulé par le plongeur qui assure la sécurité au fur et à mesure de la progression de l'observateur.*
3) *Ne pas rester trop longtemps au même endroit et ne pas prendre en compte les poissons qui entrent dans le champ de vision trop longtemps après l'arrêt. S'ils doivent être dénombrés, alors les situer à la distance limite de visibilité.*
4) *Si possible, commencer par compter les espèces les plus abondantes.*
5) *Compte tenu des hypothèses qui sont liées aux comptages avec distance variable (cf. paragraphe II.2.1), accorder systématiquement une importance plus grande aux poissons qui sont proches du transect. Pratiquement, il est donc important après chaque progression de débuter les dénombrements à proximité immédiate du transect et de s'intéresser dans un second temps aux espèces qui en sont le plus éloignées, c'est-à-dire de réaliser les observations dans le sens transect ➔ limite de visibilité.*
6) *Toujours utiliser le même cheminement dans le remplissage de la feuille de plongée, c'est-à-dire noter le nom du poisson (cf. remarque suivante), puis le nombre, la taille et enfin la ou les distances perpendiculaires au transect.*
7) *Les noms scientifiques sont parfois longs et fastidieux à écrire sous l'eau, aussi ne pas hésiter à utiliser des abréviations dès lors qu'elles restent compréhensibles et peuvent permettre de retrouver quasi-instantanément le nom de l'espèce (Acant xant pour Acanthurus xanthopterus ou Sc riv pour Scarus rivulatus).*

1) Rester proche du ruban et ne pas s'en éloigner afin d'éviter de fausser les estimations des distances perpendiculaires des poissons au transect.

2) Ne pas oublier que le transect mesure 50 mètres de long. Il faut donc faire attention à ne pas déborder de part et d'autre, et considérer deux lignes virtuelles perpendiculaires au transect à 0 et 50 mètres qui matérialisent les limites du comptage. En cas de dénombrement à deux plongeurs, il faut que chacun d'entre eux respecte la limite matérialisée par le transect, c'est-à-dire le pentadécamètre. En cas de doute sur un poisson ayant déjà pu être compté par son équipier, ne pas hésiter à le lui demander.

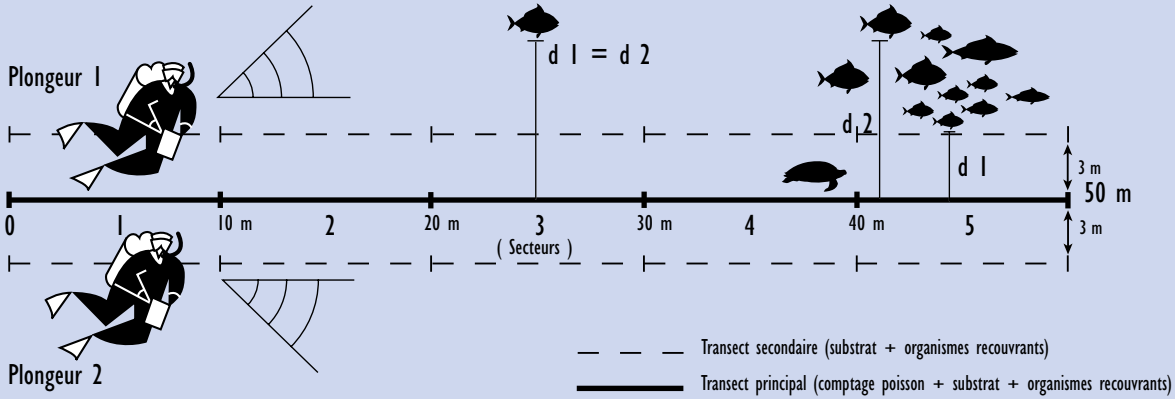
- Une fois le comptage poissons terminé, laisser le transect principal en place et dérouler les deux autres pentadécamètres à une distance d'environ 3 mètres parallèlement de part et d'autre du transect principal[2].
- Pour l'ensemble de la station, noter la visibilité, le courant et les autres paramètres connus sur la partie haute de la fiche station (cf. annexe 4).

COMMENT ESTIMER LA VISIBILITÉ ?

Une méthode simple consiste à disposer verticalement une plaquette support de papier au point 0 du transect principal. Lors du trajet retour (pour rembobiner le pentadécamètre ou faire les relevés de substrat), noter sur le ruban la distance qui vous sépare de la plaquette dès qu'elle devient visible.

- Pour chacun des trois transects et pour chacune des sections de 10 mètres, identifier tous les mètres à la verticale du ruban la nature du substrat et des organismes vivants recouvrants. Reporter les résultats des observations sur la feuille de station en mettant des barres dans les rubriques correspondantes (cf. annexe 3).
- Dans chaque bande de un mètre de large de part et d'autre de chacun des transects, compter les organismes associés (invertébrés).
- Au dos de la feuille de station, noter les éventuelles observations liées à la station.

2 Dans le cas des comptages avec distance fixe, les trois pentadécamètres peuvent être disposés à 3 mètres d'intervalle dès le début de la plongée.



Comptage visuel sur transect–Vue plane

- Vérifier que les feuilles ont été correctement et entièrement remplies.
- Rembobiner les trois pentadécamètres.
- Entamer la remontée (cf. recommandations liées au travail en plongée).

Après la plongée :

Sur le bateau :

- Procéder sans attendre aux premières discussions, puis compléter et corriger les feuilles si c'est nécessaire.
- Retirer les feuilles des plaquettes puis les classer dans les chemises en plastique correspondantes.

À terre :

- Rincer une par une les feuilles à l'eau douce, puis les mettre à sécher séparément.
- Une fois séchées, reprendre les feuilles et éventuellement les compléter et/ou les corriger.
- Procéder à la saisie des données.

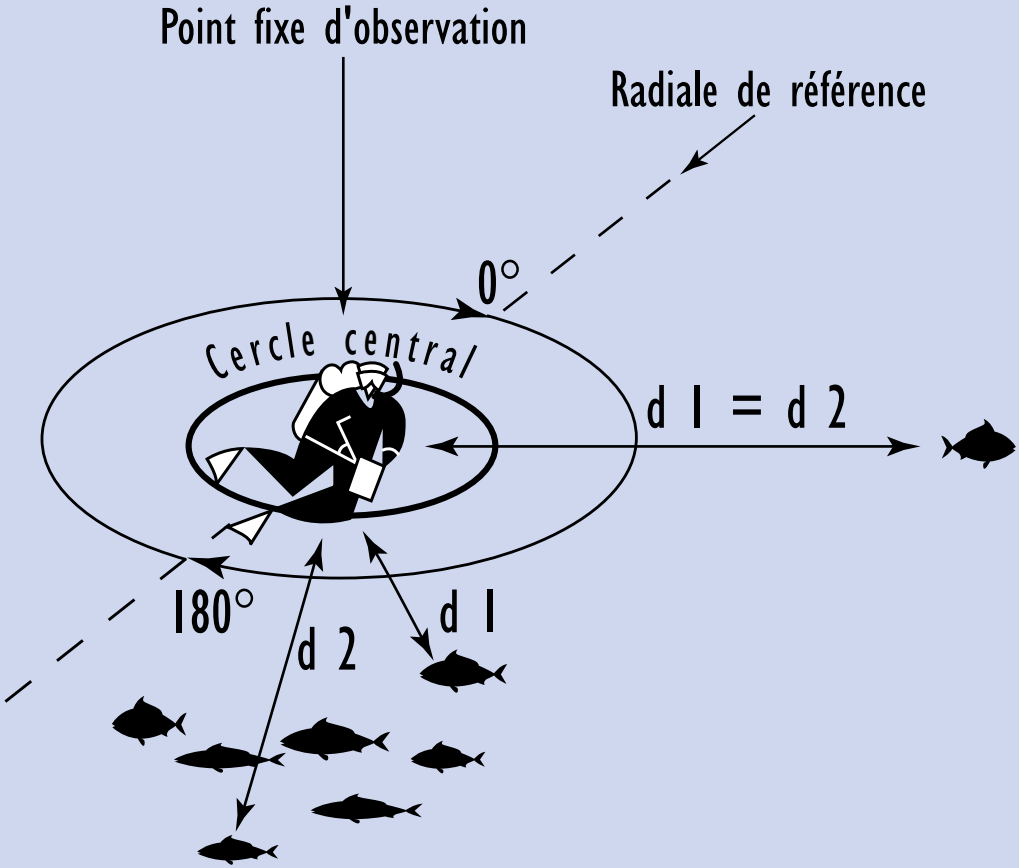
III.4 - Points fixes

Les consignes à respecter avant la mise à l'eau sont identiques à celles déjà mentionnées plus haut pour les comptages sur transects. Il en est de même pour les règles de

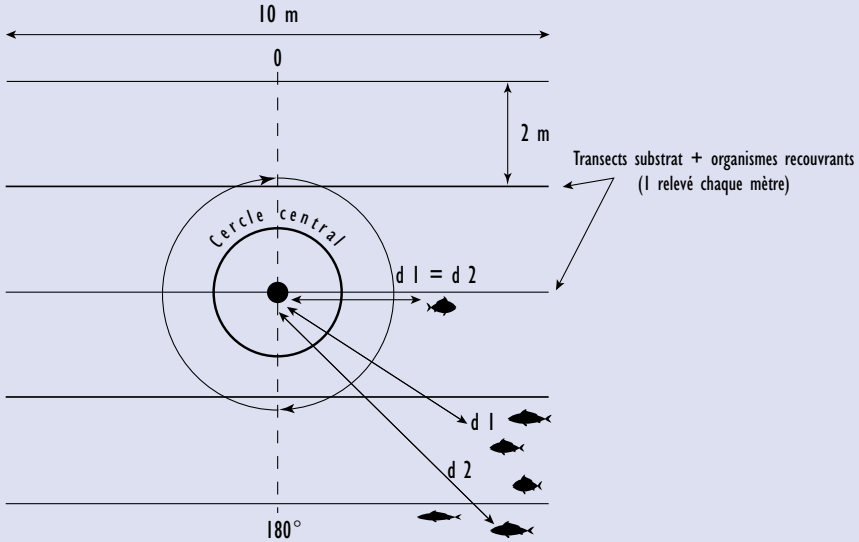
l'après-plongée et les points importants à observer durant la plongée. Les spécificités de la mise en oeuvre liées aux comptages à partir de points fixes sont les suivantes :

- Déterminer visuellement le point d'observation en restant en pleine eau.
- Se placer à sa verticale tout en restant en pleine eau et compter les poissons présents dans le cercle central (rayon de 1 m autour du point d'observation).
- Une fois le comptage réalisé dans le cercle central, se placer au fond sur le point d'observation et identifier une radiale de référence pour la poursuite du comptage.
- Poursuivre le comptage à partir de ce repère en tournant sur soi-même jusqu'à revenir à la radiale (360°) et en respectant les consignes énoncées pour les transects.
- Une fois le comptage des poissons terminé, dérouler un décamètre en le centrant sur le point d'observation. De part et d'autre, dérouler deux autres décamètres à 2 mètres de distance.
- Pour chacun des trois transects ainsi disposés, identifier chaque mètre à la verticale du ruban la nature du substrat et des organismes vivants recouvrants. Reporter les résultats des observations sur la feuille de station en mettant des barres dans les rubriques correspondantes (cf. annexe 4)[3].
- Une fois terminées les identifications, déplacer les deux rubans extérieurs de deux mètres de plus, puis renouveler la même opération sur ces deux nouveaux transects.
- Pour chacun des transects ainsi disposés, compter les organismes associés (invertébrés) sur une bande de 1 mètre de large de part et d'autre du ruban.

3 Chaque transect correspond à une section différente de la feuille de saisie des données.



Comptage visuel sur point fixe–Vue en 3 dimensions



Comptage visuel sur point fixe–Vue verticale

LE TRAVAIL A AUSSI VALEUR D'ENTRAÎNEMENT…

…Aussi, faut-il saisir toutes les opportunités offertes de pouvoir calibrer les mesures et d'affiner les estimations de tailles et de distances.

1) *Lorqu'un poisson est immobile sur le fond, prendre des repères qui correspondent aux extrémités de la tête et de la queue, puis mesurer leur espacement avec le rebord gradué de la plaquette.*
2) *Avant de se déplacer le long du transect, prendre l'habitude d'estimer la distance au prochain point d'arrêt choisi et comparer cette estimation avec la réalité mesurée sur le pentadécamètre.*
3) *Lorsqu'on s'éloigne du transect pour identifier une espèce, tenter de mesurer la distance qui sépare le poisson du transect en utilisant comme référence par exemple la longueur de son propre corps. Dans ce cas, veiller à ne pas enregistrer de poissons qui n'auraient pas été observés à partir du transect.*

IV - Utilisation des données récoltées

IV.1 - Saisie et mise en forme des données

Le codage, la saisie et la mise en forme des données sur ordinateur nécessitent une attention toute particulière. De leur qualité dépendront aussi les résultats de l'évaluation.

Le principal enjeu de la saisie est de permettre un traitement informatique rapide des données. Les risques inhérents à cette opération résident principalement dans la source d'erreur supplémentaire qu'elle représente. Dans le cas où les données sont entrées directement dans un tableur, il est vivement conseillé de procéder à une double saisie, si possible réalisée par deux opérateurs différents. Les deux fichiers pourront ensuite être comparés à des fins de vérification, ce qui permet de limiter les sources d'erreur liées au transfert des données sur l'ordinateur.

RECOMMANDATION

Afin de faciliter la saisie sur tableau, il est conseillé de faire correspondre à chaque ligne d'entrée une observation, et d'affecter une colonne pour chaque paramètre, si possible dans l'ordre où elles apparaissent sur la feuille d'enregistrement sur le terrain (cf. annexe 3).

IV.2 - Calculs des densités, biomasses et abondances (numériques et pondérales)

Dans le cas de l'utilisation de transects ou points fixes avec distances variables, l'estimation de la densité et de la biomasse présentée ci-dessous repose sur le calcul d'une distance moyenne pondérée "dm" des individus au transect ou au point fixe. Pour la majorité des espèces, elle donne des résultats comparables aux autres méthodes qui nécessitent d'ajuster une fonction mathématique à la courbe de détectabilité des poissons pour estimer le paramètre "a" (cf. paragraphe II.2.1). Cette méthode de calcul présente en outre l'avantage d'être simple.

Pour ce faire, on considère de part et d'autre du transect des couloirs adjacents de 1 mètre de large chacun, le plus proche de 0 à 1 mètre, le second de 2 à 3 mètres, etc. Compte tenu de la distance à laquelle il a été observé, chaque poisson recensé est *a posteriori* associé à l'un de ces couloirs et se voit attribuer la valeur de sa médiane, c'est-à-dire du milieu de la classe. Par exemple, si un individu a été noté à une distance perpendiculaire de 2 mètres par rapport au transect, il sera considéré comme ayant été vu dans le couloir compris entre 2 et 3 mètres. La valeur de distance utilisée dans le calcul sera de 2 + 0,5 = 2,5 mètres qui correspond à la médiane de la classe 2-3 mètres.

Ainsi, pour une espèce j, la **distance moyenne pondérée** est donnée par :

$$dm_j = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_{ij} \, (d_{ij} + 0{,}5)}{\sum n_{ij}} \qquad (1)$$

avec p : nombre total d'observations (occurrences) de l'espèce j (une observation peut comporter plusieurs individus)

n_{ij} : nombre de poissons de l'observation (occurrence) i (en général i=1, mais il peut prendre une valeur supérieure dans le cas des bancs)

d_{ij} : distance perpendiculaire du poisson i au transect (dans le cas de bancs, il devient =

$$d_{ij} = \frac{(d1 + d2)}{2}$$

La **densité estimée** s'obtient alors par :
avec L : longueur du transect (= 50 mètres)

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_{ij}}{dm_j . L} \qquad (2)$$

L'**estimation des biomasses** est obtenue grâce à l'utilisation des relations longueur-poids par :

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_{ij} \, . \, W_{ij}}{dm_j . L} \qquad (3)$$

avec W_i : poids estimé du poisson i à partir des relations longueur-poids

Ces calculs peuvent se faire pour chaque espèce séparément ou pour l'ensemble des poissons d'une famille ou du peuplement étudié à partir des données d'un ou plusieurs transects. Les meilleures estimations globales sont obtenues en considérant les espèces prises dans leur ensemble et non en faisant la somme des estimations par espèce. Les écarts entre ces deux types d'estimations peuvent être assez importants, surtout quand le nombre d'espèces est élevé.

L'estimation du stock (Q) se fait en multipliant la biomasse B par la surface de répartition du stock :

$Q_j = B_j.A$ (4)

avec A : surface du biotope ou de la zone sur laquelle s'applique l'estimation B de biomasse.

Nombre	*Longueur (en cm)*	*Distance 1 (en m)*	*Distance 2 (en m)*
1	*8*	*4*	*4*
2	*10*	*1*	*2*
2	*22*	*2*	*2*
7	*12*	*2*	*4*
2	*18*	*4*	*6*
3	*22*	*4*	*4*
4	*18*	*3*	*4*
3	*15*	*5*	*6*
2	*20*	*3*	*4*
4	*15*	*3*	*4*
2	*22*	*3*	*4*
4	*15*	*5*	*6*
1	*17*	*4*	*4*
2	*15*	*5*	*6*
6	*11*	*2*	*4*
1	*18*	*4*	*4*
10	*15*	*0*	*3*
1	*20*	*3*	*3*
7	*13*	*6*	*8*

64 = Nombre total de poissons

48 = Nombre total de poissons entre 0 et 5m

Exemple de calcul de la distance moyenne pondérée, de la densité et de la biomasse :

L'exemple choisi est celui des résultats d'observations réalisées en plongée le 28 novembre 1998 sur la station n°4 située dans la réserve marine de Namoui à Niue. Au total, 64 individus appartenant à l'espèce Ctenochaetus striatus *ont été enregistrés sur les deux côtés du transect. (Voir tableau ci-contre.)*

En appliquant l'équation (1), la distance pondérée est égale à :

$$dm_j = \frac{1(4+0,5) + 2(0,5+1,5) + \ldots + 7(7+0,5)}{64} = 4,23 \text{ m}$$

L'estimation de la densité moyenne sur ce transect peut être alors obtenue en utilisant l'équation (2) qui donne :

$$D = \frac{64}{2 \times 4,23 \times 50} = 0,151 \text{ individus/m}^2$$

Note : si la même opération avait été réalisée à l'aide de transect d'une largeur fixe de 5 mètres, la densité aurait été égale à :

$$D = \frac{48}{2 \times 5 \times 50} = 0,096 \text{ individus/m}^2$$

Cette valeur est sous-estimée par rapport à celle obtenue par comptage avec distances variables.

Pour cette espèce, l'utilisation de la relation longueur-poids $W = 0.0254L^{3.027}$ *obtenue par Letourneur et al. (1999) permet de calculer pour chaque individu ou groupe d'individus leur poids moyen. Le résultat de ce calcul est présenté dans le tableau qui suit.*

Nombre	Taille (en cm)	Poids individuel (en g)	Poids total (en g)
1	8	14	14
2	10	27	54
2	22	294	588
7	12	47	329
2	18	160	320
3	22	294	882
4	18	160	641
3	15	92	277
2	20	220	441
4	15	92	369
2	22	294	588
4	15	92	369
1	17	135	135
2	15	92	184
6	11	36	216
1	18	160	160
10	15	92	922
1	20	220	220
7	13	60	419
Poids total =			**7127**

En appliquant l'équation (3), la biomasse est égale à :

$$B = \frac{7127}{2 \times 4{,}23 \times 50} = 16{,}9 \text{ g/m}^2$$

IV.3 - Précision sur les estimations de densités et de biomasses

Il est difficile d'estimer simplement la précision d'une mesure en tenant compte de toutes les sources d'erreur et aussi d'intégrer toutes les sources de variabilité dans un calcul simple. Il est cependant possible d'approcher la précision des estimations au travers d'une première analyse descriptive des échantillons. Dans le cas retenu où le transect représente l'unité d'échantillonnage, la dispersion (ou variance) entre les transects peut être calculée sur un même biotope et /ou à un instant donné. Elle permet de calculer l'écart-type sur les mesures de densité ou de biomasse et donc d'établir sur l'échantillon des comparaisons entre biotopes prospectés ou entre deux instants. Elle donne une idée sur la précision des estimations à l'échelle de la population-cible.

La variance (S2) inter-transect pour la densité est donnée par (cf. définition de la variance page 24) :

$$S_D^2 = \frac{\sum_i^n (D_i - \bar{D})^2}{n} \qquad (5)$$

avec Di : densité sur le transect i
$\bar{D}$: densité moyenne obtenue sur les transects pour un biotope donné
n : nombre de transects

Pour la biomasse, elle est égale à :

$$S_B^2 = \frac{\sum_i^n (B_i - \bar{B})^2}{n} \qquad (6)$$

avec Bi : biomasse sur le transect i
$\bar{B}$: densité moyenne obtenue sur les transects pour un biotope donné
n : nombre de transects

Afin de pouvoir travailler dans la même unité de mesure que la moyenne, la racine carrée de la variance (écart-type) est utilisée. L'écart-type de la densité est donné par :

$$S_D = \sqrt{S_D^2} \qquad (7)$$

Pour la biomasse, l'écart-type est égal à :

$$S_B = \sqrt{S_B^2} \qquad (8)$$

Exemple de calcul

Lors d'une mission effectuée en 1998, les poissons d'intérêt pour la consommation et la commercialisation ont été comptés sur le site de la réserve marine de Namoui à Niue. Deux biotopes ont été prospectés, le platier sub-intertidal et la pente du récif frangeant. Au total, seize transects ont été réalisés (huit pour chaque biotope) : les valeurs de densité et de biomasse estimées pour chaque transect et pour toutes les espèces observées confondues sont reportées dans le tableau qui suit.

Platier sub-intertidal			*Pente du récif frangeant*		
N° du transect	*Densité (ind./m²)*	*Biomasse (g/m²)*	*N° du transect*	*Densité (ind/m²)*	*Biomasse (g/m²)*
3	*0,194*	*24,8*	*1*	*0,197*	*41,7*
4	*0,327*	*42,7*	*2*	*0,257*	*61,5*
5	*0,449*	*53,0*	*6*	*0,245*	*32,6*
8	*0,782*	*98,0*	*7*	*0,305*	*67,4*
9	*0,355*	*66,1*	*10*	*0,389*	*69,3*
12	*0,281*	*52,1*	*11*	*0,560*	*99,9*
13	*0,315*	*71,1*	*14*	*0,217*	*29,9*
16	*0,419*	*66,5*	*15*	*0,455*	*61,3*
Moyenne	*0,390*	*59,3*	*Moyenne*	*0,328*	*57,0*

La variance de la densité sur le platier sub-intertidal est calculée en appliquant l'équation (5), Elle est égale à :

$$S^2 = \frac{(0,194-0,390)^2 + (0,327-0,390)^2 + \ldots + (0,419-0,390)^2}{8} = 0,027$$

L'écart-type sur la mesure de la densité est calculé à partir de la variance en appliquant l'équation (7) qui donne :

$$S_D = \sqrt{0,027} = 0,165 \text{ individus/m}^2$$

La densité estimée de l'échantillon est égale à la moyenne des mesures plus ou moins la valeur de l'écart-type, c'est-à-dire 0,390 ± 0,165 individus/m².

Biotope	Platier sub-intertidal		Pente du récif frangeant	
Paramètre	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse
Variance	*0,027*	*411,2*	*0,014*	*462,0*
Ecart-type	*0,165*	*20,3*	*0,120*	*21,5*

IV.4 - Composition moyenne du substrat et recouvrement par les organismes vivants

Au total 150 points sont relevés sur les transects et 50 dans le cas des points fixes. Pour chaque catégorie de substrat et d'organismes vivants, la composition moyenne est exprimée en pourcentage du nombre total d'observations. Elle est donnée par :

$$\overline{CM} = \frac{nr}{NR} \times 100$$

avec nr : nombre de relevés pour chaque catégorie de substrat ou organisme recouvrant
NR : nombre total de relevés

Pour la composition moyenne du substrat le total des pourcentages de l'ensemble des catégories doit être égal à 100%.

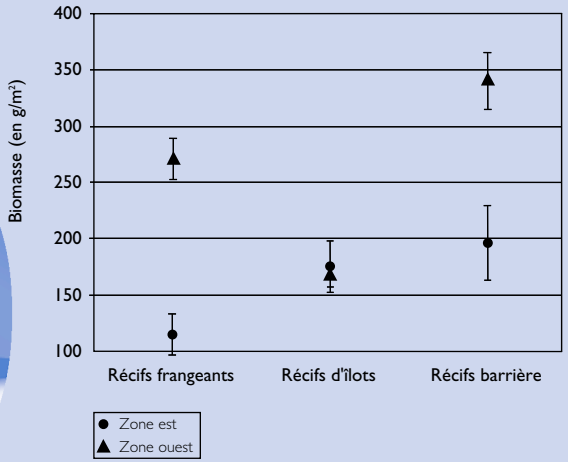
IV.5 - Première analyse des résultats

IV.5.1 - Comparaisons des résultats

a) Densités et biomasses

Une première interprétation des résultats peut être facilement réalisée en reportant les valeurs des moyennes et des écarts-type pour les densités et biomasses obtenues dans des milieux ou à des instants différents sur un graphique, et ce, afin d'effectuer des comparaisons. Dans la figure qui suit, les valeurs des biomasses moyennes ont été calculées pour les différents biotopes récifaux qui composent les lagons est et ouest de la Province Nord de Nouvelle-Calédonie. Elles sont représentées par des points ou des triangles et les intervalles de confiance par des barres dont les extrémités indiquent les valeurs minimales et maximales autour de la moyenne. Sur les récifs d'îlots, le recouvrement des barres suggère que les biomasses ne sont pas significativement différentes. En revanche, pour les deux autres milieux, les récifs frangeants et les récifs barrière, les valeurs obtenues sur la côte ouest sont supérieures à celles de la zone est. Le même exercice graphique peut être effectué à partir des résultats obtenus

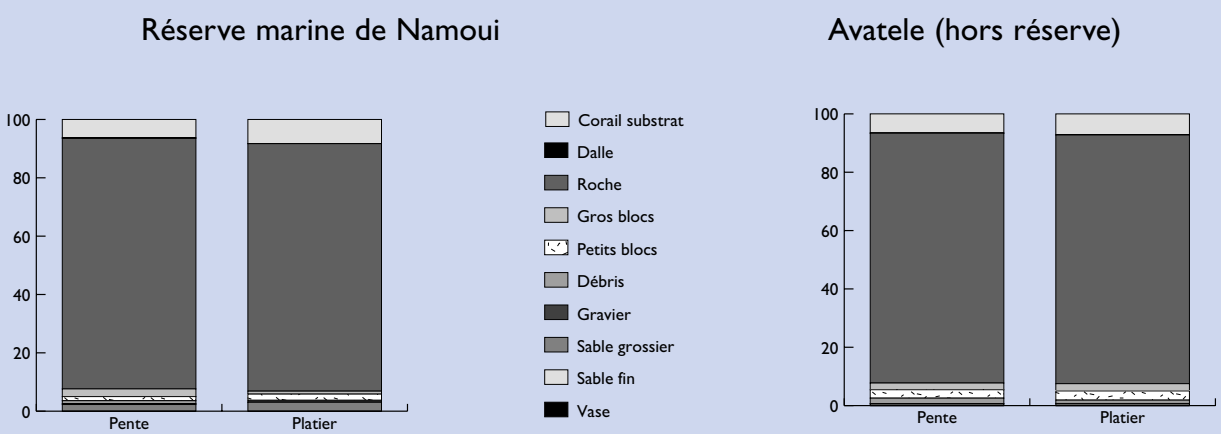
dans l'exemple de calcul du paragraphe IV.3. Que ce soit en densité ou en biomasse, l'échantillon ne montre pas de différence entre les valeurs estimées sur le platier subintertidal et la pente du récif frangeant. Ce premier type d'analyse peut donc permettre d'effectuer très simplement des premières comparaisons entre biotopes ou zones échantillonnées mais aussi pour un même milieu à des intervalles de temps réguliers (suivi de la ressource). Les différences peuvent être ultérieurement validées statistiquement.



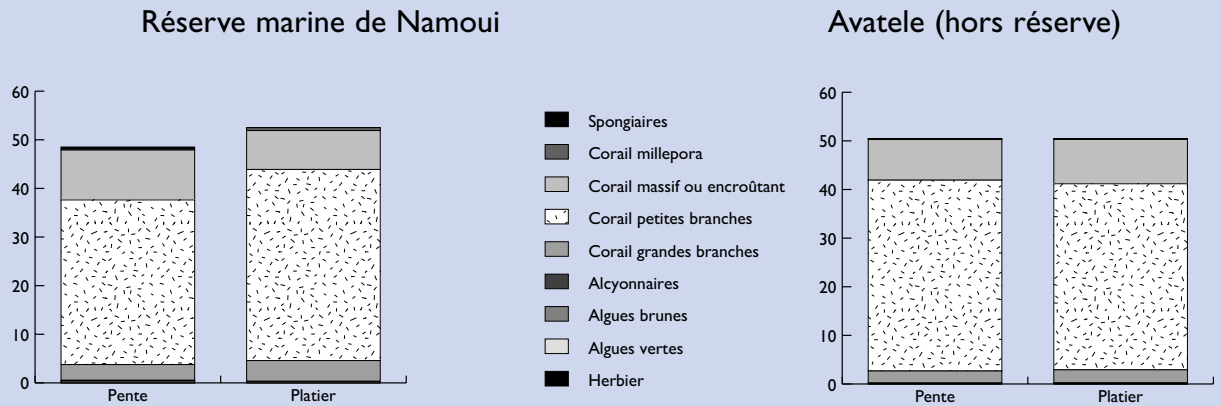
Représentation graphique de la biomasse en fonction des morphotypes récifaux étudiés dans les lagons est et ouest de la Province Nord de Nouvelle-Calédonie. Les barres correspondent aux écarts-type autour de la moyenne (points ou triangles)

b) Composition moyenne du substrat et organismes recouvrants

Des premières comparaisons peuvent être effectuées simplement en reportant les valeurs sur des graphes en barres. Dans les figures suivantes, les valeurs de chaque composant du substrat et des organismes recouvrants ont été estimées sur la pente et le platier de deux portions du récif frangeant qui borde l'île de Niue (réserve marine de Namoui et Avatele). Les résultats exprimés en pourcentage ont été reportés sur des graphiques barre. Ils permettent de constater qu'il n'y a pas de différences notables dans la composition moyenne du substrat et le recouvrement en organismes vivants entre sites et biotopes. Le substrat est majoritairement composé de fonds durs avec une forte prédominance de roche (pour plus de 80%). Les organismes vivants recouvrent environ 50% de la superficie totale. Ils sont principalement constitués par des coraux à petites branches. Les coraux massifs, les coraux encroûtants et les coraux à grandes branches représentent des proportions plus faibles.



Représentation graphique de la composition moyenne du substrat sur deux sites de l'île de Niue

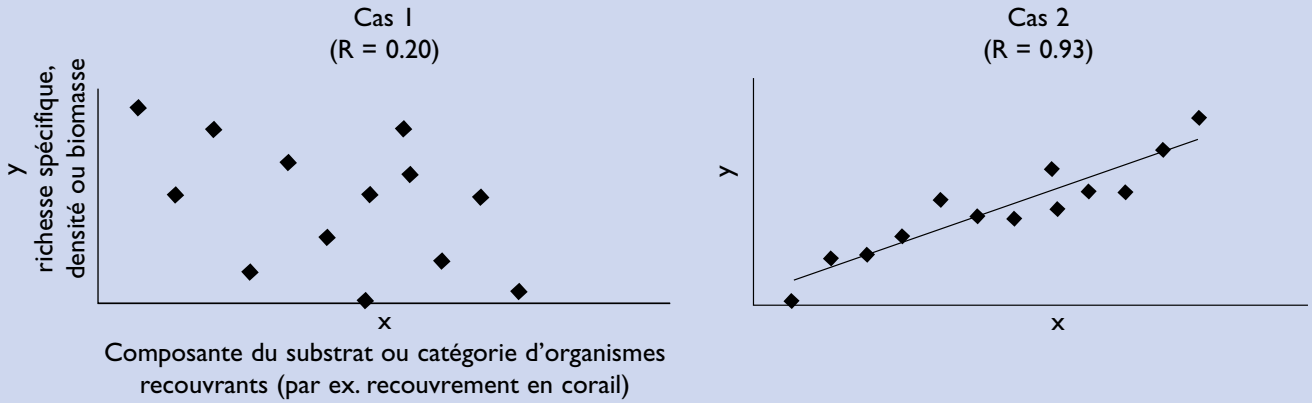


Représentation graphique du recouvrement (en %) par les organismes vivants sur deux sites de l'île de Niue

IV.5.2 – Relations entre poissons et facteurs du milieu

L'analyse des relations entre poissons et facteurs du milieu permet d'établir les liens qui peuvent exister entre les paramètres d'un peuplement (richesse spécifique moyenne, densité ou biomasse) ou d'une fraction du peuplement et certains éléments constitutifs de l'habitat et de l'environnement (composantes du substrat ou du recouvrement par les organismes vivants).

Une première approche empirique peut être développée de manière très simple. Elle consiste à analyser sur un graphique la dispersion des points correspondants aux valeurs estimées sur un ensemble de stations (chaque point représente les résultats d'un transect ou d'un point fixe) des paramètres du peuplement estimé (richesse spécifique moyenne, la densité ou la biomasse) sur l'axe des ordonnées "y", en fonction du pourcentage d'une des composantes du substrat ou d'une catégorie d'organismes recouvrants sur l'axe des abscisses "x". Deux cas peuvent se présenter : premier cas, le nuage de points est dispersé sur l'ensemble du graphique et ne permet pas visuellement de mettre en évidence de relation. Second cas, les points semblent se répartir de façon non aléatoire et il est possible de faire passer une courbe par une grande partie d'entre eux et ainsi de dégager une tendance. Cette première analyse peut être complétée en analysant les corrélations entre paramètres pris deux par deux et en tentant d'ajuster une courbe qui passe par le maximum de points (par exemple en effectuant une régression par la méthode des moindres carrés). Un coefficient de corrélation peut alors être calculé et testé statistiquement.



Représentations théoriques des paramètres estimés du peuplement de poissons en fonction de la nature du substrat et des organismes recouvrants.
Premier cas : le nuage de points est dispersé : pas de tendance;
Second cas : le nuage de points dégage une tendance matérialisée par une droite (R = coefficient de corrélation).

V - CONCLUSIONS

L'utilisation des techniques de comptages visuels en plongée avec distances variables est en mesure de fournir des réponses adaptées aux questions posées par l'évaluation des ressources de poissons récifo-lagonaires.

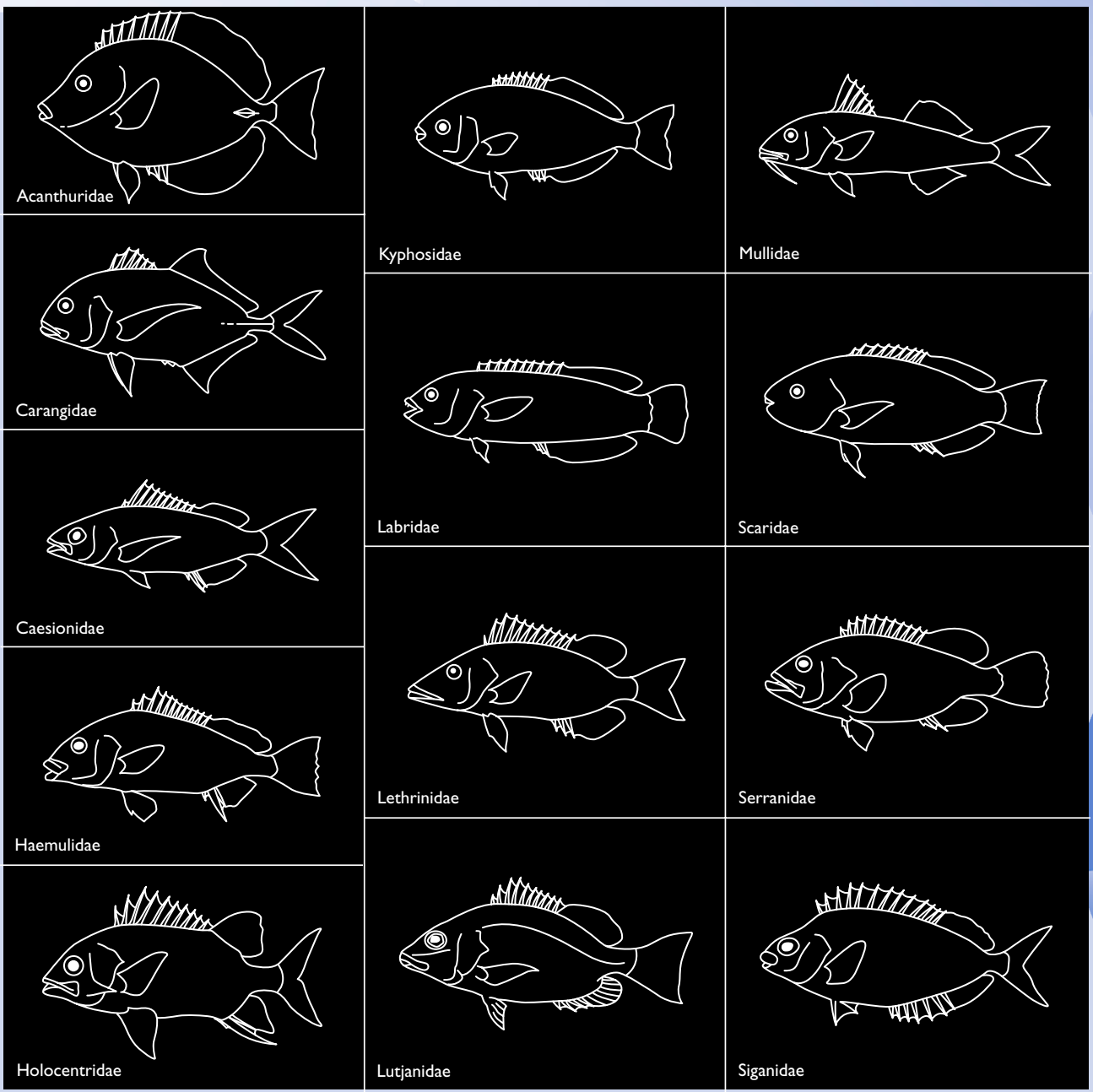
Leur mise en œuvre comporte cependant des règles et des précautions qu'il convient de respecter pour obtenir des résultats utilisables et donc acceptables. Elles peuvent paraître trop nombreuses ou trop compliquées, mais il n'en est rien. Elles peuvent s'apprendre simplement et progressivement. L'entraînement et/ou une pratique régulière sont par la suite les seuls garants de l'acquisition et du maintien d'un savoir-faire. Toute qualification s'érode si elle n'est pas entretenue.

Quant à l'exploitation des données, il existe bien d'autres possibilités de traitement et d'analyses statistiques. En fonction des questions posées par l'évaluation et des paramètres mesurés, il est toujours possible de se référer à des ouvrages spécialisés pour les mettre en œuvre. Dans le cas où cela n'est pas possible, il ne faut pas hésiter à prendre conseil auprès de spécialistes qui pourront toujours exploiter les données dans la mesure où elles sont de qualité suffisante.

EN RÉSUMÉ…

Il faut toujours garder en mémoire que l'acquisition d'information et son exploitation forment un tout indissociable et qu'ils sont interdépendants.

Annexe 1. Silhouettes caractéristiques des principales familles de poissons d'intérêt pour la commercialisation et/ou la consommation



Source : Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea. Randall et al. (1997)

Annexe 2. Liste indicative d'espèces de poissons d'intérêt pour la consommation et/ou la commercialisation

ACANTHURIDAE
Acanthurus achilles
Acanthurus albipectoralis
Acanthurus blochii
Acanthurus dussumieri
Acanthurus lineatus
Acanthurus mata
Acanthurus nigricans
Acanthurus nigricauda
Acanthurus nigrofuscus
Acanthurus olivaceus
Acanthurus pyroferus
Acanthurus triostegus
Acanthurus xanthopterus
Ctenochaetus binotatus
Ctenochaetus striatus
Naso annulatus
Naso brachycentron
Naso brevirostris
Naso hexacanthus
Naso lituratus
Naso tuberosus
Naso unicornis
Naso vomer
Paracanthurus hepatus
Zebrasoma flavescens
Zebrasoma scopas
Zebrasoma veliferum

SERRANIDAE
Anyperodon leucogrammicus
Cephalopholis argus
Cephalopholis boenack
Cephalopholis miniata
Cephalopholis sexmaculata
Cephalopholis sonnerati
Cephalopholis urodeta
Cromileptes altivelis
Epinephelus areolatus
Epinephelus caeruleopunctatus
Epinephelus coioides
Epinephelus cyanopodus
Epinephelus fasciatus
Epinephelus fuscoguttatus
Epinephelus hexagonatus
Epinephelus howlandi
Epinephelus macrospilos
Epinephelus maculatus
Epinephelus malabaricus
Epinephelus merra
Epinephelus ongus
Epinephelus polyphekadion
Epinephelus rivulatus
Epinephelus suilus
Epinephelus tauvina
Plectropomus laevis
Plectropomus leopardus
Plectropomus maculatus
Variola louti

SCARIDAE
Bolbometopon muricatum
Cetoscarus bicolor
Chlorurus bleekeri
Chlorurus sordidus
Hipposcarus longiceps
Scarus altipinnis
Scarus chameleon
Scarus flavipectoralis
Scarus forsteni
Scarus frenatus
Scarus ghobban
Scarus globiceps
Scarus longipinnis
Scarus microrhinos
Scarus niger
Scarus oviceps
Scarus psittacus
Scarus quoyi
Scarus rivulatus
Scarus rubroviolaceus
Scarus schlegeli
Scarus spinus

LETHRINIDAE
Gnathodentex aureolineatus
Gymnocranius euanus
Gymnocranius grandoculis
Lethrinus atkinsoni
Lethrinus erythracanthus
Lethrinus genivitattus
Lethrinus harak
Lethrinus kallopterus
Lethrinus lentjan
Lethrinus nebulosus
Lethrinus obsoletus
Lethrinus olivaceus
Lethrinus rubrioperculatus
Lethrinus variegatus
Lethrinus xanthochilus
Monotaxis grandoculis

LUTJANIDAE
Aprion virescens
Lutjanus adetii
Lutjanus argentimaculatus
Lutjanus bohar
Lutjanus fulviflamma
Lutjanus fulvus
Lutjanus gibbus
Lutjanus kasmira
Lutjanus lutjanus
Lutjanus monostigma
Lutjanus quinquelineatus
Lutjanus rivulatus
Lutjanus russelli
Lutjanus sebae
Lutjanus vitta
Macolor macularis
Macolor niger
Pristipomoides multidens
Symphorus nematophorus

MULLIDAE
Mulloides flavolineatus
Mulloides vanicolensis
Parupeneus barberinoides
Parupeneus barberinus
Parupeneus bifasciatus
Parupeneus ciliatus
Parupeneus cyclostomus
Parupeneus dispilurus
Parupeneus heptacanthus
Parupeneus indicus
Parupeneus multifasciatus
Parupeneus pleurospilos
Parupeneus pleurostigma
Parupeneus spilurus
Upeneus tragula
Upeneus vittatus

SIGANIDAE
Siganus argenteus
Siganus corallinus
Siganus doliatus
Siganus fuscescens
Siganus lineatus
Siganus oramin
Siganus puellus
Siganus punctatus
Siganus spinus
Siganus vulpinus

HAEMULIDAE
Diagramma pictum
Plectorhinchus chaetodonoides
Plectorhinchus diagrammus
Plectorhinchus gibbosus
Plectorhinchus goldmanni
Plectorhinchus obscurum
Plectorhinchus orientalis
Plectorhinchus picus
Pomadasys argenteus

CAESINIDAE
Caesio caerulaurea
Caesio cuning
Pterocaesio trilineata
Pterocaesio tile

Annexe 3. Feuille d'enregistrement des comptages de poissons

LIEU : PAGE :

DATE	LAT.	LONG.	TRA.	PL.

ENR.	NOM SCIENTIFIQUE	CODE	NBRE	LG	ST	D1	D2

Légende : LAT. : latitude, LONG. : longitude, TRA. : numéro du transect ou du point fixe, PL. : numéro d'identification du plongeur, ENR. : numéro d'observation (facultatif), CODE : code poisson, NBRE : nombre de poissons vus, LG : estimation de taille (en cm), ST : secteur d'observation (compris entre 0 et 4), D1 : distance 1 (en m), D2 : distance 2 (en m).

Annexe 4. Feuille d'enregistrement des facteurs du milieu

N° de Station: _____ Lieu dit : _____ Visibilité (m) : _____

Latitude (deg/min/sec) : ____ Longitude (deg/min/sec) : _____

Date (jour/mois/an) : _____ Courant (nul: 0, faible: 1, fort : 2) : ____

Récif frangeant :_____ Récif intermédiaire _____ Récif barrière : _____Herbier : _____

Autres (préciser) : _____ Au vent : _____ Sous le vent :_____

Description du site (15-20 mots) :_____

Secteur	Prof.	Substrat	Relevés	Organismes	Relevés	Autres	Nb
0	Min :	Vase	....	Herbier	....	Oursins	....
		Sables	....	Algues brunes	....	Diadema	....
		Gravier et débris	....	Gazon	....		
		(2 mm-5 cm)	....	Alcyonnaires	....	Oursins	....
	Max :	Petits blocs 5-30 cm .	....	Corail encroûtant	....	Autres	....
	.....	Gros blocs 30-100 cm	....	Corail massif ou submassif .	....		
		Roche	....	Corail branchu	....	Holothuries	....
		Dalle	....	Corail tabulaire	....		
		Corail mort	....	Corail foliacé	....	Autres	....
				Corail millepora	....		
				Corail libre	....		
1	Min :	Vase	....	Herbier	....	Oursins	....
		Sables	....	Algues brunes	....	Diadema	....
		Gravier et débris		Gazon	....		
		(2 mm-5 cm)	....	Alcyonnaires	....	Oursins	....
	Max :	Petits blocs 5-30 cm .	....	Corail encroûtant	....	Autres	....
	.....	Gros blocs 30-100 cm	....	Corail massif ou submassif	....		
		Roche	....	Corail branchu	....	Holothuries	....
		Dalle	....	Corail tabulaire	....		
		Corail mort	....	Corail foliacé	....	Autres	....
				Corail millepora	....		
				Corail libre	....		
2		Vase	....	Herbier	....	Oursins	....
		Sables	....	Algues brunes	....	Diadema	....

Pour en savoir plus…
… sur les poissons et les invertébrés tropicaux

En anglais

Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea. John E. Randall, Gerald R. Allen and Roger C. Steene. University of Hawai'i Press, 2840 Kolowalu Street, Honolulu, Hawaii 96822. ISBN 0-8248-1895-4 (1997).

Coral Reef Fishes, Indo-Pacific and Caribbean. Ewald Lieske and Robert Myers. Harper Collins publishers, 77-85 Fulham Palace Road, London W6 8JB, UK. ISBN 0-00-219974-2 (1994).

Micronesian Reef Fishes. Robert F. Myers. Coral Graphics, P.O. Box 21153, Guam Main Facility, Barrigada, Territory of Guam 96921, USA. ISBN 0-3621564-5-0 (1999).

Tropical Pacific Invertebrates. Patrick L. Colin and Charles Arneson. Coral Reef Press, 270 North Canon Drive, Suite 1524, Beverly Hills, California 90210, USA. ISBN 0-9645625-0-2 (1995).

FishBase 2000. CD ROM. c/o ICLARM, MCPO Box 2631, 0718 Makati City, Philippines. (La base de données est également consultable sur Internet à l'adresse suivante : http://www.fishbase.org).

Length-weight relationship of fishes from coral reefs and lagoons of New Caledonia – an update. Letourneur Y., Kulbicki M., Labrosse P. NAGA, The ICLARM quarterly, (21)4, 39-46 (1998).

FISHEYE, base de connaissances sur les poissons du Pacifique Sud. IRD (anciennement ORSTOM), base de données consultable sur Internet à l'adresse suivante : http://noumea.ird.nc/en/BasCo.html

En français

Poissons de Nouvelle-Calédonie. Pierre Laboute et René Grandperrin. Editions Catherine Ledru, 13 rue Victor Hugo, Baie de l'Orphelinat, 98 800 Nouméa, Nouvelle-Calédonie. ISBN 2-9505784-3-8 (2000).

FISHEYE, base de connaissances sur les poissons du Pacifique Sud. IRD (anciennement ORSTOM), base de données consultable sur Internet à l'adresse suivante : http://noumea.ird.nc/en/BasCo.html

Guide des poissons des récifs coralliens, région Caraïbes, océan Indien, océan Pacifique, mer Rouge. Ewald Lieske et Robert Myers. Delachaux et Niestlé (Eds), 79 route d'Oron, 1000 Lausanne 21, Suisse. ISBN 2-603-00982-6 (1995).

… sur les comptages visuels en plongée

En anglais

Manual for assessing fish stocks on Pacific coral reefs. Melita Samoilys (Eds). Department of Primary Industries, GPO Box 46, Brisbane Qld 4001, Australia. ISBN 0812-000, ISBN 0-7242-6774-3 (1997).

Survey Manual for Tropical Marine Resources (2nd Edition). S. English, C. Wilkinson and V. Baker (Eds). Australian Institute of Marine Science, P.M.B. N°3, Townsville Mail Centre, Qld, 4810 Australia. ISBN 0-642-25953-4 (1997).

Evaluation of sampling methods for reef fish populations of commercial and recreational interest. Cappo M., Brown I.W. CRC Reef Research Technical Report n°6. ISBN 1 876054 06 9 (1996).

En français

Évaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. M.L. Harmelin-Vivien, J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, R. Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, R. Chevalier, J. Duclerc, G. Laserre. Revue d'Écologie (Terre Vie), Vol. 40, 1985.

DAO: JYE LE BARS
IRD
Institut de recherche pour le développement
CPS
Secrétariat général de la Communauté du Pacifique