

## **Programme ZoNéCo 2009/2010**

**Suivi de deux communautés de prédateurs  
supérieurs du lagon de Nouvelle-Calédonie pour  
la mise en place d'un outil pratique de bio-  
indication et l'évaluation de l'état actuel des  
unités fonctionnelles**

Rapport Final

jeudi 8 mars 2012

Xavier Bonnet, Antoine Riou, Virginie Rivalan-Delmas & Thomas Fauvel

## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| <b>Informations déposées sur le site Web de ZonéCo</b> .....                 | 3  |
| <b>Préambule</b> .....   | 5  |
| <b>Résumé</b> .....  | 6  |
| <b>Introduction</b> .....  | 7  |
| <b>Procédures</b> .....  | 9  |
| <i>Extension des zones d'études à l'ensemble du lagon Calédonien</i> .....   | 9  |
| <i>Mesures biométriques réalisées sur les serpents</i> .....                 | 12 |
| <i>Marquage des individus</i> .....  | 13 |
| <i>Notion d'indicateur trophique</i> .....                                   | 14 |
| <i>Prélèvements de proies</i> .....  | 16 |
| <i>Cartographie</i> .....  | 17 |
| <i>Utilisation pratique des connaissances : fiche de terrain</i> .....       | 17 |
| <i>Proposition d'un plan d'échantillonnage</i> .....                         | 18 |
| <b>Résultats et discussion</b> .....   | 19 |
| <i>Amélioration des connaissances sur l'écologie des tricots rayés</i> ..... | 19 |
| • <b>Effort de prospection alimentaire</b> .....                             | 20 |
| • <b>Biodiversité des Anguilliformes</b> .....                               | 22 |
| • <b>Comparaison des populations entre les sites</b> .....                   | 22 |
| <i>Outils pour la gestion</i> .....  | 23 |
| • <b>Indicateur trophique</b> .....  | 23 |
| • <b>Comparaisons entre les sites de la CT</b> .....                         | 26 |
| • <b>Variations temporelles de la CT</b> .....                               | 31 |
| • <b>Cartes de CT</b> .....  | 32 |
| • <b>Utilisation pratique de la CT</b> .....                                 | 34 |
| • <b>Proposition d'un plan d'échantillonnage</b> .....                       | 43 |
| • <b>Formation du personnel</b> .....  | 45 |
| • <b>Suivis des effectifs de tricots rayés par le personnel</b> .....        | 46 |
| • <b>Précautions au cours des campagnes d'échantillonnage</b> .....          | 47 |
| <b>Conclusions générales</b> .....   | 49 |
| <b>Fiches de terrain</b> .....   | 53 |

## Informations déposées sur le site Web de ZonéCo

Ce paragraphe reprend les principaux éléments disponibles sur le site Web. Ce qui facilite le lien avec le présent rapport.

### Contexte :

Les prédateurs supérieurs sont de bons candidats pour renseigner sur le fonctionnement d'un écosystème et donc son état de santé. Récemment, deux communautés de prédateurs supérieurs ont été identifiées comme potentiels bio-indicateurs pertinents : les tricots rayés (*Laticauda saintgironsi* endémique, et *Laticauda laticaudata*) et leurs proies (plus de 50 espèces de murènes, congres et poissons serpents).

Ces serpents sont présents sur la plupart des îlots et les populations sont distinctes sur chaque îlot. Chacune des espèces chasse sur un habitat qui lui est particulier (fond dur pour *L. saintgironsi* et fond meuble pour *L. laticaudata*) avec un pattern net en terme de distance à l'îlot. Le retour de ces animaux sur leur îlot après chaque pêche facilite leur échantillonnage.

### Finalité

Ce projet vise au développement et à l'utilisation d'un outil simple de suivi de ces communautés de prédateurs supérieurs à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie, au travers de 3 objectifs principaux :

1. La mise en place d'un dispositif pratique de surveillance de l'état de santé du lagon à travers le suivi des tricots rayés et de leurs proies ;
2. La récolte des premières données sur des sites contrastés et l'évaluation de l'état actuel de différentes unités fonctionnelles du lagon, centrées sur les îlots ;
3. La pérennisation et l'élargissement de l'outil ainsi que la formation des acteurs locaux impliqués dans la gestion et la protection du lagon.

### Résultats attendus

La mise au point d'une méthode standardisée de collecte de données qui réponde à des impératifs de coûts et de facilité de mise en œuvre qui permette la pérennisation du système ainsi développé.

La proposition d'indicateurs fiables, basés sur les données récoltées, qui puissent renseigner de façon pertinente sur l'état de santé du lagon.

#### Résultats obtenus

Un système simple pour évaluer l'état trophique des populations de tricots rayés a pu être développé. Ce système permet de classer les îlots les uns par rapport aux autres. Les plus fortes valeurs sont obtenues dans les îlots préservés tandis que les zones les plus fréquentées affichent les valeurs les plus faibles.

La méthode développée au cours de cette étude répond à l'ensemble des critères définis au départ :

1. Standardisée, elle concerne l'essentiel du lagon Calédonien ;
2. Facile à mettre en œuvre, elle nécessite des moyens financiers modestes ;
3. Elle produit des valeurs fiables comme indicateurs de l'état de santé du lagon.

## Préambule

Bien que le rapport sur ce projet ne résulte pas d'une convention de co-financement entre le service de l'environnement de la Province Sud (DENV) et l'ADECAL la plupart des informations qui y figurent sont issues de collaborations entre le CNRS et ces deux institutions. Il existe donc des points communs entre les rapports respectifs adressés à chacune d'entre elles. Plus précisément en ce qui concerne les informations biologiques obtenues sur les modèles d'étude (les tricots rayés et leurs proies) ainsi que sur leur utilisation dans le cadre de suivis à long terme de l'état de santé du lagon. Des différences majeures les distinguent toutefois. L'étude financée dans le cadre du programme ZoNéCo est destinée à trois collectivités, et non pas une seule. Les cadres géographiques et institutionnels sont donc distincts. Les opérations conduites dans la Province Nord ont été couronnées de succès, ce qui n'est pas le cas de celles réalisées en Province des Iles Loyauté où le nombre de tricots rayés observés reste très faible. Ce contraste entre les provinces en termes d'abondance reste actuellement inexpliqué, mais il représente un résultat important en tant que tel. Les perspectives d'utilisation méthodologie qui découlent de nos observations de terrain sont donc surtout applicables aux deux provinces qui abritent de grandes populations de tricots rayés.

## Résumé

Ce programme de recherche s'appuie sur des suivis à long terme de populations de tricots rayés utilisés comme indicateurs dans le lagon calédonien. Ces suivis ont été conduits par l'équipe Ecophysiologie Evolutive du CEBC-CNRS. Depuis 2002, plus de 35 sites ont été échantillonnés pour caractériser les populations de tricots rayés. Le programme ZonéCo a permis d'étudier des sites dans la Province Nord et dans la Province des Iles Loyauté. Outre les suivis de populations, l'écologie alimentaire de ces prédateurs marins a été étudiée. Ce suivi par capture-marquage-recaptures de populations animales représente actuellement le plus important réalisé en Nouvelle Calédonie. Plus de 15.000 serpents ont été capturés, mesurés et marqués (auxquels s'ajoutent plus de 7.000 recaptures), plusieurs milliers de contenus stomacaux ont été obtenus et analysés.

Au total, un ensemble important et cohérent de données a été récolté. Les analyses ont montré l'importance fonctionnelle de l'ensemble « tricots rayés – proies anguilliformes ». Un des objectifs majeurs des travaux prévus, la mise au point d'une méthode standardisée de bio-indication, basée sur la condition trophique des serpents, a été atteint. Elle permet de surveiller l'état trophique, et donc l'état de santé, des composantes biologiques visées dans les écosystèmes du lagon de Nouvelle Calédonie. Les valeurs moyennes de la condition trophique des serpents des différents sites échantillonnés se répartissent en fonction d'un gradient de perturbations anthropiques : les valeurs les plus faibles sont observées près de Nouméa, les plus fortes dans les zones éloignées et protégées (e.g. réserve Merlet).

Ces résultats sont valables à l'échelle du lagon calédonien où les tricots rayés sont abondants (Province Sud et Nord). Des tirages aléatoires montrent que la méthode est fiable, robuste et ne nécessite que de faibles tailles d'échantillons pour les suivis à long terme. Des fiches pratiques pour la mettre en œuvre sur le terrain sont proposées.

## Introduction

La déclaration d'objectifs globaux du programme ZoNéCo indique qu'un objectif principal est « *de rassembler et de rendre accessibles les informations nécessaires à l'inventaire, la valorisation et la gestion des ressources minérales et vivantes de la Zone Economique Exclusive de la Nouvelle-Calédonie.* » Par ailleurs l'étude lagon est devenue un axe prioritaire (schéma directeur 2000-2004). Les travaux sur l'écologie de deux espèces de prédateurs marins du lagon (les serpents marins du genre *Laticauda*) s'inscrivent dans ce cadre de valorisation de la recherche liée aux ressources marine, notamment pour combler des lacunes au sujet de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes.

En juillet 2008, une grande partie du lagon de Nouvelle Calédonie a été inscrit sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO. Ce classement renforce l'importance de l'étude de la biodiversité marine de la Nouvelle Calédonie et de son fonctionnement. En effet, si la Nouvelle Calédonie est considérée comme un point chaud de la biodiversité mondiale, une grande partie des écosystèmes du lagon (les îlots notamment) est soumise à une pression anthropique croissante générée par la poussée démographique, l'urbanisation et le développement de l'activité industrielle, en particulier minière. Le nombre d'usagers du lagon, la surpêche, la surfréquentation touristique, les rejets de sédiments et d'effluents industriels sont des menaces importantes pour la biodiversité.

La complexité biologique et l'étendue lagon Calédonien rendent difficiles les inventaires systématiques et les suivis écologiques de routine. En pratique aucune méthode ne permet de connaître et de suivre des centaines de milliers (plus probablement des millions) d'espèces appartenant à des groupes taxonomiques très différents (depuis les virus jusqu'aux vertébrés). Il est encore plus illusoire décrire leurs relations et de surveiller le fonctionnement des écosystèmes. En fait ce type de difficulté se présente dans de très nombreuses situations de terrain. C'est pourquoi des approches de substitution sont généralement mises en place. L'une des principales consiste à étudier un nombre réduit d'espèces sentinelles et de les utiliser comme des témoins du fonctionnement du système auxquelles elles appartiennent. Ces espèces sont souvent appelées bio-indicateurs, ou espèces bio-indicatrices.

Nos travaux menés depuis 2002 dans le lagon de Nouvelle Calédonie ont montré que les serpents marins du genre *Laticauda* (les tricots rayés) sont de bons bio-indicateurs de l'état des écosystèmes récifaux<sup>1-3</sup>. Ces reptiles sont des prédateurs supérieurs qui consomment des proies (des poissons) qui sont elles-mêmes des prédateurs d'autres espèces animales. Les tricots rayés sont au sommet des réseaux trophiques<sup>2-4</sup>, ils intègrent une partie du fonctionnement des niveaux trophiques sous-jacents. Par ailleurs, ils se nourrissent au dépend d'environ 50 espèces de poissons (principalement des poissons anguilliformes, les murènes, congres...) qui étaient considérés à tort comme peu diversifiés et peu abondants. Les tricots rayés sont capables de capturer leurs proies dans la matrice corallienne et dans les cavités des fonds meublent ; ils débusquent et révèlent une biodiversité importante qui échappait jusqu'alors à l'observation. La grande fidélité des tricots rayés au site où se trouve leur population, ainsi que la forte sédentarité des poissons anguilliformes adultes représentent des avantages importants pour le suivi de l'écosystème : les mesures sont spatialement précises<sup>5-6</sup>. Pour ces raisons, le système tricots rayés - poissons anguilliformes est considéré comme un bio-indicateur pertinent des écosystèmes du lagon calédonien.

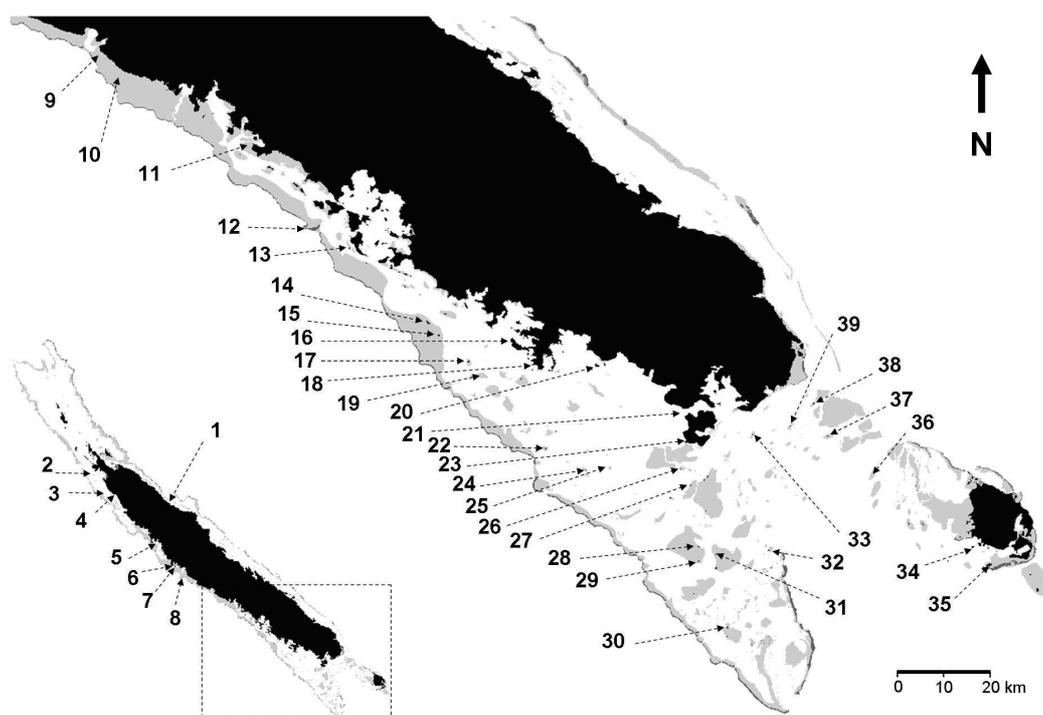
Le projet a pour objectif central la mise en place d'une méthode simple et efficace de surveillance de l'état de santé du lagon. Des connaissances de base sur l'écologie générale et alimentaire des tricots rayés étaient disponibles (cf. références). S'il est important de les affiner, la première étape de ce projet consistait surtout à examiner dans quelle mesure les informations obtenues dans la partie Sud Ouest du lagon de Nouvelle Calédonie étaient pertinentes et utilisables ailleurs. En particulier pour la Province des Iles Loyauté et pour la Province Nord. Une seconde étape importante visait à apprécier les possibilités de pérennisation des suivis de terrain. Ce qui implique l'identification de sites appropriés et la formation des personnels afin d'impliquer les acteurs locaux. Ce programme ZonéCo s'est donc développé en suivant trois axes principaux et complémentaires :

- 1) Extension des zones d'études à l'ensemble du lagon Calédonien.
- 2) Mise au point d'une méthode simple permettant de suivre l'état de populations de tricots rayés bio-indicateurs du lagon.
- 3) Formation de personnel.

## Procédures

### Extension des zones d'études à l'ensemble du lagon Calédonien

Entre novembre 2009 et décembre 2012, donc sur une période qui recouvre largement l'année 2010 qui correspondait initialement à celle prévue pour le projet ZonéCo, un travail de terrain important a été effectué et les objectifs ont été atteints. C'est notamment le cas pour l'élargissement des zones prospectées à l'ensemble de Nouvelle Calédonie. La carte-1 illustre la répartition des sites échantillonnés pour lesquels des populations importantes de tricots rayés ont été décrites. Des prospections ont aussi été réalisées sur la côte est et dans la Province des Iles Loyauté, mais seuls quelques individus ont été capturés. La table - 1 présente ces informations.



**Carte 1.** Situation des sites échantillonnés dans le cadre de l'étude des populations de tricots rayés: (1) Hienghène, (2) Ouanné, (3) Table (4) Pandop, (5) Foué, (6) Grimault, (7) Didot, (8) Contrariété, (9) Ile Verte, (10) Eori, (11) Ghero, (12) Tenia, (13) Petit Tenia, (14) Mba, (15) Mbo, (16) Kuendu, (17) Signal, (18) Baie des Citrons, (19) Larégnère, (20) Porc-Epic, (21) Tioaé, (22) Amédée, (23) Ile Ouen, (24) Atiré, (25)

Rédika, (26) Uo, (27) Mato, (28) Uatérembi, (29) Ua, (30) N'da, (31) Gi, (32) N'do, (33) Ugo, (34) Bayonnaise, (35) Brosse, (36) N'dié, (37) Améré, (38) Kié, (39) Nouaré.

En pratique, les données obtenues lors des campagnes de terrain directement soutenues par le programme ZonéCo (contrat d'Antoine Riou) ont été fusionnées avec celles récoltées depuis 2002 jusqu'à maintenant par l'équipe Ecophysiologie Evolutive (CEBC-CNRS) en partenariat avec le Province Sud et celle de l'Aquarium des lagons dans la région du lagon gérée par la Province Sud. Les résultats et les analyses présentés ci-dessous, bien que focalisés sur les objectifs du programme ZonéCo sont basés sur l'ensemble des données obtenus.

Au cours des missions réalisées entre novembre 2009 et avril 2011, 40 sites ont été échantillonnés :

- En Province Sud, 32 sites (28 îlots, l'île Ouen, la Baie des Citrons et le Kuendu Beach à Nouméa). Parmi ces sites, 15 étaient visités pour la première fois pour l'étude des tricots rayés (les îlots Ghero, Gi, Isie, Kie, N'Da, Petit Mato, Redika, Baie des Citrons, Kuendu Beach, Atire, Petit Tenia, Mbo, Ile Verte, Eori, Contrariété).
- En Province Nord, sept sites nouvellement examinés (les îlots Table, Pandop, Ouanne, Hienghene, Grimault, Foue et Didot).
- Sur les Iles Loyauté, les quelques prospections effectuées ont été décevantes. Il est vraisemblable que les populations de tricots rayés y sont réduites, et difficiles à exploiter dans le cadre de la bio-indication. Toutefois, davantage de recherches sont nécessaires pour s'assurer de ce fait et nous ne pouvons pas donner de conclusion ferme sur ce sujet. En effet, les moyens pour effectuer le travail de terrain étaient presque inexistant, et l'organisation pour obtenir les autorisations et mettre en œuvre les prospections a été compliquée (e.g. manque de coordination notamment liée à des problèmes de fonctionnement avec le service de l'environnement). Quelques visites effectuées en dehors de ce projet ont permis d'observer des tricots rayés, mais

toujours quelques individus isolés. Les raisons sous-jacentes à cette faible abondance nous sont inconnues. La conséquence principale est que l'étude des tricots rayés sur les Iles Loyauté est certainement intéressante sur le plan biologique et patrimonial ; mais difficilement utilisable sur le plan bio-indicateurs. Dans le futur, des recherches sur la distribution des populations, les variations phénotypiques et génétiques devraient inclure les Iles Loyautés. En revanche il ne semble pas essentiel (pertinent ?) de se baser sur les tricots rayés comme moyen de surveiller l'état des écosystèmes récifaux de cette province.

En incluant les sites échantillonnés dès le début de l'étude (2002), notre prospection couvre désormais le Grand Nouméa, la Zone Côtière Ouest et le Grand Lagon Sud, mais également la Province Nord et les Iles Loyauté. Ceci permet de comparer des situations très contrastées. Les sites ont été sélectionnés pour tester l'impact de différents niveaux de perturbation humaine (fréquentation touristique, pollution urbaine ou minière), de statuts de protection (absence, réserve naturelle, réserve intégrale), et de paramètres environnementaux (distance à la côte ou à la barrière, végétation, surface du platier et des récifs environnants).

Le tableau-1 présenté page suivante apporte des données plus précisées sur les sites échantillonnés par Antoine Riou au cours de l'année 2010 ; c'est-à-dire les prospections spécifiquement couvertes par le programme ZonéCo en plus des recherches réalisées par l'équipe du CEBC-CNRS. Il s'agit d'îlots et de zones côtières dispersées dans les Provinces Nord et Sud qui n'avaient pas (ou peu) été échantillonnées auparavant. Il faut noter qu'Antoine Riou a aussi participé à des sessions de terrain avec l'équipe du CEBC-CNRS sur des sites très bien échantillonnés, par exemple sur les îlots Signal, Amédé, Redika, Ouen et Gi.

**Tableau 1** : Le nom de chaque site est donné dans la première colonne. Le type indique s'il s'agit d'un îlot ou d'une pointe côtière. La colonne Jours indique la durée de prospection, Personnes le nombre de personnes impliquées. La fréquentation (touristique par exemple) est estimée. La présence de tricots rayés est donnée dans la dernière colonne.

| Site           | Type   | Province | Jours | Personnes | Fréquentation       | Tricot      |
|----------------|--------|----------|-------|-----------|---------------------|-------------|
| Hyega          | Ilot   | Nord     | 2     | 1         | Faible              | Absent      |
| Hyegaba        | Ilot   | Nord     | 1     | 1         | Faible              | Absent      |
| Ouanné         | Ilot   | Nord     | 2     | 4         | Faible              | Peu présent |
| Table          | Ilot   | Nord     | 2     | 2         | Faible              | Présent     |
| Babouillat     | Pointe | Nord     | 1     | 2         | Faible              | Peu présent |
| Tibarama       | Ilot   | Nord     | 1     | 1         | Faible              | Absent      |
| Hienghène      | Pointe | Nord     | 2     | 1         | Absente             | Peu présent |
| Pandop         | Pointe | Nord     | 3     | 3         | Forte               | Présent     |
| Pindai         | Pointe | Nord     | 2     | 1         | Moyenne             | Absent      |
| Poindimié      | Pointe | Nord     | 2     | 1         | Faible <sup>a</sup> | Absent      |
| Didot          | Ilot   | Nord     | 2     | 3         | Moyenne             | Peu présent |
| Grimault       | Ilot   | Nord     | 3     | 3         | Moyenne             | Présent     |
| Sauveur        | Pointe | Nord     | 1     | 2         | Faible              | Absent      |
| Rocher à Voile | Pointe | Sud      | 4     | 5         | Faible <sup>b</sup> | Présent     |
| Petit Ténia    | Ilot   | Sud      | 3     | 4         | Moyenne             | Présent     |
| Contrariété    | Ilot   | Sud      | 3     | 3         | Moyenne             | Présent     |
| Ile verte      | Ilot   | Sud      | 4     | 6         | Forte               | Présent     |
| Eori           | Ilot   | Sud      | 1     | 6         | Très faible         | Présent     |
| Côte Blanche   | Pointe | Sud      | 2     | 3         | Forte               | Trace       |
| Foué           | Pointe | Sud      | 3     | 4         | Moyenne             | Présent     |
| Poum           | Pointe | Sud      | 1     | 1         | Faible              | Absent      |

(<sup>a</sup> sur le platier rocheux prospecté, <sup>b</sup> sur le contrebas de la digue)

### Mesures biométriques réalisées sur les serpents

Chaque serpent capturé est identifié, l'espèce, le sexe, l'âge et le marquage éventuel sont notés. Les mesures prises doivent permettre d'estimer la condition corporelle de chaque animal : longueur de la tête au cloaque, longueur totale, masse. La palpation des serpents permet de déterminer la présence de proies dans l'estomac et/ou d'œufs chez les femelles reproductives. Le cas échéant, ces contenus peuvent être mesurés à travers les fines parois abdominales de l'animal. Enfin d'autres paramètres sont mesurés pour faciliter l'identification des individus et/ou pour étudier la biologie des deux espèces. Notre base de données comporte donc de nombreux détails individuels. Par exemple le nombre d'anneaux, la présence de cicatrices, la

coloration, la présence de taches, de cicatrices, de blessures, de nombreuses mesures biométriques (longueur des mâchoires, largeur du crâne, diamètre de la proie, etc.). Ces données sont importantes pour faire des analyses et pour mieux comprendre la biologie et l'écologie des espèces étudiées. Mais sur le plan gestionnaire pratique, elles sont inutiles et leur récolte réclamerait beaucoup trop d'effort. C'est pourquoi ces informations ne sont pas utilisées pour ce rapport.

### Marquage des individus

Une des forces de notre programme de suivis de populations est que nous ne réalisons pas de simples comptages ou inventaires comme cela est généralement le cas dans les suivis écologiques. Au contraire nous avons appliqué la méthode de capture-marquage-recapture (CMR), beaucoup plus lourde à mettre en place mais beaucoup plus puissante. C'est à partir des analyses de CMR que nous avons pu dériver et valider des méthodes bien plus légères et facilement utilisables sur le terrain.

En pratique, chaque animal est identifié par un numéro qui lui est propre. Ce numéro est inscrit de manière permanente sur le corps du serpent par découpage et brûlure superficielle de certaines écailles (cf. illustration ci-dessous). Chaque écaille comptée à partir du cloaque correspond à un numéro : les 9 premières donnent les unités (de 1 à 9), les 9 suivantes aux dizaines (de 10 à 90), les 9 suivantes aux centaines (de 100 à 900), les 9 suivantes aux milliers (de 1.000 à 9.000). Par exemple, pour l'individu 5.831, nous avons marqué les écailles « 5.000 », « 800 », « 30 » et « 1 ». Ces écailles sont découpées à l'aide de ciseaux fins, puis superficiellement brûlées au fer à souder utilisé pour l'électronique. Elles repousseront plus sombres et légèrement déformées. Le marquage de la quasi-totalité des animaux capturés et mesurés permet un suivi des individus toute leur vie ; ce qui donne accès par exemple aux paramètres de croissance, au degré de fidélité à un site donné, ou au taux de reproduction des femelles. De plus, la proportion d'individus marqués dans une population renseigne sur la taille de cette population. Le nombre total de serpents marqués depuis le début de l'étude dépasse les 13.000.

*Le marquage permanent est représenté par les fines bandes noires qui recoupent transversalement les anneaux clairs sur un mâle adulte de l'espèce *Laticauda laticaudata* (photo X. Bonnet).*



Une grande partie des connaissances sur l'écologie des tricots rayés a été obtenue sur les sites les mieux échantillonnés, plus de 1000 serpents marqués pour chacun d'entre eux. Il s'agit des îlots suivants : Signal (4220), Amédée (2117) et Améré (1395). La précision des mesures et des estimations obtenues sur ces trois sites sert de référence et permet une meilleure connaissance du fonctionnement des populations de tricots rayés sur une grande échelle spatiale. Par exemple lors des comparaisons entre îlots. Toutefois, sur la plupart des sites visités le nombre d'individus marqués et mesurés est supérieur à 100.

Un avantage des suivis à long terme est de fournir des séries temporelles suffisamment étendues pour décrire les gammes de variations naturelles des paramètres examinés. Par exemple, de bonnes années alternent avec de mauvaises années pour les organismes, ce qui génère des fluctuations de condition trophique moyenne. Or, la connaissance des niveaux de fluctuations est indispensable pour interpréter correctement des différences éventuelles entre les sites par exemple, ou pour capturer des patterns à long terme.

### *Notion d'indicateur trophique*

Un des objectifs majeur de cette étude était de mettre au point une méthode simple capable de renseigner sur l'état des populations suivies, et donc sur l'état des sites étudiés. En effet, les tricots rayés sont très phylopatriques, leur état est donc directement lié aux conditions locales du milieu dans lequel ils évoluent. XB a proposé d'utiliser un **indicateur trophique**. Cet indice calculé pour chaque individu, puis présenté sous la forme de valeurs moyennes, est censé renseigner sur le succès

de pêche des serpents. Plus le nombre de proies ingurgitées est élevé et/ou l'effort de prospection faible, plus les valeurs de l'indicateur seront élevées. Ce principe est très simple, mais il était nécessaire de le valider sur la base des observations de terrain.

Sur le plan des calculs, cet indicateur est basé sur la relation entre la longueur et la masse corporelle de l'individu prélevé sur le terrain. Il indique l'embonpoint de l'animal et outre les propres tissus du serpent il inclut la masse éventuelle des proies et/ou celle des œufs contenus dans l'abdomen chez les femelles. Cet indicateur se distingue donc de la condition corporelle au sens strict qui nécessite de connaître et de soustraire la masse de ces éléments qui ne font pas directement partie de l'individu afin d'estimer correctement ses réserves corporelles. En effet, une proie dans l'estomac peut fortement contribuer à la masse totale sans faire partie du serpent. La condition trophique est donc une mesure moins fine que la condition corporelle (il faut noter que très peu d'auteurs font la différence). Or, il est beaucoup plus complexe sur le terrain et au cours des analyses d'étudier séparément condition corporelle, masse des proies et masse des œufs plutôt que de se fier à une mesure globale qui englobe tous ces éléments. L'idée était qu'une mesure simplifiée nous apporterait un signal de qualité suffisante pour discriminer les sites et pour réaliser des suivis temporels. Sur le plan analytique, la technique consiste à utiliser les résidus de la régression (classique, par les moindres carrés) qui lie masse corporelle globale et longueur de l'animal. Pour cela, les données (longueur et masse) sont transformées en logarithmes, ce qui permet de linéariser la relation. En effet la masse (qui intègre trois dimensions car liée à un volume) augmente plus vite que la longueur (2 dimensions). Une droite de régression est ensuite calculée ; elle donne des valeurs de l'équation affine. Les individus se répartissent autour de cette droite. L'écart entre les valeurs individuelles et la moyenne caractérisée par la droite s'appelle un résidu. Les résidus donnent donc des valeurs chiffrées précises. En utilisant des références stables (une même droite de régression calculée une première fois) il est alors possible de comparer et d'éventuellement classer les sites les uns par rapport aux autres. Il est aussi possible de faire des suivis temporels.

Les deux principaux écueils et difficultés potentiels liés à cette approche sont premièrement d'attribuer une signification biologique aux valeurs obtenues. Dans quelle mesure une valeur moyenne nous renseigne-t-elle sur l'état de santé moyen des individus et donc de la population ? Deuxièmement, quel effort d'échantillonnage

faut-il fournir pour obtenir des valeurs pertinentes. Idéalement, un effort de prospection faible associé à un fort pouvoir discriminant minimisera les coûts de prospection sur le terrain et temps d'analyse des données.

Notre jeu de données est assez riche pour tester ces deux problèmes. En effet, les détails enregistrés sur chaque serpent nous ont permis d'extraire de la base de données des individus mal en point. Amaigris pour une raison ou une autre, ces individus particuliers nous apportent la valeur critique, sorte de zone rouge, qui signalerait que la population est affectée. Si c'est cas, nous pourrions facilement examiner les premiers niveaux de perturbation, dégradation du succès de prospection alimentaire (nous pouvons calculer les proportions de serpents revenant d'une pêche réussie, etc.), taux de contaminants anormalement élevés (les dosages fonctionnent...). Cette information répond à une première question de signification biologique des valeurs de condition trophique. Grâce aux grandes tailles d'échantillons, nous pouvons aussi extraire de façon aléatoire des sous-échantillons par site et comparer la robustesse des valeurs obtenues. Il est alors possible de déterminer quel est le nombre minimal d'individus à mesurer pour obtenir une valeur pertinente. Ce qui répond à la deuxième question sur l'effort d'échantillonnage. Ainsi, les deux principaux critères utiles au gestionnaire sont théoriquement accessibles : « température biologique » du site et optimisation du protocole de terrain pour l'obtenir.

### *Prélèvements de proies*

Nous avons forcé certains serpents à régurgiter leurs proies. La régurgitation est un comportement naturel, notamment sous l'effet du stress, chez de nombreuses espèces de serpents ce qui leur permet de se décharger du fardeau physique et physiologique représenté par la proie en digestion dans l'estomac et ainsi d'échapper plus facilement à un prédateur. Forcer ce comportement n'est donc pas exagérément traumatique chez des animaux ; notamment ceux en bonne condition, et cela permet d'accéder à l'échantillonnage d'une communauté de plus de 50 espèces de poissons anguilliformes. Avant nos travaux ces poissons étaient très mal connus car ils sont très cryptiques.

Les proies prélevées sont congelées sur place puis stockées à l'Université de Nouvelle Calédonie où nous elles sont identifiées, mesurées et disséquées afin de

prélever éventuellement leurs œufs et leur propre contenu stomacal. Nous avons également prélevé des fragments de tissus pour analyses génétique (en cours en collaboration avec l'université de Poitiers), ainsi que du muscle et le foie que nous avons lyophilisés en vue d'y doser les contaminants de type métaux lourds et les isotopes stables du carbone et de l'azote.

### Cartographie

Une fois l'indicateur de CT calculé pour chaque site, il est possible d'extrapoler ses valeurs au reste du lagon pour les représenter sur une carte (méthode du krigeage). Cette méthode est basée sur le fait que dans un espace, deux sites proches se ressemblent généralement plus entre eux que deux sites plus éloignés. On mesure donc dans un premier temps la « ressemblance » entre les sites pris deux à deux en fonction de la distance entre eux (calcul du variogramme). Puis, pour chaque point de la carte, on estime la valeur de l'indicateur comme étant une moyenne pondérée de ses valeurs aux sites alentours : le poids affecté à chacun de ces sites dépend de sa ressemblance avec le point où l'on estime, cette ressemblance étant donnée par le variogramme en fonction de la distance.

### Utilisation pratique des connaissances : fiche de terrain

La rédaction des fiches se base sur notre expérience de terrain qui inclue notamment la formation de volontaires et des agents de la Province Sud, ainsi que sur les analyses des sources d'erreurs potentielles dans la prise des mesures et les analyses.

Nous avons essayé d'éviter les termes techniques et de fournir uniquement les éléments pratiques indispensables. Par ailleurs des fiches simples sont fournies, notamment la fiche centrale qui permet d'obtenir la condition trophique des sites à la base des comparaisons entre sites et au cours du temps. D'autres fiches sont proposées comme des moyens d'investigation des causes des perturbations. C'est-à-dire qu'en routine la fiche condition trophique est suffisante pour prendre « la température » des sites en routine. En cas de détection d'un problème, les autres fiches permettent un diagnostic et d'orienter des travaux supplémentaires. Par exemple de faire des prélèvements en vue de dosages de contaminants.

*Proposition d'un plan d'échantillonnage*

Les analyses qui permettent de déterminer la taille optimale des échantillons qu'il est nécessaire de collecter sur chaque site permettent de proposer un protocole précis de suivi de routine de terrain. Pour cela des simulations ont été faites en utilisant les fichiers complets. Des routines de tirage aléatoire ou dirigé ont été utilisées ; les résultats de ces tirages renseignent sur la qualité du signal obtenu. Par exemple sa stabilité entre sites ou au cours du temps.

## Résultats et discussion

La première partie de cette partie du rapport est focalisée sur des résultats généraux sur l'écologie et la biologie des tricots rayés. Ils montrent l'intérêt et l'importance de ces organismes dans le fonctionnement des écosystèmes récifaux de Nouvelle Calédonie. Cette information a servi de base pour développer une méthode simple et opérationnelle de terrain qui est présentée dans la seconde partie. Des informations immédiatement utiles en termes de gestion sont notamment fournies. L'indicateur trophique (+ fiches technique présentées plus loin) est présenté en détail et des résultats sur les dosages des contaminants sont ensuite donnés. Cette seconde partie est donc la plus importante vis-à-vis des objectifs de l'étude.

### Amélioration des connaissances sur l'écologie des tricots rayés

Les recherches réalisées sur l'écologie alimentaire et générale des serpents marins (cf. liste des publications) ont apporté des bases importantes pour tester la valeur du système en tant que bio-indicateur des milieux récifaux. Nos résultats montrent que les tricots rayés présentent en effet une série d'avantages majeurs.

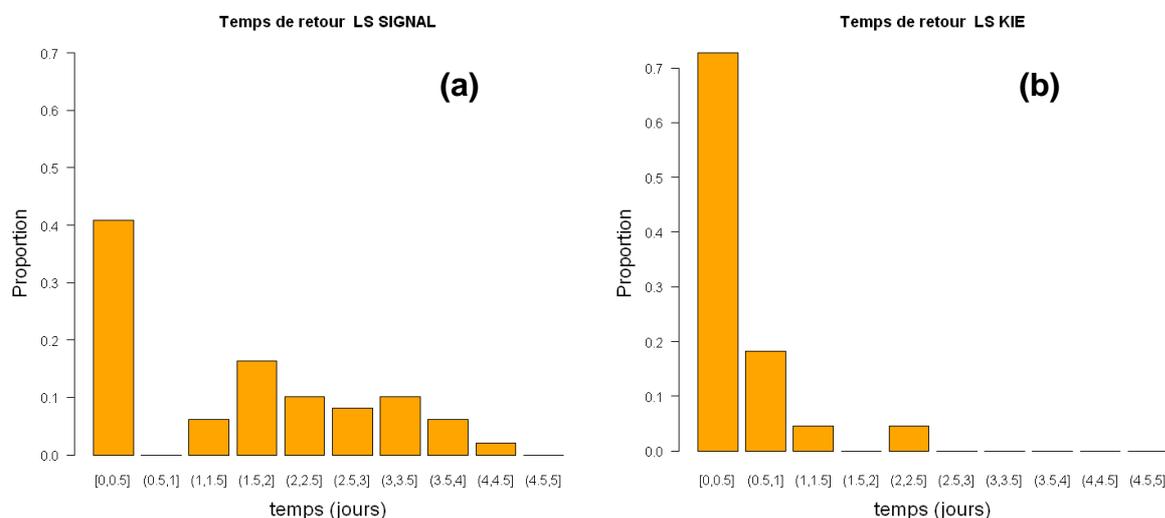
Ces serpents se caractérisent par une forte sédentarité, la vaste majorité des individus restent très fidèles à un seul îlot (i.e. phylopatrie). La conséquence immédiate de ce fait est que chaque îlot représente une zone d'échantillonnage précise ; ce qui offre une opportunité logique essentielle dans le cadre de la bio-indication. Les renseignements pris sur une zone ne sont peu ou pas dégradés par des individus provenant, ou ayant prospecté, d'autres zones plus ou moins éloignées. Une autre conséquence est que la dégradation d'un îlot est potentiellement grave puisqu'il n'existe presque pas de compensation possible grâce à des échanges inter sites. Cette forte phylopatrie ne signifie pas que les populations sont totalement isolées. En effet, les suivis à long terme et l'extension de notre zone d'étude ont permis de mettre en évidence des déplacements de plusieurs individus d'un îlot à un autre. Nous avons observé des migrations relativement spectaculaires, par exemple entre des sites très distants (Signal - Gi : plus de 75km en ligne droite, Signal - Améré : environ 85km).

Nos travaux ont aussi montré que chez les tricots rayés, prédateurs spécialisés des poissons anguilliformes, la taille moyenne, la condition trophique (et la condition corporelle) moyenne et les taux moyens de croissance des individus varient en fonction des sites. Ces paramètres sont corrélés les uns avec les autres, ce qui est logique. Un individu qui a un accès privilégié aux proies grandit plus vite, stocke davantage de réserve corporelle et est en moyenne plus grand qu'un individu ayant plus de difficultés à s'alimenter. Ces résultats, bien qu'attendus, sont importants. Ils apportent une validation aux campagnes de mesures réalisées sur le terrain et surtout ils montrent qu'un seul paramètre peut être utilisé pour avoir une estimation des autres ; ce qui simplifie grandement la mise au point d'une méthode pratique de surveillance de l'état de santé du lagon à travers le suivi des tricots rayés et de leurs proies. Ci-dessous sont des aspects importants de l'écologie alimentaire des tricots rayés sont précisés.

- **Effort de prospection alimentaire**

Les tricots rayés ingurgitent leurs proies en entier, celles-ci progressent dans l'estomac au cours de la digestion. Cette progression crée un front de digestion, la proie est dissoute depuis l'extrémité par laquelle elle a été avalée. Il est possible de calculer le degré de digestion qui est fonction du temps. En utilisant cette technique basée sur les relations qui existent entre les taux de digestion des proies et la durée des voyages alimentaires, nous avons pu faire des comparaisons entre les îlots. Le degré de digestion des proies des serpents capturés précisément au moment de leur retour à terre (serpents qui arrivent sur la plage) renseigne sur la distance à laquelle la proie a été pêchée : une proie intacte a été prise à proximité tandis qu'une proie très digérée peut avoir été prise à plus de 15km de distance. L'analyse des taux de digestion des proies montre des résultats contrastés entre les îlots (figures ci-dessous), ce qui suggère que dans certaines zones les proies seraient plus accessibles. La figure ci-dessous par exemple suggère que les serpents de l'îlot Kié ont plus de facilité pour trouver des proies proches de leur îlot que ceux de l'îlot Signal. Ce type d'information peut servir à mettre au point des indicateurs particuliers, reflets de la disponibilité des poissons anguilliformes autour d'un site donné. Ce qui sera utile

pour les suivis en cas d'anomalie temporelle par exemple (augmentation du taux moyen de digestion des proies au cours des années).



Distribution des temps de retour estimé pour les tricots rayés jaune (*L. saintgironsi*) sur les îlots Signal (a) et Kie (b).

Les graphes ci-dessus montrent deux types de distribution. A gauche on observe une structure bimodale, où une partie des proies (première barre) sont capturées à proximité immédiate de l'îlot, probablement sur le récif frangeant, et une autre partie (série de plus petites barres) sur des récifs plus éloignés. A droite en revanche, la très grande majorité des proies sont capturées à proximité de l'îlot (grande barre à droite), les serpents ne semblent pas devoir s'éloigner de leur site à terre pour trouver leurs proies. Les serpents de Kié auraient donc à fournir un effort moins important pour se nourrir que ceux de Signal. Les mêmes résultats sont obtenus en comparant Améré avec Signal par exemple. Ces différences pourraient s'expliquer par la surface de platier corallien disponible à proximité de l'îlot, mais peut être aussi par la richesse différentielle en proies des zones de chasse. Apparemment le statut de réserve intégrale (Améré et Kié) serait associé à une plus grande disponibilité en proies (poissons anguilliformes eux-mêmes prédateurs) des tricots rayés, qui auraient donc plus de facilité à se nourrir ; ce qui expliquerait aussi leur meilleure condition corporelle (cf. résultats sur l'indicateur trophique). Ces résultats sont cohérents et ils appuient l'idée selon laquelle les tricots rayés sont des bio indicateurs

du lagon : leur condition corporelle et leur effort de pêche dépendraient de la qualité de l'environnement.

- **Biodiversité des Anguilliformes**

Sur les nouveaux sites prospectés, aussi bien en Province Sud qu'en Province Nord, l'identification des proies collectées confirme tout d'abord le régime spécialisé des tricots rayés sur une grande gamme d'espèces de poissons anguilliformes. De même, nous avons à nouveau observé des différences dans l'écologie alimentaire des deux espèces de tricots rayés, les tricots rayés bleus chassant sur fond meuble des congres, poissons serpents et certaines murènes (en particulier *Gymnothorax moluccensis* et *Gymnothorax albimarginatus*), les tricots rayés jaunes préférant capturer des murènes sur fonds durs (surtout *Gymnothorax chilospilus* et *Gymnothorax eurostus*). Toutefois, les analyses de diversité spécifique, partiellement présentées dans la figure ci-dessous, montrent aussi qu'il existe des différences entre les îlots.

Plus précisément, les indices de Shannon (indice de mesure de la biodiversité) sont très proches entre les îlots du Grand Nouméa, ils sont en revanche significativement plus faibles dans les îlots du Grand Lagon Sud, en particulier dans la réserve intégrale si on s'intéresse aux proies des tricots rayés jaunes. Ces résultats apparaissent paradoxaux et doivent être interprétés en considérant que les serpents privilégient sans doute la capture de certaines espèces, faisant baisser la diversité observée là où les proies favorites sont abondantes. Pour estimer la biodiversité réelle des poissons anguilliformes, il faudra pondérer les observations en prenant en compte l'effort de chasse réalisé par les serpents sur chaque îlot (par exemple en s'appuyant sur la distance à laquelle sont capturées les proies, ou encore en regardant les cicatrices et blessures causées par les murènes aux tricots).

L'ensemble des informations sur la biologie des tricots rayés nous ont permis de conduire des comparaisons entre les sites, présentées ci-dessous.

- **Comparaison des populations entre les sites**

Au cours de nos missions, nous avons échantillonné une grande variété de sites ayant chacun ses caractéristiques propres en terme de physionomie (cote rocheuse ou

sableuse, type de végétation, abondance des terriers de puffins...), de distance à la côte ou à la barrière, de zone de chasse disponible (surface des récifs environnants), de fréquentation touristique, et de statut de protection. Cette variété permet d'examiner l'impact de différents facteurs sur la biologie des tricots rayés (e.g. structure et taille des populations, condition corporelle et taux de croissance des animaux...) et sur celle de leurs proies. Dans le cadre de ce rapport, nous avons retenue les analyses les plus pertinentes, notamment celles qui sont focalisées sur la condition trophique des individus.

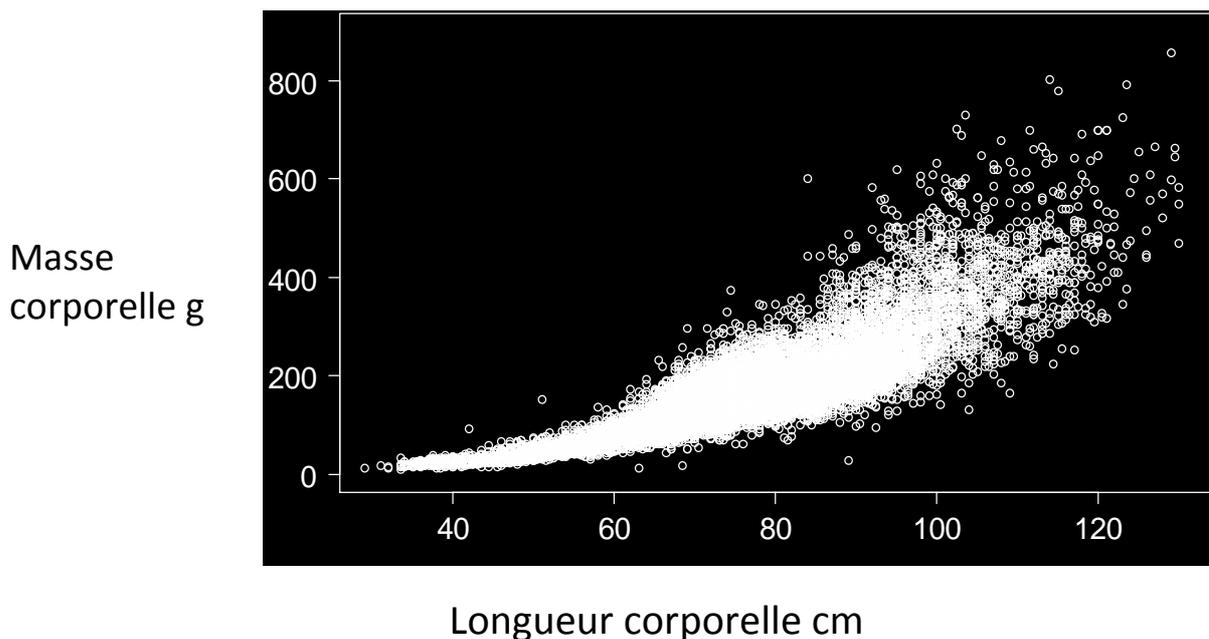
Les observations sur le terrain montrent un impact du statut de protection et de la fréquentation touristique. Par exemple la population de tricots rayés de Larégnère, îlot trop fréquenté, est très faible et par rapport à ce qu'on pourrait y attendre. Le nombre de serpents observé diminue régulièrement depuis 2002. A l'inverse, les animaux de la réserve intégrale Merlet sont nombreux et en très bonne condition corporelle. Par exemple, en juillet 2010 près de 1.000 individus ont été comptabilisés en une heure de prospection seulement. Par ailleurs les tricots rayés bleus privilégient les zones de beach-rock, qui sont bien représentées sur Signal ou Gi par exemple tandis que les tricots rayés jaunes exploitent une plus grande diversité d'habitats (plages sableuses, rocheuses...). Cependant nous en avons trouvé une petite population de tricots rayés bleus sur l'îlot Rédika dont la côte est sableuse ; dans ce cas les tricots rayés bleus se tenaient dans les grosses racines des arbres en formation forestière assez dense. Nous avons donc détecté des effets inter îlots (c'est-à-dire des différences entre sites) très nets, base essentielle dont il faut tenir compte pour mettre au point des outils de terrain.

### *Outils pour la gestion*

- **Indicateur trophique**

Les analyses réalisées pour tester la valeur de l'indicateur trophique sont probablement à la base des résultats principaux de ce rapport. La validation de l'utilisation d'un indice très simple, donc peu exigeant sur le plan logistique, est en effet fondamentale pour mettre en place des suivis de terrain à long terme. C'est pourquoi cette section est la mieux développée.

Nous avons utilisé l'ensemble des données de longueur et de masse corporelle des tricots rayés (plus de 18,000 valeurs). Il est alors possible de décrire de façon fiable la relation entre ces deux paramètres. La figure ci-dessous illustre cette relation chez une espèce (*L. saintgironsi*). La masse corporelle (poids) des individus augmente avec leur taille.



Relation entre la masse corporelle (= poids en ordonnée) et la taille des individus

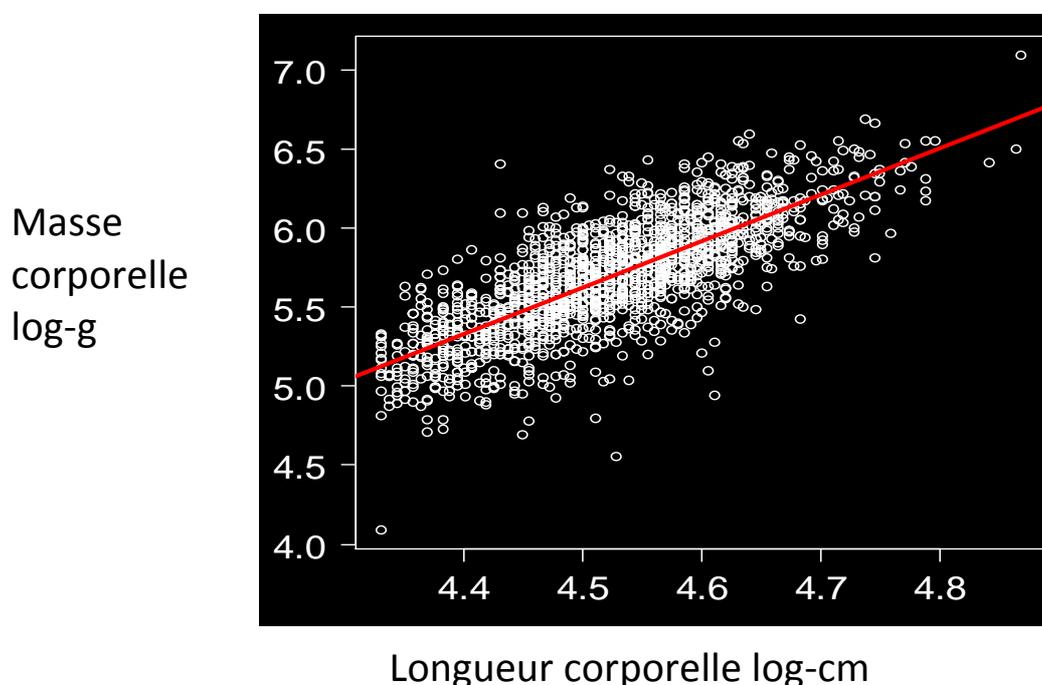
Par souci de simplicité, tous les individus ont été conservés dans cette analyse, y compris ceux avec des proies dans l'estomac et/ou les femelles gravides. Les valeurs décalées vers le haut (par exemple les quelques points nettement visibles au dessus du nuage principal) correspondent à des individus ayant de très grosses proies dans l'estomac. Les quelques valeurs isolées en dessous du nuage principal représentent des individus très maigres. Puisque la masse augmente avec la taille, il existe une forte corrélation ces deux paramètres ( $P < 0.001$ ).

Nous avons examiné la relation entre le poids et la taille des individus en tenant compte des effets de l'espèce et du sexe. Il existe de fortes différences entre les deux espèces de serpents ( $P < 0.01$ ) et entre les sexes ( $P < 0.001$ ). Sur le plan pratique, il est donc important de considérer quatre grandes classes d'individus représentées

en gris dans le tableau ci-dessous. Ces quatre classes de serpents devront être prises en compte sur le terrain, comme cela est clairement indiqué sur la fiche de terrain.

| Sexe / espèce | Tricot rayé jaune         | Tricot rayé bleu         |
|---------------|---------------------------|--------------------------|
| Femelle       | Tricot rayé jaune femelle | Tricot rayé bleu femelle |
| Mâle          | Tricot rayé jaune mâle    | Tricot rayé bleu mâle    |

Afin de rendre plus simple les relations entre taille et masse corporelle nous avons utilisé une transformation logarithmique des données. Le résultat est une linéarisation de la relation. La figure ci-dessous illustre le cas des femelles adultes de tricots rayés jaunes. La ligne rouge représente le modèle de régression linéaire obtenue par la méthode des moindres carrés, qui minimise la somme des résidus (écarts entre les points observés et la droite moyenne). Nous définissons alors ces résidus comme les valeurs d'indicateur trophique de chacun des individus. Ces valeurs sont par nature indépendantes de la taille. Leur moyenne est centrée sur zéro et les valeurs peuvent être positives (au dessus de la droite), nulles (sur la droite), ou négatives (sous la droite).



Relation linéarisée entre la masse et la taille des femelles de tricot rayé jaune.

La relation peut être formulée de la façon suivante :

La **condition trophique (CT)** est donc fonction de la **masse du serpent + la masse de ses proies\*** + la masse des **œufs\***

(\* = éventuellement)

Or il est important de tenir compte des différences morphologiques entre les espèces et les sexes. Une formule de calcul de l'indicateur trophique doit donc calculée pour chacune des quatre grandes classes d'individus retenues. Quatre modèles de régressions linéaires (du type  $Y=aX+b$ ) ont donc été définis pour permettre le calcul les valeurs individuelles de condition trophique (CT). Afin de les rendre comparables entre elles, les valeurs au sein de chacune des classes sont divisées par l'écart-type standardisé du modèle de régression linéaire correspondant. Les quatre équations sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau récapitulatif des équations de calcul de l'indicateur trophique en fonction de l'espèce et du sexe de l'individu.

|                | Tricot rayé jaune  | Tricot rayé bleu   |
|----------------|--|--|
| <b>Femelle</b> | $(\log(\text{BM}) - (2.92 * \log(\text{SVL}) - 7.54)) / 0.223$ | $(\log(\text{BM}) - (2.74 * \log(\text{SVL}) - 6.99)) / 0.195$ |
| <b>Mâle</b>    | $(\log(\text{BM}) - (2.60 * \log(\text{SVL}) - 6.05)) / 0.164$ | $(\log(\text{BM}) - (2.65 * \log(\text{SVL}) - 6.63)) / 0.155$ |

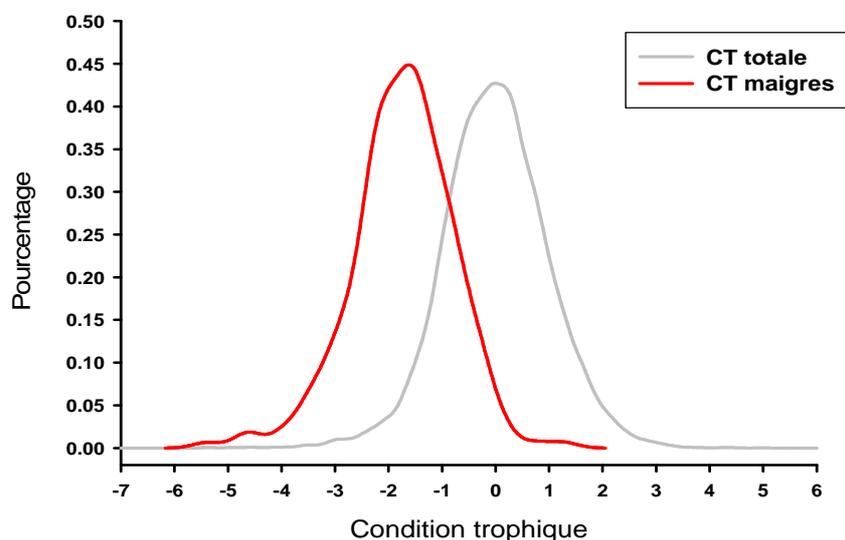
En pratique, il suffit d'implémenter chacune des équations dans un tableur (type Excel) pour calculer automatiquement la CT de chacun des serpents capturés et mesurés, classés selon l'espèce et le sexe (cf. fiche pratique). La condition trophique sera calculée automatiquement avec la longueur et la masse de chaque individu.

- **Comparaisons entre les sites de la CT**

A utilisant cet indicateur trophique nous avons réalisé des comparaisons entre les sites. Nous avons calculé la valeur moyenne obtenue à un endroit donné (e.g. îlot Signal) une année donnée (e.g. 2011). Cette valeur nous renseigne sur l'état trophique général de la population des serpents résidants. Toutefois, à ce stade de l'analyse, les

valeurs moyennes obtenues pour chaque site sont relativement abstraites – ce qui est problématique pour en donner une traduction biologique. Il est indispensable de disposer de références pour interpréter les valeurs isolées ainsi que les tendances à long terme. Une référence qui indiquerait un état critique des animaux serait alors très utile. Dans ce but, nous avons sélectionné les individus pour lesquels les observations de terrain indiquaient des problèmes de maigreur. Typiquement les individus caractérisés comme très faibles, très maigres, etc. sur les fiches de terrain. Il s'agit donc d'une sélection qui repose sur des critères au départ indépendants. La CT moyenne obtenue à partir des individus émaciés nous indique alors la valeur d'une « zone rouge », ou état de santé critique, qui servira de borne inférieure de référence.

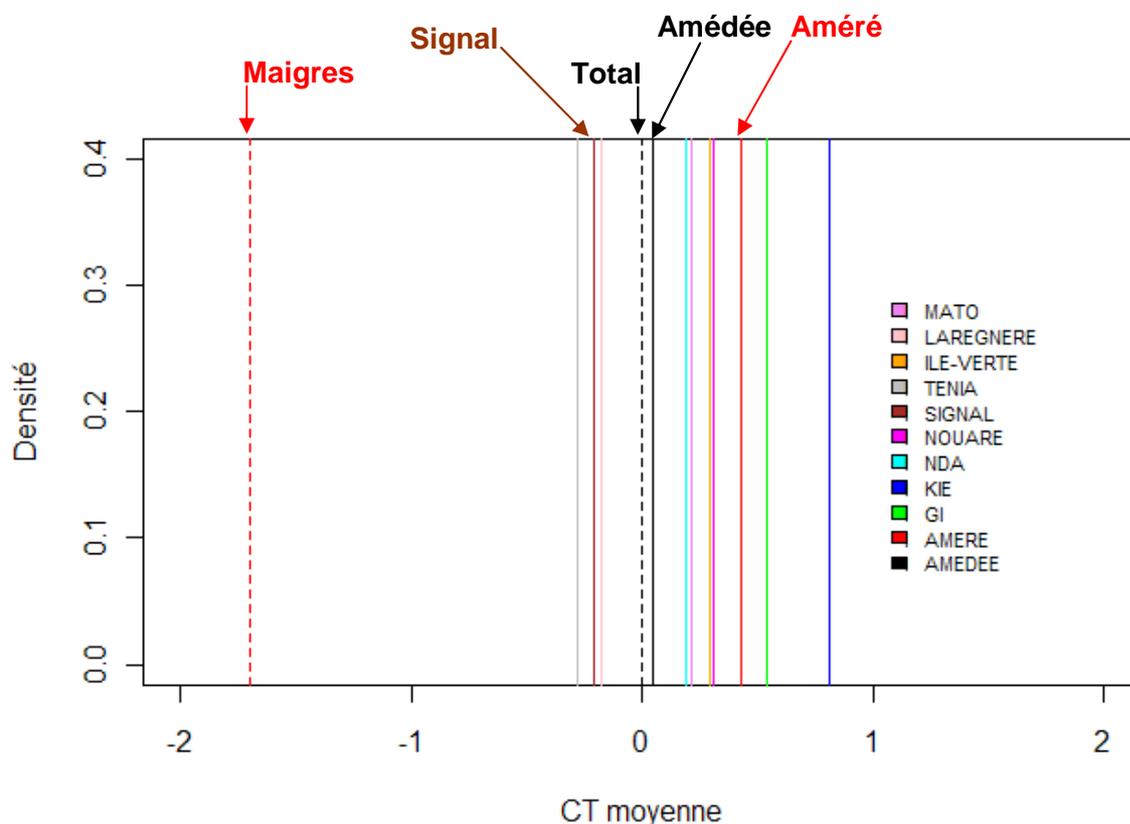
Le graphe ci-dessous illustre la distribution moyenne des valeurs de CT calculée sur l'ensemble des individus adultes (courbe grise) versus celle des individus affaiblis et maigres (courbe rouge). De façon attendue, la courbe grise est centrée sur zéro alors que la courbe rouge est fortement décalée vers les valeurs négatives, signe d'une condition trophique critique.



Distributions des valeurs de CT pour l'ensemble des individus, tous sites, espèce et sexe confondus (courbe grise) et pour les individus émaciés (courbe rouge).

Nous avons ensuite calculé la CT moyenne de chaque site. Sur le graphe ci-dessous sont reportées quelques valeurs moyennes simplement représentées par des

barres verticales. Pour mémoire sont également indiquées les valeurs de CT moyennes calculées pour l'ensemble des individus tous sites confondus (pointillé noir) et pour les individus émaciés (pointillé rouge).



Distribution des valeurs moyennes de CT pour quelques îlots bien suivis

Premièrement, les différents sites sont tous assez loin de la zone critique. Cette observation est à la fois logique et rassurante ; autrement cela signifierait que les populations sont proches de l'extinction qui n'est pas le cas. Deuxièmement, les sites se répartissent d'une façon logique sur l'axe des CT. L'îlot Signal par exemple présente une valeur faible (négative par rapport à la moyenne). Ce résultat montre que cet îlot abrite des serpents en moins bonne condition par rapport à la moyenne du lagon. Inversement es deux îlots de la zone a priori la mieux protégée du lagon (réserve intégrale Merlet), Améré et Kié, abritent des serpents en très bonne condition. Les valeurs de CT calculées sur ces deux îlots seraient la signature d'un « bon état de santé » de cette zone du lagon. De façon intéressante, des très nombreux serpents y vivent ; leur densité ne génère pourtant pas d'amaigrissement.

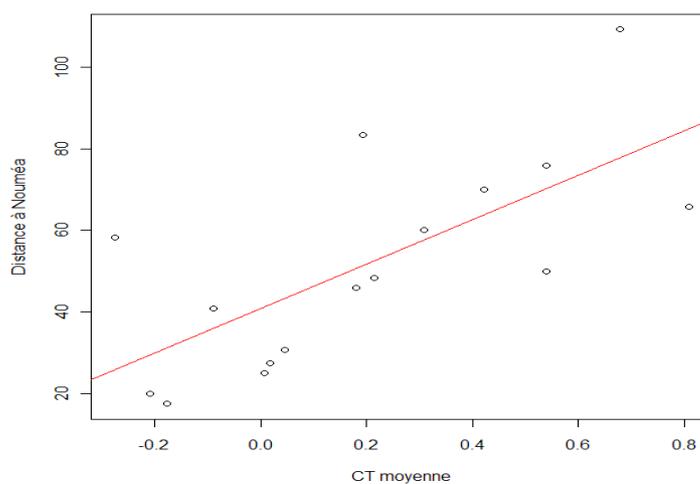
Ce résultat est en accord avec le fait que les voyages alimentaires des serpents de ces îlots sont relativement courts (cf. page 21 ci-dessus). Les informations sont convergentes : une meilleure qualité de l'écosystème liée à un statut de protection élevé se traduit par une CT moyenne élevée des tricots rayés. Inversement, les îlots très fréquentés et proches de Nouméa (donc sujets à de forts dérangements et à la pollution urbaine et minière) présentent les valeurs de CT les plus faibles – ce qui suggère qu'un impact anthropique négatif s'imprime dans l'état trophique des serpents. Pour un îlot dans une situation intermédiaire, l'îlot Amédée, la fréquentation des touristes, bien qu'importante y est fortement encadrée et elle devient presque nulle la nuit. Cet îlot est éloigné de Nouméa, et donc peu soumis à la pollution urbaine et minière. Les valeurs de CT sont justement intermédiaires. Les autres sites se positionnent logiquement, par exemple les tricots rayés capturés près de Nouméa (e.g. Larégnère...) présentent les valeurs de CT les plus faibles, ceux des îlots du grand sud (e.g. Gi) ont des valeurs élevées. Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs moyennes de CT pour les principaux îlots visités en Province Sud et en Province Nord.

Condition trophique moyenne (CT), écart-type (SD) et nombre de serpents utilisés sur les principaux îlots échantillonnés

| Îlot       | CT     | SD    | nb   |
|------------|--------|-------|------|
| SIGNAL     | -0.209 | 0.941 | 6552 |
| AMEDEE     | 0.046  | 0.972 | 2546 |
| AMERE      | 0.423  | 0.884 | 1755 |
| PORCEPIC   | 0.007  | 0.967 | 409  |
| REDIKA     | -0.088 | 1.020 | 407  |
| KIE        | 0.809  | 0.974 | 402  |
| NDA        | 0.194  | 1.015 | 350  |
| GI         | 0.539  | 1.129 | 339  |
| LAREGNERE  | -0.177 | 1.108 | 283  |
| TENIA      | -0.276 | 0.986 | 214  |
| MATO       | 0.214  | 1.104 | 209  |
| PETIT-MATO | 0.181  | 0.924 | 166  |
| BROSSE     | -0.333 | 0.988 | 133  |
| MBA        | 0.019  | 0.977 | 107  |
| BAYONNAISE | 0.679  | 1.056 | 80   |

| Ilot            | CT     | SD    | nb  |
|-----------------|--------|-------|-----|
| NOUARE          | 0.309  | 0.747 | 49  |
| UGO             | 0.540  | 1.026 | 37  |
| KUENDU          | -0.398 | 0.859 | 106 |
| EORI            | 0.258  | 0.773 | 85  |
| TABLE           | -0.057 | 0.911 | 78  |
| CONTRARIETE     | 0.754  | 1.057 | 73  |
| MBO             | 0.015  | 1.165 | 67  |
| VANUATU         | -0.969 | 1.259 | 63  |
| KUTO/IDP        | 0.044  | 0.902 | 56  |
| PETIT-TENIA     | -0.774 | 0.849 | 52  |
| NDO             | 0.397  | 1.034 | 51  |
| ATIRE           | -0.153 | 0.895 | 48  |
| EVER-PROSPERITY | 0.375  | 0.840 | 46  |
| AQUARIUM        | -0.311 | 1.058 | 42  |
| NDIE            | -0.011 | 0.743 | 40  |
| ILE-VERTE       | 0.295  | 0.820 | 38  |
| PANDOP          | 0.340  | 0.730 | 21  |
| ROCHER-A-VOILE  | 0.062  | 0.910 | 20  |

Nous avons vérifié l'existence d'une relation entre la distance à Nouméa et la valeur de moyenne de chaque site (seuls les îlots les mieux suivis, nombre captures > 200 serpents, ont été retenus).

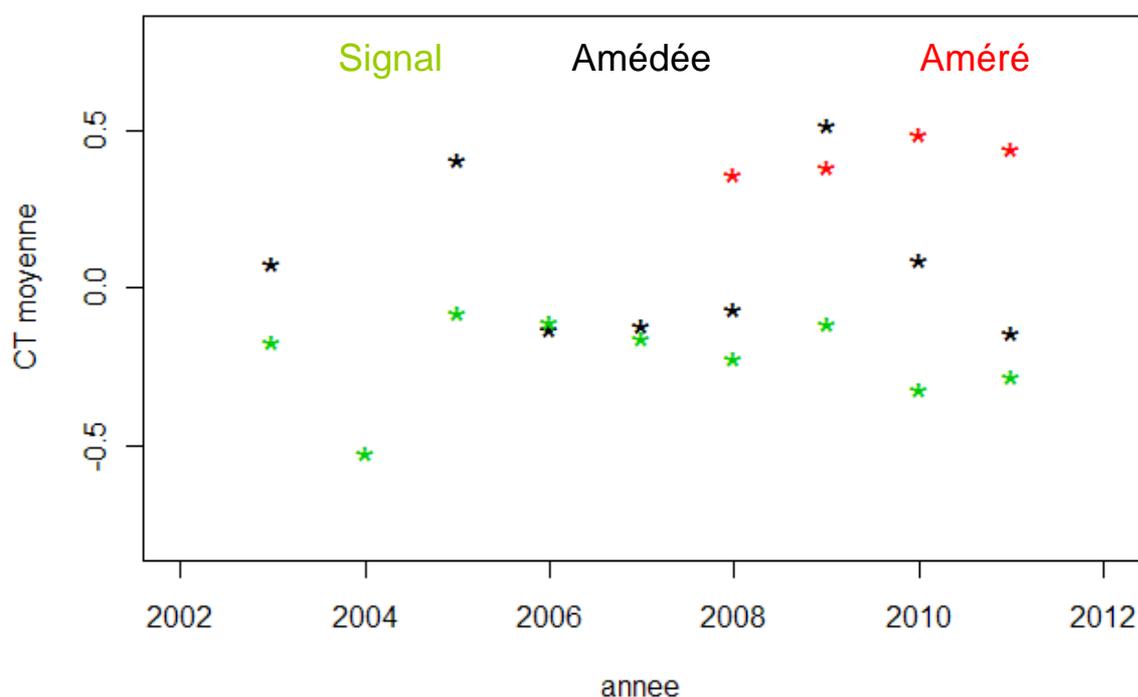


Relation entre la valeur de CT moyenne de l'îlot et sa distance par rapport à Nouméa

Le graphe ci-dessus illustre cette relation ( $P < 0.01$ ). Cette analyse soutient l'intérêt de l'utilisation de l'indicateur trophique.

- **Variations temporelles de la CT**

Nous avons ensuite examiné les variations de CT au cours du temps. Trois îlots relativement bien suivis sont présentés dans le graphe ci-dessous. On note des fluctuations interannuelles des valeurs de CT moyennes, ce qui suggère que certaines années sont plus favorables (i.e. climat) pour les tricots rayés. Toutefois, ce qui est important, est que les positions respectives des îlots se maintiennent au cours des années. Ainsi les valeurs de CT d'Améré sont toujours au dessus de celles de Signal (les plus faibles) et sont presque toujours les plus élevées d'une manière absolue. On note un parallélisme entre les fluctuations interannuelles des îlots. Cela signifie que des phénomènes de grande ampleur touchent l'ensemble du Lagon de façon synchrone. Par ailleurs, en dépit de variations, depuis 2002, on ne constate pas de déclin ou d'augmentation de la CT. Cette observation plutôt rassurante est cependant encore préliminaire et elle est à considérer avec précaution.



Variations temporelles des valeurs de CT moyennes pour les trois îlots

Le point capital est que l'indicateur trophique est effectivement opérationnel pour suivre les tendances relatives des îlots au cours du temps. Cependant, il est également important de comprendre que ce n'est pas la valeur relative du CT calculée pour un îlot qui est informative mais la différence au cours d'une même année des valeurs de CT entre les îlots. Ce résultat est très important car il donne une méthode pour exercer une surveillance des différents sites.

Cette notion est illustrée ci-dessous. Le graphe propose un scénario imaginaire à partir de 2011. Les valeurs de CT de Signal se maintiennent tandis que celles d'Améré plongent jusqu'à se retrouver inférieures à celles de Signal. Grâce à l'indicateur trophique – tricots rayés, un problème grave est révélé (e.g. pollution de la réserve Merlet), des investigations complémentaires doivent être mises en place. Cet exemple imaginé montre comment l'indicateur trophique peut être utilisé par les gestionnaires.

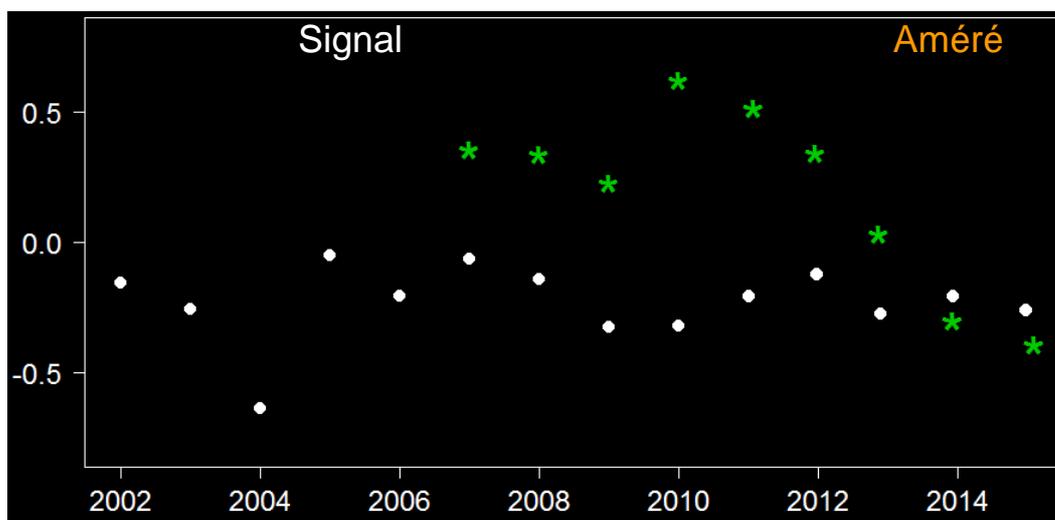


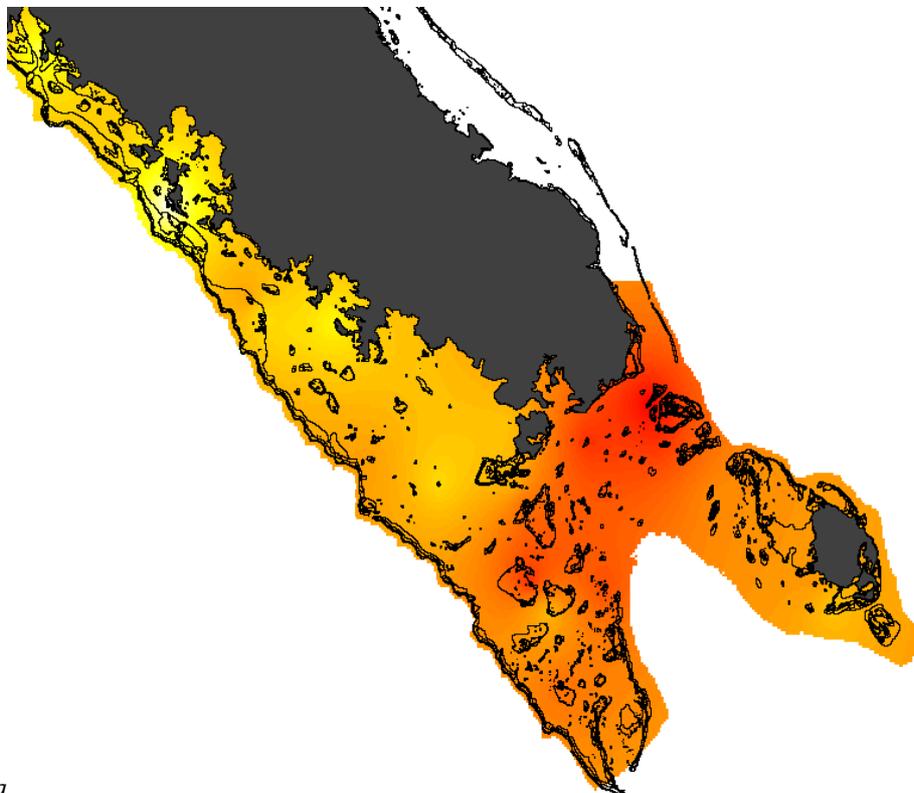
Illustration d'un scénario catastrophe sur l'îlot Améré à partir de 2011

- **Cartes de CT**

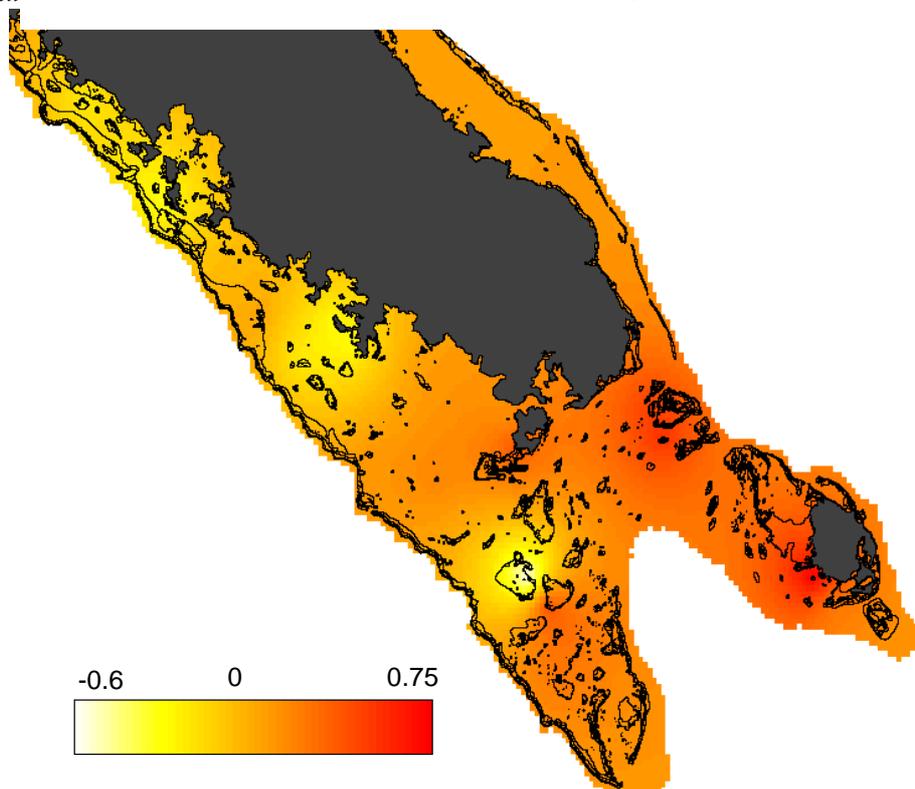
Grâce avec la méthode du krigeage présentée ci-dessus, il a été possible de cartographier la condition trophique pour les deux espèces. Les données étant pour le moment insuffisantes ailleurs, cela n'a pu être fait que sur le lagon sud ouest.

Les deux cartes ci-dessous illustrent les variations de la condition trophique moyenne des tricots rayés jaunes (*L. saintgiroisi*) en haut, et des tricots rayés bleus (*L. laticaudata*) en bas à l'échelle du lagon Sud.

*L. saintgiroisi*



*L. laticaudata*



L'intensité de la couleur rouge indique une condition corporelle plus élevée, l'échelle est donnée en bas des graphes. Entre la réserve Merlet et les cinq îles les serpents sont en meilleure condition qu'aux alentours de Nouméa. Il existe toutefois quelques différences locales entre les deux espèces de serpents. Notamment de faibles valeurs pour les tricots rayés bleus près de Uatérémbi, peut être parce que le nombre d'individus de cette espèce capturés sur ce site était trop faible ? Globalement la cartographie issue des données récoltées sur les tricots rayés jaunes est plus fiable ; tout simplement parce que cette espèce est présente sur presque tous les îlots, ce qui n'est pas le cas pour l'autre.

- **Utilisation pratique de la CT**

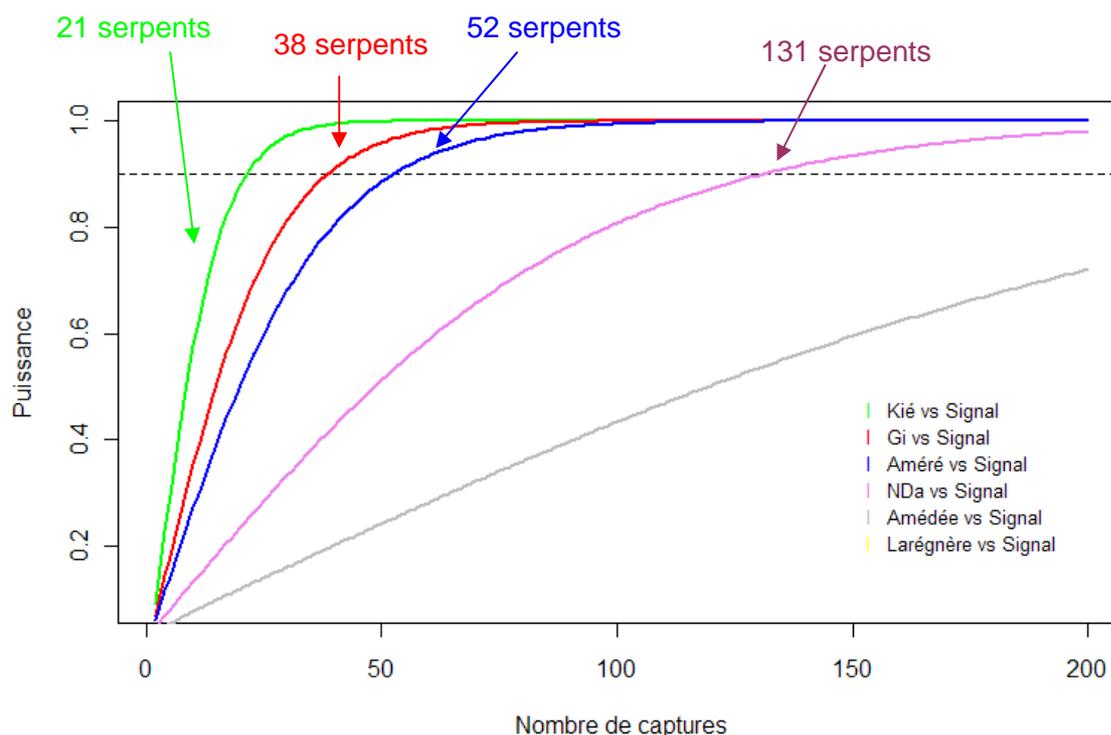
La fiche indicateur trophique qui accompagne ce rapport donne les consignes pour obtenir les données de base sur le terrain. Une fois ces données récoltées, les calculs basés sur les équations fournies sont élémentaires. L'étape suivante consiste donc à organiser les campagnes de terrain et à proposer un protocole d'échantillonnage afin d'optimiser les efforts de capture et la significativité des résultats.

### Plan d'échantillonnage

#### *Nombre de captures nécessaires*

La première question est de savoir combien de serpents au minimum il faut capturer et mesurer par site afin d'obtenir des valeurs moyennes de CT pertinentes. Deux méthodes complémentaires ont été utilisées :

1/ Des tests de puissance statistique. Pour cela nous avons sélectionné les sites les mieux suivis (plus de 200 captures par site). L'îlot Signal, dont la valeur de CT moyenne est relativement faible a été choisi comme valeur de référence. Le graphique ci-dessous illustre les résultats. Les courbes décrivent la capacité à distinguer statistiquement la CT moyenne de deux sites (par exemple Kié de Signal) en fonction de la taille d'échantillon.



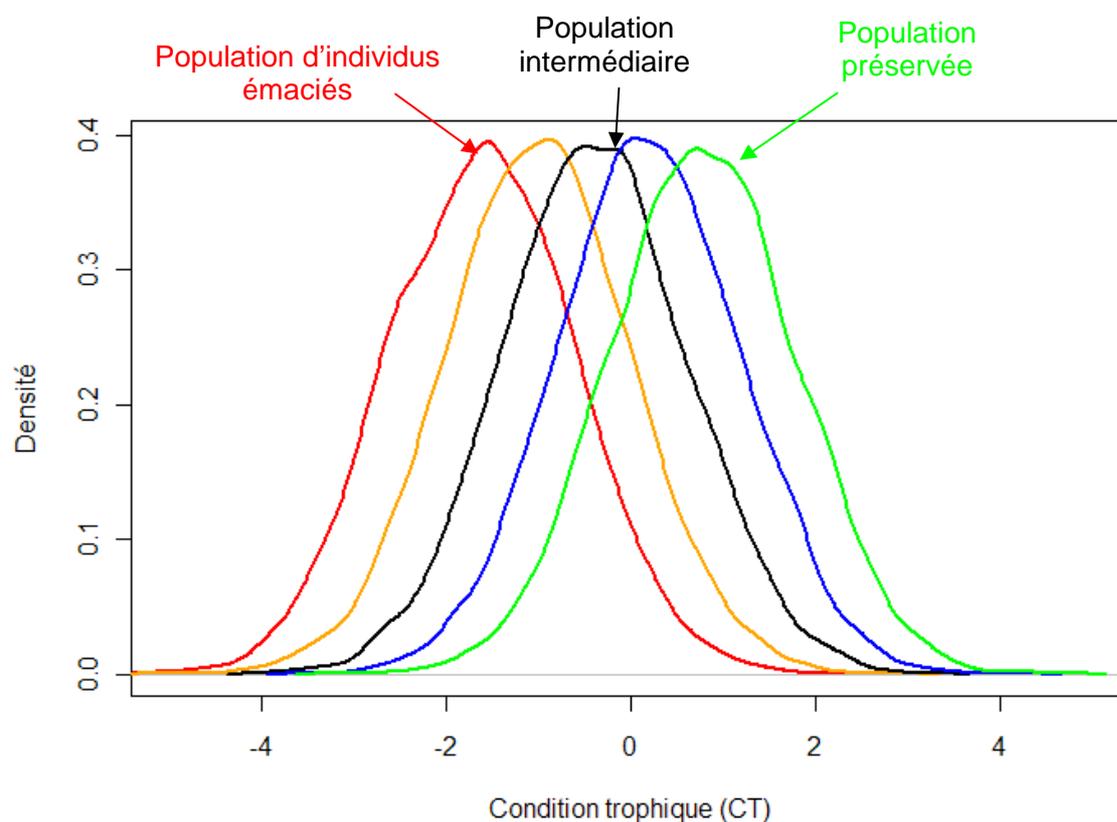
Nombre minimal de serpents à capturer pour différencier les îlots

Dans les exemples ci-dessus on se fixe un seuil de significativité à 5% (risque de se tromper dans notre conclusion) avec une puissance de test de 0.9 (probabilité de réussite du test) et une différence minimale de CT que l'on souhaite détecter, le test donnera donc le nombre de serpents à capturer avec une erreur  $\alpha < 0.05$  & une erreur  $\beta < 0.10$ . On vérifie alors que des sites très différents (exemple Signal *vs* Kié) sont faciles à distinguer avec un petit nombre de serpents (21 serpents). En revanche, des sites proches en termes de CT moyenne sont difficiles à séparer sur la base de la CT (exemple Signal *vs* Larégnère) où un nombre trop important d'individus serait nécessaire pour les différencier (plus de 20.000 serpents). Sur le plan pratique, nous pouvons prédire d'après ces résultats qu'il suffit de mesurer environ 50 serpents par site pour pouvoir détecter des contrastes pertinents de CT, soit par exemple pour distinguer Signal d'Améré. Pour obtenir un tel nombre de captures il faut environ 2 heures pour deux personnes formées par site.

2/ Simulations de distribution de valeurs. Des tests basés sur des simulations de 5 distributions théoriques de CT dont les moyennes et les écart-types se trouvant dans la gamme de ceux observés dans notre jeu de données ont été réalisés. Cette

méthode permet de tester ce qu'il se passe lorsque que l'on capture  $n$  individus dans une des distributions possibles. Plus précisément de connaître la probabilité de nous tromper avec la valeur moyenne de CT extraite du jeu de données d'un site et de l'attribuer à un autres ite (i.e. une autre distribution). Les tailles d'échantillons sont contrôlées.

Nous pouvons alors déterminer le nombre minimum de captures à effectuer pour ne pas dépasser un risque d'erreur de 5%, mais aussi vérifier les effets de bords : dans l'exemple du graphe page suivante, est-il plus difficile de discriminer une distribution aux valeurs de CT intermédiaires (exemple de la courbe noire du graphe ci-dessous) qu'une distribution aux valeurs extrêmes (courbes rouge ou verte).



Simulation de 5 distributions théoriques de CT

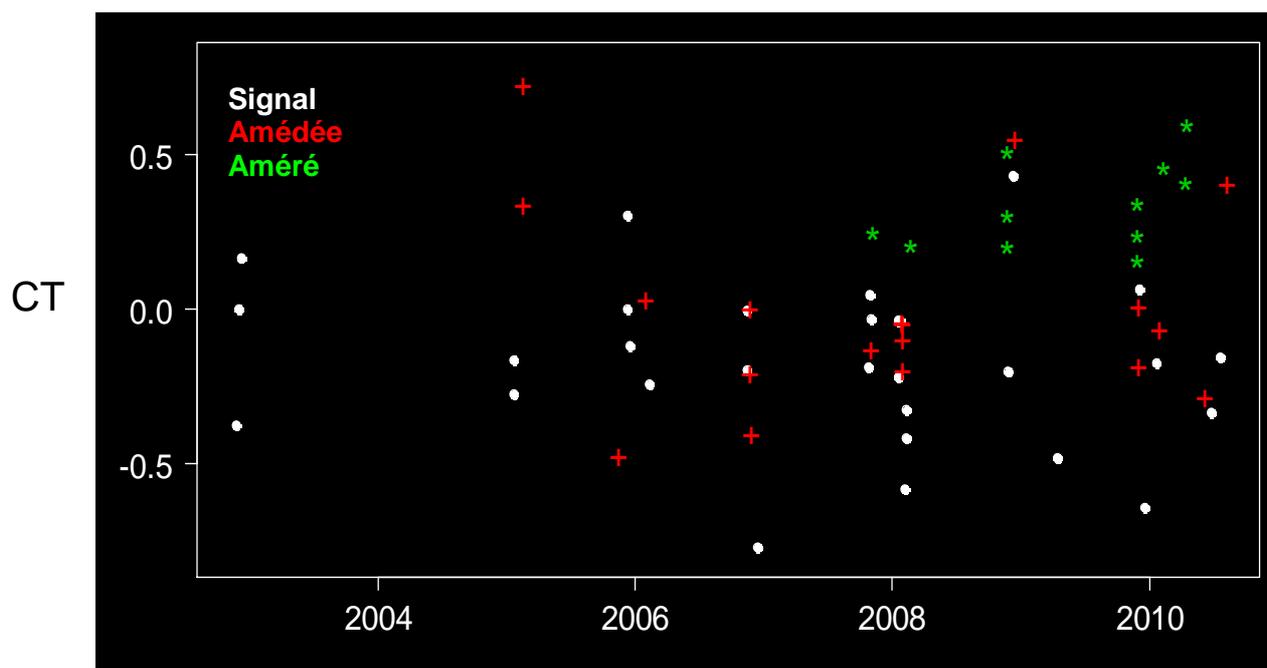
Dans un second temps, nous avons simulé 5.000 tirages aléatoires en faisant varier la taille d'échantillon ( $n=20, 30, 40, 50, 60, 70$  et  $80$  individus) respectivement dans les distributions des populations rouge, noire et verte. A l'aide d'un test de Wilcoxon,

nous avons alors déterminé combien de fois sur les 5.000 tirages nous avons attribué les individus tirés à la mauvaise distribution (i.e. probabilité de se tromper). Les résultats obtenus confirment ceux trouvés par les tests de puissance : il faut en moyenne 40 à 50 individus capturés pour différencier avec moins de 5% d'erreur deux distributions de CT. Il est confirmé également qu'il faut peu d'individus pour différencier des distributions éloignées (moins de 20 individus sont nécessaires pour départager la courbe rouge des courbes noire, bleue ou verte). Il faudra un peu plus d'individus pour différencier des distributions proches (50 individus pour départager les courbes orange, noire et bleue).

#### *Nombre de sessions de captures*

Une seconde question pratique clé est celle de la fréquence d'échantillonnage. Au minimum il faut une valeur de CT moyenne par site et par an. Il est toutefois important de noter que les données doivent être traitées sur la base des saisons de captures, qui s'étendent du 1<sup>er</sup> novembre de l'année  $i$  au 31 octobre de l'année  $i+1$ , et non sur la base des années civiles. Il serait peut être encore plus judicieux de prendre en compte l'année biologique des serpents c'est-à-dire les grandes saisons qui rythment les cycles de vie des tricots rayés et très probablement de leurs proies. Ce raffinement pourrait faire l'objet dans le futur d'analyses supplémentaires à la fois sur des plans fondamentaux et pratiques.

Dans un premier temps, nous avons donc regardé la variation des valeurs de CT calculées à partir de différents jours de captures (sélection des données avec  $> 50$  serpents par jour et par site) au sein d'une même année de capture. Les résultats sont présentés sur le graphique page suivante. Ce graphe montre qu'il existe une forte instabilité entre les journées de capture dans une année donnée. Globalement les positions respectives de chaque îlot sont respectées, mais certaines journées les valeurs obtenues sont très peu discriminantes, et sont donc difficiles à utiliser. Par exemple en 2008 une série de points successifs blancs (Signal) se répartie sur une large gamme de valeurs de CT qui déborde largement sur celle de l'îlot Amédée ; voire sur l'îlot Améré dans de rares cas (2009).



CT moyenne par jour (n > 50 serpents) en fonction des années pour trois îlots

En fait, les serpents mesurés certains jours sont représentés en grande proportion par des individus capturés au cours d'un événement particulier, lié aux conditions météorologiques ou à l'heure et à la méthode employée lors des captures. Par exemple, l'incorporation de nombreux individus de retour de pêche augmente fortement les valeurs de CT puisque les serpents seront alourdis par les proies. Les individus trouvés immobiles sous les pierres sont différents de ceux trouvés en déplacement un jour de pluie, etc. Il apparaît donc évident qu'il faut augmenter le nombre de sessions de capture pour minimiser la variance intra-année pour le calcul de CT et ce particulièrement pour les îlots très variables (e.g. Signal et Amédée).

Nous avons donc examiné les résultats de simulations de différents scénarios possibles et réalisables de captures (voir tableau ci-dessous) afin d'identifier une procédure optimale (i.e. moindre effort pour un risque d'erreur faible).

Ces simulations ont été réalisées sur les données des trois îlots les mieux suivis et qui recouvrent la totalité de la gamme des CT observés : ce sont les îlots Signal, Amédée et Améré.

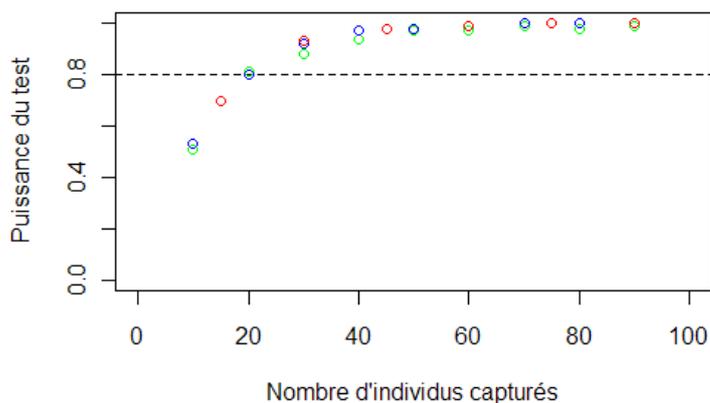
## Scénarios de captures simulés pour les trois îlots

|                              |   | Nombre d'individus capturés/session |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------------|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                              |   | scénario                            | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| session(s)<br>de<br>captures | 1 | X                                   | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|                              | 2 | X                                   | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
|                              | 3 | X                                   | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |

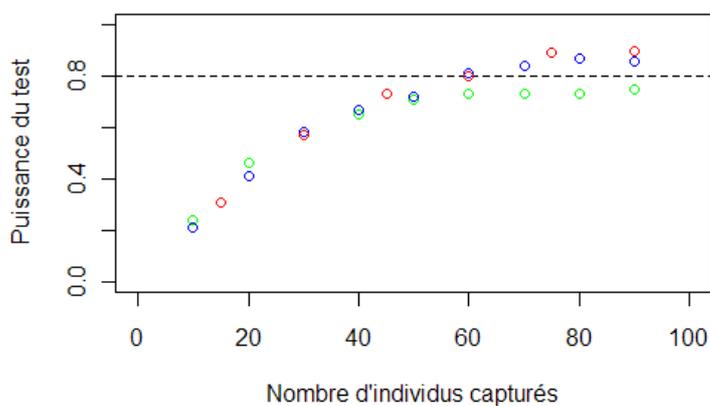
Nous avons choisi de simuler des scénarios de captures réalisables compte tenu de nos connaissances du terrain. Ainsi il a été envisagé 1 à 3 sessions de captures par an pour un total d'individus capturés par an de 10 à 90 individus. Pour chaque scénario, répété 100 fois pour obtenir un grand nombre de tirages différents, nous avons compté le nombre de fois où l'îlot échantillonné était significativement différent des autres sachant que c'est vrai. Cette valeur représente ainsi la puissance du test statistique appliqué. Autrement dit, cela permet de déterminer le ou les scénarios qui minimiseront notre erreur de se tromper en interprétant la valeur de CT calculée à comparer aux autres.

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats de ces simulations pour les scénarios de captures appliqués respectivement à Améré, Signal et Amédée. Le résultat principal de ces graphiques est qu'une puissance de test acceptable de 80% est réalisable dans la plupart des cas avec un nombre relativement modeste d'individus capturés selon l'îlot : entre 20 et 60 individus sur Améré pour le comparer à Signal et Amédée, alors qu'il faudra un minimum de 90 individus capturés à Amédée pour le comparer avec les autres îlots. Il est important de noter que plus le nombre de sessions de captures est grand pour un même nombre d'individus capturés, plus la puissance du test augmente rapidement (plus les résultats obtenus seront fiables).

### Echantillonnages à Améré comparés à Signal

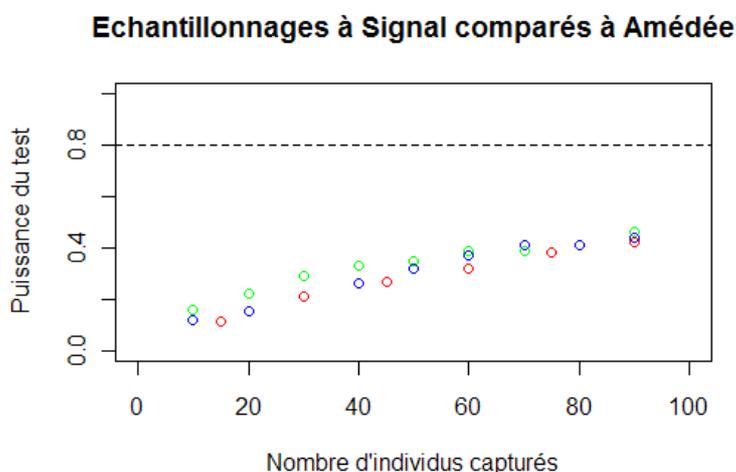
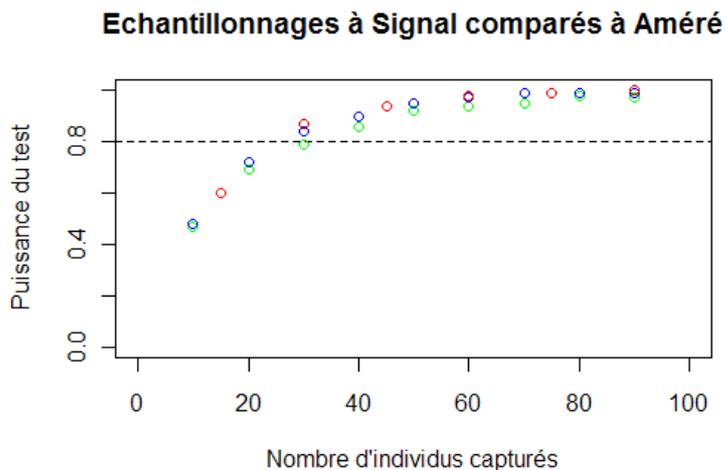


### Echantillonnages à Améré comparés à Amédée



Variation de la puissance du test statistique en fonction du nombre d'individus capturés en 1, 2 ou 3 sessions de captures par an

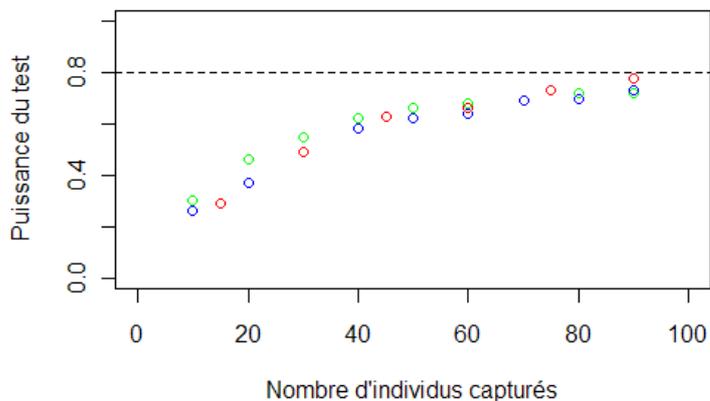
Nous voyons que dans le cas des campagnes d'échantillonnages réalisées à Améré, une puissance de test acceptable de 80% est atteinte dès 20 individus capturés en 1, 2 ou 3 sessions, ce qui permet de le différencier de façon fiable de Signal. En revanche, pour le distinguer d'un îlot de type Amédée, il faudra un minimum de 60 individus capturés par an, et ce nombre devra être réparti en 3 sessions de capture.



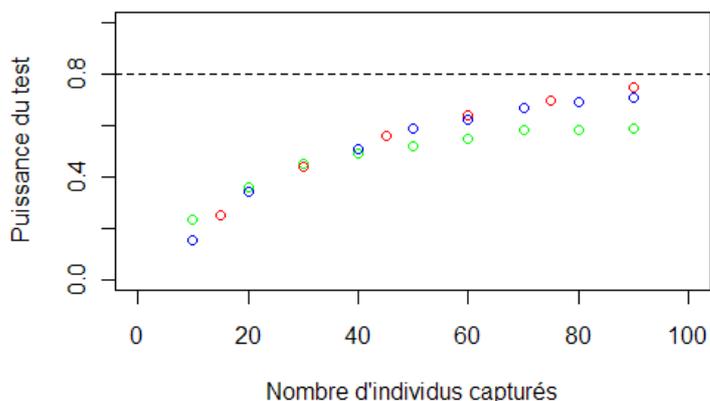
Variation de la puissance du test statistique en fonction du nombre d'individus capturés en 1, 2 ou 3 sessions de captures par an

Dans le cas de Signal, une puissance de test acceptable de 80% est atteinte dès 30 individus capturés en 1, 2 ou 3 sessions pour le différencier de façon fiable d'Améré. Le fait qu'il faille un peu plus d'individus capturés qu'à Améré s'explique par le fait que les individus sont de condition trophique beaucoup plus variable à Signal qu'à Améré. Cet exemple montre que les comparaisons ne sont pas directement équivalentes en fonction de l'ordre de l'îlot implémenté dans l'analyse. Pour différencier Signal d'un îlot de type Amédée, assez proche de Signal en terme de condition trophique, il faudrait un nombre élevé d'individus capturés par an. Nous n'atteignons en effet qu'une puissance de test de 40% avec 90 individus capturés ; ce qui est insuffisant.

### Echantillonnages à Amédée comparés à Améré



### Echantillonnages à Amédée comparés à Signal



Variation de la puissance du test statistique en fonction du nombre d'individus capturés en 1, 2 ou 3 sessions de captures par an

En ce qui concerne Amédée, une puissance de test acceptable de 80% est toute juste atteinte pour 90 individus capturés en 3 sessions pour le comparer à Améré et Signal. Ce résultat est logique car cet îlot est dans une situation intermédiaire, il est donc un peu plus difficile à distinguer des autres. Inversement des îlots situés aux extrémités des gradients de variations sont facilement distinguables.

Il est donc très important de retenir les informations suivantes pour établir un plan d'échantillonnage :

- plus on augmente le nombre de sessions de captures, plus la fiabilité des résultats augmentera vite avec un petit nombre d'individus capturés par session.

- plus la condition trophique des individus de l'îlot est variable, plus le nombre d'individus capturés devra être grand pour pouvoir le comparer aux autres de façon fiable.
- plus les conditions trophiques de deux îlots sont proches, plus le nombre d'individus capturés devra être grand pour pouvoir les distinguer.

- **Proposition d'un plan d'échantillonnage**

Les analyses suggèrent qu'un plan optimal devrait suivre les recommandations encadrées ci-dessous.

Plan d'échantillonnage

3 sessions de captures réparties de novembre de l'année  $i$  à octobre de l'année  $i+1$   
 Chaque session de capture pour un site donné sera espacée au minimum d'un mois  
 Un minimum de 30 individus seront capturés par session et par site

Une fois le plan d'échantillonnage établi pour les îlots visés, une représentation graphique des valeurs de CT calculées l'année  $i$  et des années précédentes pourra permettre de visualiser l'état trophique moyen du site. Puis de détecter un problème ou non (voir l'exemple d'un scénario catastrophe). En cas d'anomalie détectée (e.g. deux îlots qui ne sont plus différents alors qu'ils l'étaient), il faudra répéter les captures et les mesures une ou deux fois sur chaque site d'intérêt. Si l'anomalie persiste, il est très probable qu'un problème local aura été détecté. Si le problème est général, il sera encore plus facile à capter.

*Choix des sites à échantillonner*

Le choix des sites est une question qui incombe au gestionnaire. Mais nous pouvons recommander de conserver dans le plan d'échantillonnage les îlots les mieux suivis ainsi qu'un certain nombre plus récemment incorporés dans nos travaux. Cette gamme intègre les gradients majeurs depuis les zones bien ou mal protégées, proches ou éloignées de la côte, et plus ou moins exposées aux perturbations anthropiques

représentées par la zone urbaine de Nouméa, les mines, et la fréquentation touristique. Nous proposons ainsi une liste d'îlots ainsi que des critères justifiant cette proposition. En ce qui concerne la Province Nord, il apparaît évident que l'inventaire des sites favorables est actuellement trop incomplet. La plupart des îlots potentiellement intéressants n'ont pas été visités. C'est notamment le cas dans la baie de Tanle et de Nehou. De même enter le récif du Baron et la plage de Tangadiou près de Koumac. Ces zones devraient fournir au moins 3 à 5 sites prioritaires pour la Province Nord et compléter la liste ci-dessous.

Liste de sites à suivre.

| Nom           | Priorité | Raison(s) principale(s)                          | Récolte   |
|---------------|----------|--|-----------|
| I. Amédée     | Forte    | Deux espèces de tricots, suivi à long terme      | Facile    |
| I. Améré      | Forte    | Suivi à long terme, réserve intégrale            | Facile    |
| I. Gi         | Forte    | Deux espèces de tricots, gradient côtier         | Facile    |
| I. Nouaré     | Forte    | Proximité de l'émissaire                         | Moyenne   |
| I. Signal     | Forte    | Deux espèces de tricots, suivi à long terme, C   | Facile    |
| I. Ténia      | Elevée   | Intermédiaire nord/sud, deux espèces de tricots, | Moyenne   |
| I. Verte      | Elevée   | Extension vers le nord                           | Facile    |
| I. Grand Mato | Moyenne  | Deux espèces de tricots, gradient côtier         | Moyenne   |
| I. Larégnère  | Moyenne  | Populations en déclin                            | Difficile |
| I. N'Da       | Moyenne  | Gradient côtier (très au large)                  | Facile    |
| Table         | Forte    | Province Nord                                    | Facile    |
| I. Grimault   | Moyenne  | Gradient côtier (proche de la côte)              | Moyenne   |
| Pandop        | Moyenne  | Site côtier                                      | Moyenne   |

L'équipe de recherche dirigée par XB et soutenue logistiquement par la Province Sud assure actuellement le suivi des presque tous les îlots de la province Sud. Il semble cependant primordial de confier le suivi de quelques sites de la Province Nord, mais aussi de la Province Sud, aux agents des Provinces pour tester le fonctionnement du système. Deux agents formés (1 journée de formation au moins, 2 à 3 jours idéalement) pourraient suivre 1 ou 2 sites en consacrant environ 3 demi-

journées par site de leur travail sur les ilots à cette tâche. Au total, entre 4 et 6 sites pourraient être suivis au cours d'une année de test. Idéalement des recoupements devraient être faits, par exemple sur Signal, Améré, l'île verte et deux sites sélectionnés en Province Nord afin de tester quatre zones et les équipes de quatre antennes (deux Provinces) différentes.

- **Formation du personnel**

Le dernier aspect pratique est celui de la formation des personnes. Nous avons examiné qu'elle est l'influence des différentes personnes qui mesurent les serpents sur les valeurs moyennes de CT. Nous n'avons pas détecté de problème qui gênerait l'utilisation de la CT. Donc, avec une formation de terrain simple, d'environ une journée, des agents peuvent être opérationnels. Il sera cependant indispensable de caler les personnes à travers une brève formation annuelle de rappel afin d'éviter des dérives au cours du temps. Cette question spécifique doit encore être évaluée. Une partie importante des gardes nature de la Province Sud sont d'ores et déjà formés, notamment grâce à la collaboration entre le CEBC-CNRS et la DENV depuis 2002. A. Riou a formé 7 personnes supplémentaires durant le programme ZonéCo. Le bilan est donné ci-dessous. L'ambiance et l'implication du personnel ont systématiquement été excellentes. Le bilan de la formation du personnel est donc largement positif. Ce résultat encourageant devra toutefois être confirmé et conforté.

Bilan des formations dispensées par A. Riou.

| Nom                    | Secteur | Poste           | Jours | Lieu                           | Appréhension | Description |
|------------------------|---------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------|-------------|
| Manach                 | Ouano   | Chef de secteur | 3     | Ile verte / Eori               | Faible       | Bonne       |
| Romain <sup>a</sup>    | Ouano   | Capitaine       | 6     | Ile verte / Eori / Contrariété | Faible       | Bonne       |
| Dillinger <sup>b</sup> | Népoui  | Garde Nature    | 1     | Grimault                       | Faible       | Bonne       |
| Kowi                   | Népoui  | Garde Nature    | 3     | Grimault / Foué                | Forte        | Bonne       |
| Dabome                 | Népoui  | Garde Nature    | 3     | Foué                           | Forte        | Faible      |
| Hatjopoulos            | Koumac  | Garde Nature    | 5     | Table / Pandop                 | Moyenne      | Bonne       |
| Whala-Windi            | Koumac  | Garde Nature    | 5     | Table / Pandop                 | Faible       | Bonne       |

Remarques : a) Très grande implication et autonomie ; b) A réalisé une campagne d'observations, spontanément sur la pointe de Foué suite à la formation.

- **Suivis des effectifs de tricots rayés par le personnel**

D'une façon générale, les observations sur le terrain de tricots rayés, comme d'autres espèces, apportent des informations importantes. Il peut s'agir d'observations anecdotiques (e.g. un individu vu en mer, sur un bateau) ou de comptages plus rigoureux. A condition d'être fiables (il existe toujours un biais observateur) et d'être accompagnées d'un lieu et d'une date, elles sont précieuses. Il est donc utile que les agents notent ces observations puis les transmettent. Les cyber-trackers sont les outils appropriés pour enregistrer ce type d'information.

Les comptages standardisés sur les îlots apporteraient une information complémentaire des mesures de condition trophique. Par exemple, sur l'îlot Larégnère, la très forte fréquentation par les plaisanciers a largement éliminé la litière et s'accompagne d'un fort dérangement. Le résultat est une chute du nombre de tricots rayés observés, encore nombreux jusqu'en 2005, ils sont aujourd'hui beaucoup plus rares. De même, sur l'îlot Maitre, la destruction de la quasi-totalité des habitats terrestres en 2003 s'est soldée par la disparition presque totale des tricots rayés ; autrefois abondants (plusieurs dizaines d'observations par jours), il n'est plus possible d'en observer qu'une poignée par jour. Ces chiffres sont à comparer avec l'îlot Améré : il a été possible de compter près de 1.000 individus en une heure en 2010.

Pour réaliser des comptages standardisés il est préférable de cibler les périodes favorables. En hiver, les tricots rayés jaunes s'exposent au soleil, il est possible de les compter lorsqu'ils sont en bord de mer (dans les pourpiers notamment). Au cours des périodes sèches et chaudes, les épisodes de pluie (surtout ceux qui font suite à une période sans précipitation, 1 semaine ou plus) sont très favorables pendant 1 à 2 heures. D'une façon générale, il faut prospecter les plages avant la tombée de la nuit (1h avant le coucher du soleil) pour intercepter les tricots rayés jaunes qui vont en mer ou qui en reviennent, ou durant les 3 premières heures juste après le coucher du soleil pour voir les tricots rayés bleus. L'aube est aussi une période favorable. Un comptage d'une heure permettra de faire le tour de chaque îlot. Il est inutile de prospecter au cours des périodes chaudes de la journée, les serpents évitent le soleil et se cachent.

Les comptages pourront être faits en même temps que les mesures de condition trophique. Les autres missions de surveillance du lagon ne seront que faiblement impactées par les comptages.

- **Précautions au cours des campagnes d'échantillonnage**

Un problème potentiel lié à l'utilisation des tricots rayés comme bio-indicateurs est de créer des perturbations pour les populations suivies. Le dérangement fréquent pourrait-il avoir un impact significatif sur la population d'un îlot ? Notamment si des proies sont prélevées et des prises de sang réalisées ? En effet les captures et les manipulations sont une source de stress pour les animaux.

Nos travaux montrent que des campagnes de mesures intensives ne s'accompagnent pas d'effet négatif détectable. Par exemple, les serpents manipulés depuis des années ne sont pas distinguables de ceux qui rentrent dans le jeu de données par la suite, par exemple en terme de CT. Nous avons réalisé différentes expériences susceptibles de déranger les animaux, y compris de translocation. Les individus sont retournés très précisément sur le lieu de capture initial, ce qui indique que capture et manipulations n'entraînent pas d'abandon du domaine vital. Par ailleurs, comme nous avons choisi de ne prélever qu'une proie par individu, l'impact qui est réel au moment des manipulations, est indétectable par la suite. D'une façon générale, nos suivis de populations les plus intenses, comme sur les îlots Signal, Amédé ou Améré ne génèrent pas de baisse des effectifs, de problème de capturabilité ou de condition trophique. L'impact des manipulations est donc transitoire sur les individus et apparemment très faible voire nul sur les populations. Les comptages faits par les agents des Provinces ne produiront pratiquement aucun dérangement. Les serpents fuient doucement, ou ignore les observateurs. En revanche. Les campagnes de mesures de CT occasionneront un stress transitoire sans conséquence sur les populations.

Il est cependant important de respecter quelques règles. Les animaux doivent être manipulés avec délicatesse ; ce qui est facile étant donné leur docilité. Ils doivent être maintenus captifs durant de courtes périodes (heures) dans des sacs secs en coton

(l'humidité empêche l'air de passer à travers le tissu) qui doivent être lavés entre les missions. Il ne faut surtout pas exposer les individus à la chaleur, ni au soleil.

## Conclusions générales

L'objectif principal de cette étude est de proposer aux gestionnaires des Provinces Sud, Nord et des Iles Loyauté une méthode pratique de surveillance de composantes majeures des écosystèmes du lagon. Cet objectif est pleinement atteint pour la Province Sud grâce à un travail à long terme (dix ans) ; les résultats sont très encourageants pour la Province Nord et décevants pour la Province des Iles Loyautés.

Pour la Province Nord, les prospections et analyses montrent que le potentiel de bio-indication offert par les tricots rayés est effectivement très important. Il est presque certain qu'un effort de prospection accru permettrait de mettre en place des suivis à long terme aussi intéressants et efficaces que ceux qui sont en cours dans la Province Sud. En revanche, la rareté des tricots rayés dans la Province des Iles Loyautés empêche de les utiliser comme indicateurs pertinents.

Il n'existe évidemment aucune méthode permettant d'exercer une surveillance générale. En effet, les écosystèmes du lagon sont diversifiés, très complexes, et la quasi-totalité des espèces qui les composent et qui les font fonctionner ne sont jamais suivies, ni à large échelle ni sur le long terme. Il est alors nécessaire d'utiliser des bio-indicateurs. Ces indicateurs doivent fournir des renseignements pertinents et facilement mesurables de segments des écosystèmes. La combinaison de plusieurs bio-indicateurs permettant idéalement de couvrir une gamme importante d'organismes.

Le système tricots-rayés/proies anguilliformes est à notre connaissance le plus puissant jamais déployé en Nouvelle Calédonie. Aucun autre suivi de population n'est aussi étendu géographiquement ou aussi précis dans le temps et pour le nombre de paramètres mesurés. Le point le plus important est toutefois qu'il a été possible d'extraire de ce suivi une méthode très simple de suivi de sites centrés autour de quelques îlots. Globalement, en utilisant la fiche de terrain condition trophique et en suivant le plan d'échantillonnage, il est possible d'exercer une surveillance d'éléments majeurs des réseaux trophiques du lagon, et ceci avec une

très forte résolution spatiale grâce à la forte sédentarité des proies anguilliformes et des tricots rayés.

En poursuivant les travaux fondamentaux (écologie alimentaire...) les outils proposés dans ce rapport pourront être considérablement affinés. D'une part en améliorant encore la résolution spatiale et d'autre part en examinant les conséquences des perturbations anthropiques directes (contamination, pêche, tourisme...) et indirectes (changements climatiques...) sur les populations de prédateurs du lagon - reflets fidèles des niveaux trophiques sous-jacents. Un des chantiers pour le futur est d'examiner comment les équipes de terrain (gardes nature par exemple) réalisent les suivis et les campagnes de mesures. Cela passe par une formation initiale et continue du personnel et par des comparaisons entre les données collectées par les différentes équipes, notamment celle du CEBC-CNRS. Ces comparaisons permettront de détecter par exemple des dérives ou erreurs dans les mesures. Mais elles apporteront surtout des informations précieuses que seules les agents de terrain sont capables de collecter. Le résultat est un système à bénéfices réciproques entre recherche en écologie et gestion des milieux.

## Références

1. Brischoux F., Bonnet X. and Legagneux P. (2009). Are sea snakes pertinent bio-indicators for coral reefs? A comparison between species and sites. **Marine Biology**, 156: 1985-1992.
2. Ineich I, Bonnet X, Brischoux F, Kulbicki M, Séret B, and Shine R (2007). Anguilliform fishes and sea-kraits: neglected predators in coral-reef ecosystems. **Marine Biology**, 151: 793-802.
3. Brischoux F, Bonnet X, Cherel Y, and Shine R. (2011). Isotopic signatures, foraging habitats and trophic relationships between fish and reptile, top-predators on the coral reefs of New Caledonia. **Coral Reefs**, 30: 155-165. DOI 10.1007/s00338-010-0680-8.
4. Brischoux F, Bonnet X and Shine R (2007). Foraging ecology of sea kraits (*Laticauda* spp.) in the Neo-Caledonian Lagoon. **Marine Ecology Progress Series**, 350: 145-151.
5. Brischoux F., Bonnet X. and Pinaud D. (2009). Fine scale site fidelity in sea kraits: implications for conservation. **Biodiversity and Conservation**, 18: 2473-2481.
6. Bonnet X., Brischoux F., Pearson D. and Rivalan P. (2009). Beach-rock as a keystone habitat for sea kraits. **Environmental Conservation**, 36: 62-70.
7. Bonnet X., Brischoux F, and Lang R. (2010). Highly venomous sea kraits must fight to get their prey. **Coral Reefs** 29: 379.
8. Brischoux F., Bonnet X and De Crignis M. (2007). A method to reconstruct anguilliform fishes from partially digested items. **Marine Biology**, 151: 1893-1897.
9. Brischoux F, Gartner GEA, Garland Jr T, and Bonnet X. (2011). Does aquatic life require increased blood oxygen stores in snakes? **PLoS ONE**, 6:e17077.
10. Brischoux F., Bonnet X. and Shine R. (2011). Conflicts between feeding and reproduction in amphibious snakes (sea kraits, *Laticauda* spp.). **Austral Ecology** 36: 46-52. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2010.02115.x.
11. Brischoux F, Kato A, Ropert-Coudert Y, Shine R. (2010). Swimming speed variation in amphibious seasnakes (*Laticaudinae*): a search for underlying mechanisms. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 394:116-122.
12. Brischoux F., Bonnet X. and Shine R. (2009). Kleptothermy: an additional category of thermoregulation, and a possible example in sea kraits (*Laticauda laticaudata*, *Serpentes*). **Biology Letters**, 5: 729-731.
13. Shine R. and Bonnet X (2009). Reproductive biology, population viability and options for field management. In *Snakes: Ecology and Conservation* (ed. S.J. Mullin and R.A. Seigel). Cornell University Press, Ithaca, New York. Pp: 172-200.

14. Bonnet X and Brischoux F. (2008). Thirsty sea snakes forsake their shelter during rainfall. **Austral Ecology**, 33: 911-921.
15. Brischoux F. and Bonnet X. (2009). Life history of sea kraits in New Caledonia. **Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle** 198: 133-147.
16. Brischoux F., Bonnet X. and Shine R. (2009). Determinants of dietary specialization: a comparison of two sympatric species of sea snakes. **Oikos**, 118: 145-151.
17. Brischoux F, and Bonnet X. (2008). Estimating the impact of sea kraits on the anguilliform fish community of New Caledonia. **Aquatic Living Resources**, 21: 395-399.
18. Séret B., Brischoux F., Bonnet X. and Shine (2008). First record of *Cirrimaxilla formosa* (Teleostei: Muraenidae) from New Caledonia, found in sea snake stomach contents. **Cybium**, 32: 191-192.
19. Brischoux F, Bonnet X, Cook TR, and Shine R (2008). Allometry of diving capacities: ectothermy versus endothermy. **Journal of Evolutionary Biology**, 21: 324-329.
20. Lориoux S., Bonnet X., Brischoux F. and De Crignis M. (2008). Is melanism adaptive in sea kraits? **Amphibia Reptilia**, 29: 1-5.
21. Bonnet X., Ineich I. and Shine R. (2005). Terrestrial locomotion in sea snakes: effects of sex and species on cliff-climbing ability in sea kraits (Serpentes, Laticauda). **Biological Journal of the Linnean Society**, 85: 433-441.
22. Shine R., Bonnet X., Elphick M.J. and Barrott E.G. (2004). A novel foraging mode in snakes: browsing by the seasnake *Emydocephalus annulatus* (Serpentes, Hydrophiidae). **Functional Ecology** 18: 16-24.
23. Shine, R., Bonnet X., and Cogger HG. (2003). Antipredator tactics of amphibious sea-snakes (Serpentes, Laticaudidae). **Ethology**, 109: 533-542.

## Fiches de terrain

## Fiche de terrain Tricots rayés/bio-indicateurs

Cette fiche technique rappelle les principaux éléments nécessaires aux analyses de routine. Il s'agit d'une part de critères de classement des animaux, et d'autre part des mesures à prendre. Les pages suivantes donnent des exemples & illustrations.

1. Il y a 4 catégories de serpents à classer

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| <b>Tricot rayé bleu (B)</b>  | <b>Mâle (M)</b>    |
| <b>Tricot rayé jaune (J)</b> | <b>Femelle (F)</b> |

2. Mesures et informations à prendre

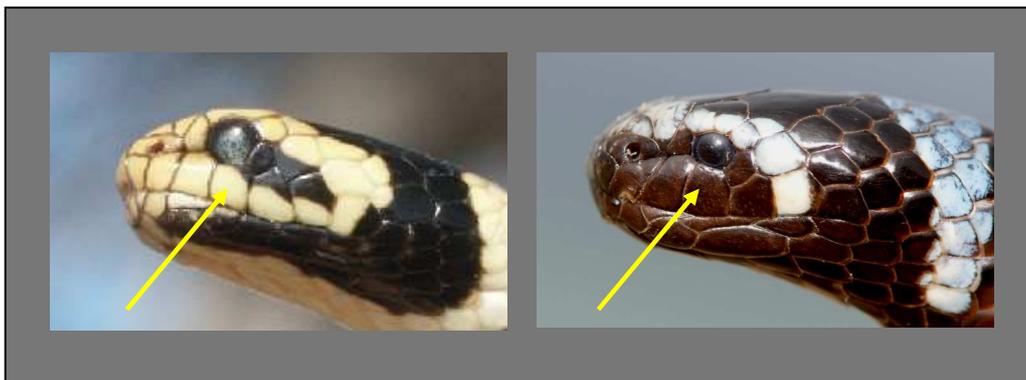
| Longueur  | Masse corporelle                  | Observation   |
|---|-----------------------------------|---|
| Pointe du museau à la fin de la queue (au moins deux mesures différentes par individus voir Longueur et Longueur BIS) | Attention à la tare de la balance | Queue coupée ? Proie dans le ventre ? Présence d'œufs ? |

3. Exemple de fiche remplie. Il faut entre **50 et 90 serpents par lieu et par an**.  
L'exemple ci-dessous est donc incomplet (16 serpents) pour les analyses.

| Date     | Heure | Lieu   | Espèce | Sexe | Longueur cm | Longueur BIS-cm | Masse g | Observation  |
|----------|-------|--------|--------|------|-------------|-----------------|---------|--------------|
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | M    | 85          | 82              | 170     | -            |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | M    | 82          | 87              | 199     | Proie        |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | B      | M    | 94          | 93              | 175     | -            |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | B      | M    | 97          | 100             | 188     | -            |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | B      | F    | 115         | 118             | 291     | -            |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | B      | M    | 92          | 98              | 159     | -            |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | M    | 45          | 43              | 34      | Proie        |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | M    | 70          | 65              | 99      | -            |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | F    | 100         | 101             | 282     | Queue coupée |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | F    | 97          | 94              | 289     | Proie        |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | M    | 80          | 75              | 136     | Blessé       |
| 16/0//11 | 7h00  | Signal | J      | M    | 74          | 74              | 145     | -            |
| 16/0//11 | 7h00  | Signal | J      | M    | 82          | 83              | 171     | -            |
| 16/0//11 | 7h00  | Signal | B      | M    | 91          | 88              | 131     | -            |
| 16/0//11 | 7h00  | Signal | J      | M    | 84          | 84              | 139     | -            |
| 16/0//11 | 7h00  | Signal | B      | M    | 98          | 94              | 175     | -            |
| Etc.     |       |        |        |      |             |                 |         |              |
|          |       |        |        |      |             |                 |         |              |
|          |       |        |        |      |             |                 |         |              |

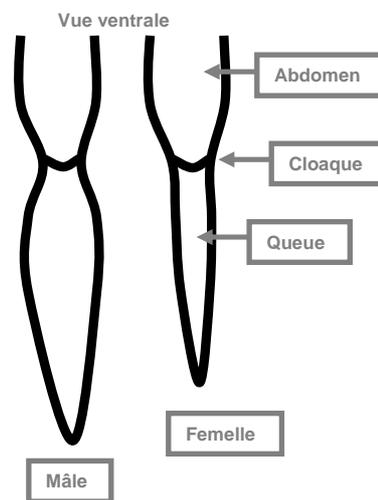
### Différence tricot rayé jaune *versus* bleu

Bien que les deux espèces diffèrent par de nombreux critères, les **erreurs d'identification** sont tout à fait possibles, y compris **en considérant les couleurs**. En pratique, il suffit d'examiner la tête. Chez le tricot jaune (à gauche ci-dessous) la **lèvre supérieure est claire** tandis qu'elle est **noire**/brune chez le bleu (à droite ci-dessous). Ce seul critère permet de limiter presque toutes les erreurs. Les individus mélaniques (entièrement noirs) sont presque toujours des tricots bleus en fait.



### Différence entre les sexes

Il faut examiner **la queue** des serpents. Celle des mâles est plus large à la base tandis que celle des femelles est aplatie. De ce fait, il existe un **rétrécissement** au niveau du cloaque uniquement chez les mâles. En pratique il est nécessaire de recevoir une petite formation. Le cloaque n'est pas toujours facile à localiser sans un apprentissage. La distinction entre les sexes est parfois un peu délicate à faire chez les jeunes. Heureusement, en termes d'analyses des erreurs faites chez les jeunes n'ont pas de conséquence. En revanche, il reste assez important de distinguer les sexes chez les adultes. Le schéma ci-contre illustre l'essentiel.



En cas de doute, il faut noter « ? » comme sexe.

## Longueur

Il s'agit de la seule mesure délicate du protocole. En effet il faut standardiser cette mesure le plus possible. Une courte formation est nécessaire. Par ailleurs, la fiche comporte deux mesures (longueur et longueur-bis). Deux mesures limitent l'erreur. Elles peuvent être faites soit par deux personnes différentes, soit par la même. En cas de fort désaccord (écart de plus de 10%) entre les deux mesures, une troisième est nécessaire.

Ci-dessous illustration de la mesure d'un tricot rayé bleu, le serpent n'est pas étiré mais il est allongé (pas de repli). La pointe du museau coïncide avec le début du mètre à ruban. Il faut souvent essayer plusieurs fois.



## Masse (=Poids)

Cette mesure est très facile à prendre avec une balance électronique de terrain. Il faut une boîte en plastique dans laquelle sera placé le serpent.

1 : tarer la boîte, 2 : mettre le serpent dans la boîte, 3 : lire et reporter la valeur.

Attention ! Dans l'exemple ci-dessous il n'y a pas de couvercle. Si un couvercle est utilisé ne pas oublier de la tarer aussi, ou mieux utiliser une boîte avec charnière.



### Observations

La présence d'une proie est parfois évidente. Par exemple si l'estomac est distendu ou bien si la proie est régurgitée. Avec une formation rapide, on peut apprendre à palper (très délicatement !) l'abdomen pour obtenir des résultats plus précis.

Les œufs bien formés sont relativement faciles à détecter.

Les autres observations intéressantes doivent être notées. Par exemple des blessures ou des cicatrices. Une couleur particulière. La présence de tiques, etc.

### Amélioration possible

Il est préférable de mesurer la longueur museau-cloaque et la longueur totale (museau – extrémité de la queue). Si au cours de la formation des agents cette possibilité paraît facile à mettre en place, elle sera choisie. En pratique cela ne change presque rien et les données seront de meilleure qualité. La fiche de prise de note serait légèrement modifiée comme indiquée ci-dessous.

| Date     | Heure | Lieu   | Espèce | Sexe | Museau-cloaque<br>(cm) | Museau-cloaque bis<br>(cm) | Museau-queue<br>(cm) | Masse<br>g | Observation |
|----------|-------|--------|--------|------|------------------------|----------------------------|----------------------|------------|-------------|
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | M    | 85                     | 82                         | 95                   | 170        | -           |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | J      | M    | 82                     | 87                         | 94                   | 199        | Proie       |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | B      | M    | 94                     | 93                         | 105                  | 175        | -           |
| 15/07/11 | 17h00 | Signal | B      | M    | 97                     | 100                        | 110                  | 188        | -           |
|          |       |        |        |      |                        |                            |                      |            |             |
|          |       |        |        |      |                        |                            |                      |            |             |