

## 4 EXPLORATIONS POUR L'ÉVALUATION DE LA BIODIVERSITÉ

### 4.1 Introduction

Avant le projet PBLT, il y avait un manque d'information sur les habitats aquatiques et les organismes y associés dans les zones à l'intérieur ou adjacentes aux Parcs Nationaux terrestres (Rusizi, Gombe, Mahale, Nsumbu). Quelques activités d'échantillonnage avaient eu lieu dans ces zones, mais ceci n'était pas fait sur une base d'explorations standardisées et comparables (Chapitre 3). Il y avait un besoin évident pour une exploration qui établirait une information de base sur les mesures de la biodiversité dans ces zones, pour appuyer l'analyse de leur valeur de conservation pour le lac, et pour fournir des comparaisons avec des zones qui n'avaient pas bénéficiées de protection à partir des secteurs terrestres adjacents. Avant que de telles explorations puissent être conduites, un travail considérable était requis pour développer une procédure d'exploration et construire la capacité de mettre les explorations en œuvre, depuis le problème de l'identification, en passant par l'exécution, jusqu'au rapport et aux analyses (Chapitre 2). Ces explorations visaient à construire sur base de l'expertise locale, et de minimiser la dépendance sur des apports extérieurs.

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats du programme d'explorations de ESBIO qui ont été conduites entre 1997 et 2000. Nous utilisons la richesse spécifique et les indices de diversité pour des « substituts de la biodiversité totale » choisis pour comparer la biodiversité d'habitats similaires dans différentes zones du lac. Ces analyses appuient nos recommandations pour un choix judicieux d'aires protégées, et plus généralement de la stratégie de conservation (Chapitres 5 et 6).

### 4.2 Méthodes

#### 4.2.1 Activités d'exploration de ESBIO, 1997-2000

Une synthèse des activités entreprises par les équipes de ESBIO est donnée dans la Table 4.1. Les méthodes utilisées sont soulignées dans le Chapitre 2 et détaillées dans le SOP de ESBIO. La table définit les zones et les techniques qui donnent la base pour les analyses rapportées dans ces chapitres. Trois cartes indiquent les zones explorées (Figure 4.1, Figure 4.2 et Figure 4.3).

#### 4.2.2 Cartographie des habitats

Les habitats aquatiques littoraux ont été cartographiés en utilisant la technique de planche manta (et sa modification, la boîte "anti-croco", la où c'était nécessaire). Celle-ci donne une catégorisation large des substrats, qui sert pour deux fonctions: décrire la distribution des types d'habitats aquatiques littoraux de 2 à 20 m de profondeurs, et fournir la base pour la stratification ultérieure des profils d'habitats, et des activités d'exploration des poissons et des mollusques. Les zones cartographiées avec la planche manta sont indiquées dans la Table 4.1. Lors du travail sur le terrain, les résultats des explorations manta étaient transcrites sur des copies de cartes pour mieux planifier les explorations suivantes. La Figure 4.4 illustre une de ces cartes de travail pour l'exploration du Parc National de Nsumbu. La catégorisation et la distribution des substrats est donnée comme exemple de carte de grande échelle dans la section des résultats, où il est aussi synthétisé en forme de tableau.

Les profils de plongée ont été utilisés pour analyser les caractéristiques des habitats spécifiques aux sites sur lesquels les explorations de la faune devaient ensuite être entreprises. Elles servent aussi à la cartographie de habitats aquatiques jusqu'à une profondeur de 25 m, et de tracer un profil bathymétrique des zones explorées. Un échantillon de graphique d'un profil d'habitat en plongée est donné dans la Figure 4.5. Cette figure montre seulement les caractéristiques d'habitat sur une grande échelle. Des détails plus fins étaient enregistrés et les données sont disponibles dans la base de données. Si un travail d'exploration ultérieur est entrepris en utilisant ces protocoles, la taille ces échantillons sera alors suffisante pour tenter des analyses liant ces caractéristiques détaillées d'habitat aux associations d'espèces à travers l'analyse de composantes principales ou autres techniques multivariées. Dans les analyses actuelles, nous utilisons seulement la cartographie à grande échelle pour catégoriser largement les substrats pour des analyses comparatives de la richesse spécifique et la diversité.

**Table 4.1 Synthèse des activités d'exploration de ESBIO.**

Pays	Zone	Dates des explorations	Manta (km) *	Profil (nombre)	SVC (nombre)	RVC (nombre)	Filets maillants (nombre)	Transects pour mollusques (nombre)	Dragage pour Mollusques (nombre)
Burundi	Rusizi	Mars-Mai 1998	-	4	-	-	86	3	2
	Gitaza	Déc 1998, Oct-Déc 1999	✓	9	6	4	1	6	
	Sud Burundi	Juin 1999	✓	6	7	6	2		-
	Baie de Bujumbura	Jan, Fév, Nov, Déc 1999	-	4	-	-	18	2	3
R D Congo	Uvira	Jul, Oct, Nov 1998 et Oct, Déc 1999	✓	14	16	7	24	7	-
	Pemba, Luhanga, Bangwe	Déc 1998, Oct, Nov, Déc 1999	✓	11	11	7	10	7	-
Tanzanie	Gombe	Octobre 1997	20	19	16	-	6	-	-
	Kigoma	Déc 1999	✓	3	3	3	1	3	-
	Mahale	Mars à Avril 1999	60	27	27	26	26	27	-
Zambie	Kalambo/Lunzua	Jul, Sept, Oct 1998 et Juin, Jul, Sept 1999	✓	-	-	-	15	-	-
	Chikonde	Avril, Jul, Oct 1998 et Jan, Juin, Jul, Sept 1999	✓	-	-	-	8	-	-
	Mpulungu	Mai, Juin, Août, Oct, Nov, Déc 1998 et Fév, Avril, Jul, Sept, Oct, Déc 1999	✓	2	-	2	30	-	3
	Lufubu / Chisala	Déc 1998, et Jan, Fév, Mai, Juin, Jul, Août, Sept 1999	✓	-	-	-	16	-	-
	Katoto et al	Fév, Avril, Mai, Juin, Jul, Août, Sept, Nov 1998 et Jan, Fév, Mai, Juin, Jul, Août, Sept, Oct, Déc 1999	✓	20	5	16	11	-	-
	Nsumbu	Jul Août 1999	77	17**	-	-	38	-	23
	Baie de Cameron	Décembre 1999	✓	3	2	-	3	-	-

\* Les distances couvertes par Manta ont été estimées pour les explorations dans les parcs nationaux. Toutefois, il n'est pas possible de calculer de manière rétrospective les distances couvertes par Manta sur les autres sites. Les marques indiquent où les explorations Manta ont été complètes.

\*\* Données sur les profils récoltées en utilisant un grappin à partir d'un bateau, parce que la plongée n'était pas réalisable

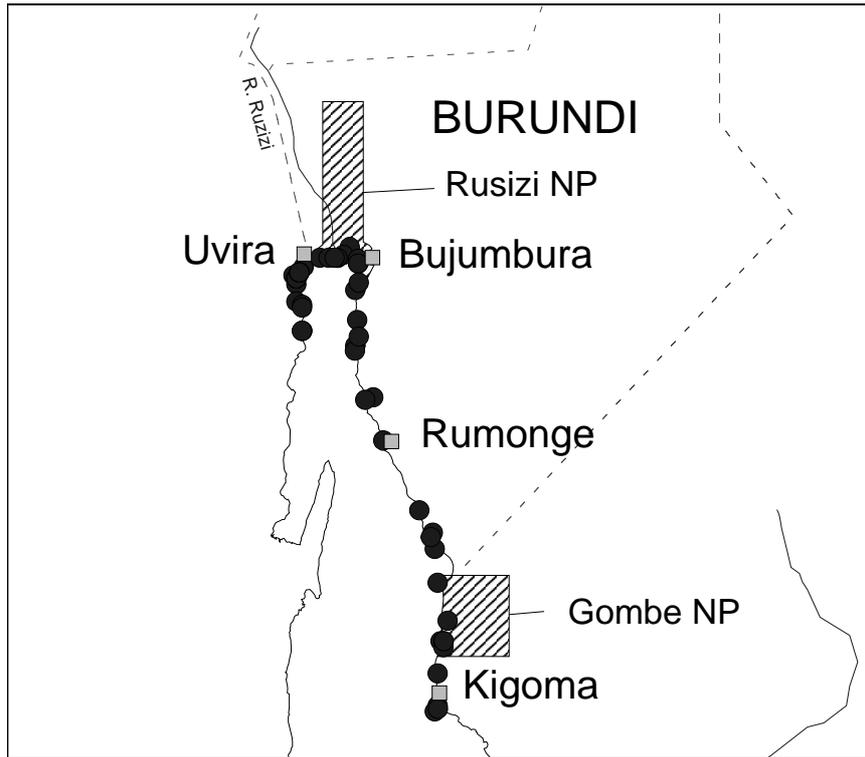


Figure 4.1 Carte des sites d'échantillonnage de ES BIO dans le nord du lac.

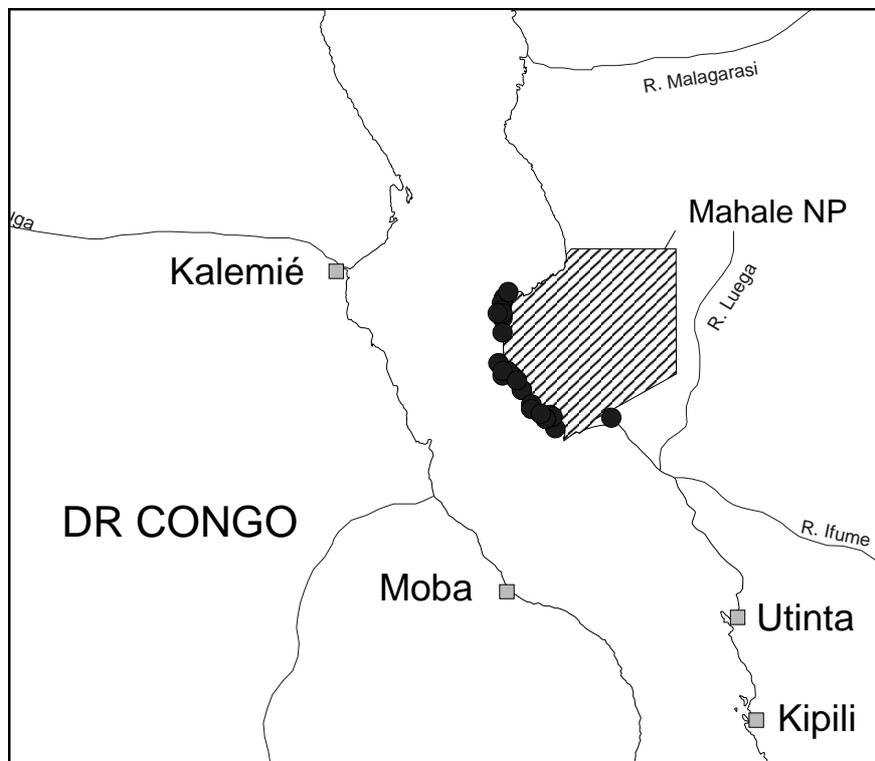
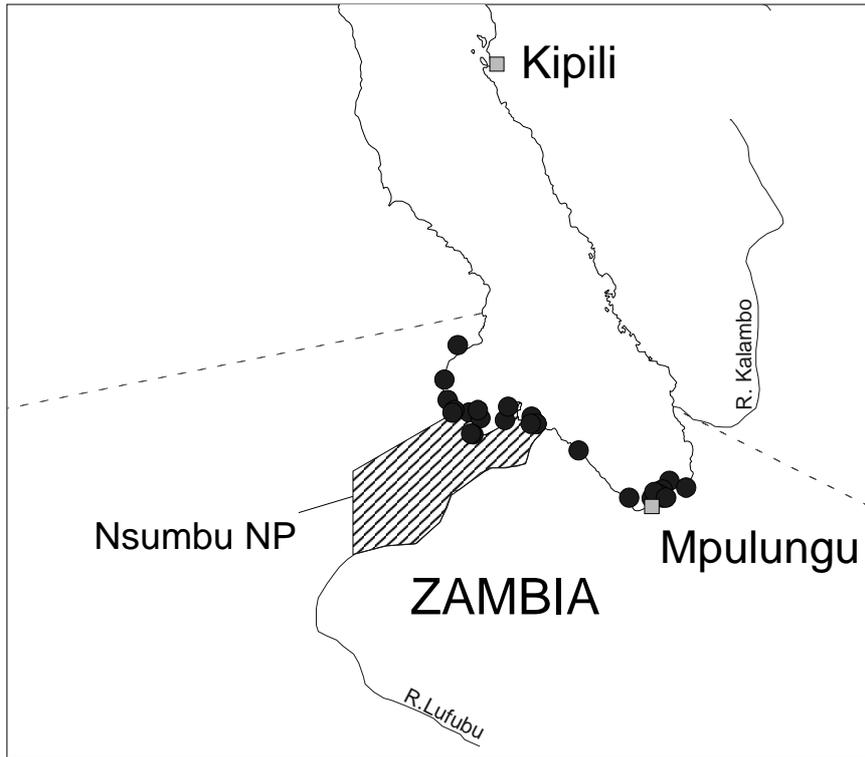
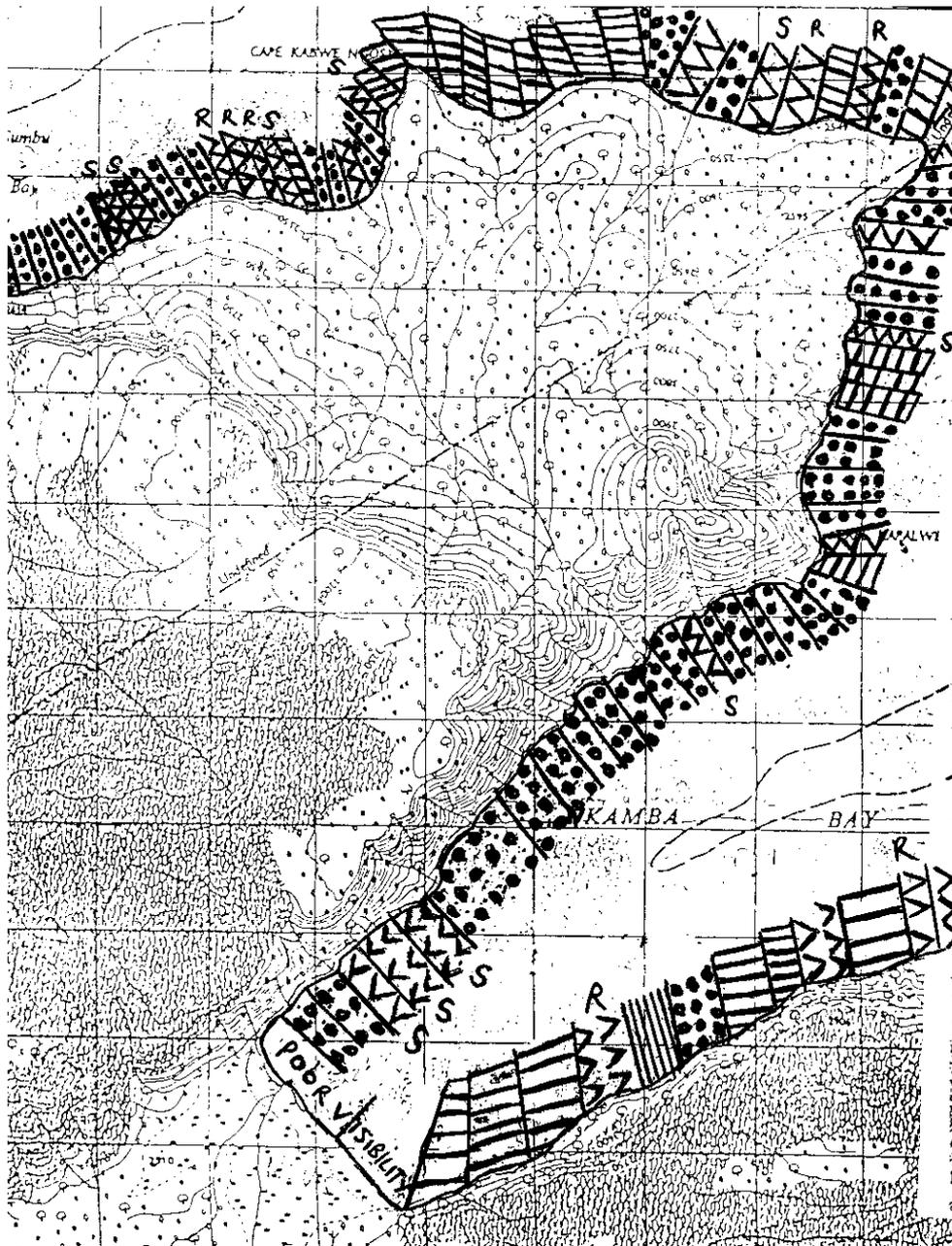


Figure 4.2 Carte des sites d'échantillonnage de ES BIO dans la région de Mahale



**Figure 4.3** Carte des sites d'échantillonnage de ESBIO dans le sud du lac.



Key to symbols	
Symbol	Substrate type
••••	Sand
	Rock
====	Gravel
VVV	Mixed

Note: where the symbol for a Mixed substrate is annotated with an S or R it indicates a Mixed Sandy or Mixed Rocky substrate respectively

Figure 4.4 Exemple de carte de terrain d'une exploration manta des habitats le long d'un tronçon de la côte zambienne dans le parc national de Nsumbu.

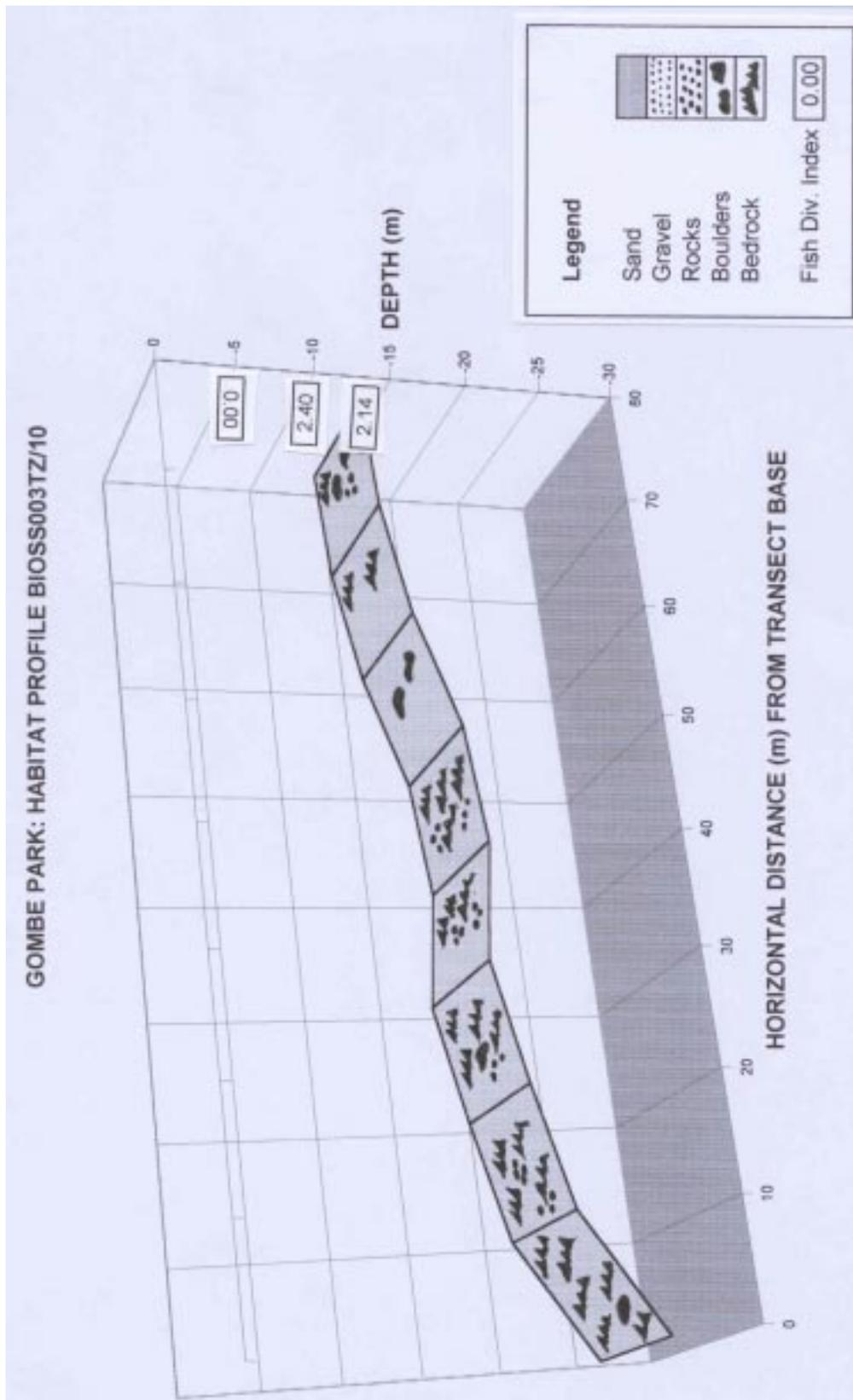


Figure 4.5 Résultats d'un profil de plongée, pris de l'exploration à Gombe.

### 4.2.3 Explorations de la diversité des poissons

Les explorations des poissons ont été utilisées comme un substitut pour des explorations de la biodiversité totale, pour donner une mesure de la valeur de conservation des zones protégées existants et potentiels. Le bien fondé de la concentration sur les poissons dans les explorations de la biodiversité est donnée dans la Section 2.5.2. Les poissons ont été explorés en utilisant les filets maillants et, là où c'était possible, des observations en plongée autonome avec SCUBA et utilisant des techniques d'inventaire visuel rapide et stationnaire (voir Chapitre 2).

Afin de fournir une base pour la comparaison de la diversité des poissons existant entre les zones, les données des explorations de poissons ont été utilisées pour calculer trois mesures de la diversité: richesse spécifique, indices de diversités de Shannon-Weiner et de Simpson.

Les erreurs d'échantillonnage (voir Sections 2.8 –2.10) associées à chacune des méthodes d'exploration (filets maillants, inventaire visuel stationnaire, inventaire visuel rapide) indiquent que les indices de diversité et les richesses spécifiques doivent être calculées séparément pour chacune des méthodes d'exploration. Les comparaisons entre les indices de diversité ont été faite seulement quand les explorations utilisées étaient comparables.

Pour SVC, les trois mesures de la diversité ont été calculée séparément pour chacune des principales catégories d'habitats (substrats rocheux dominant, sable dominant, et lits de coquilles). Les mesures de la diversité ont été calculées au sein de chaque zone de parc national, et pour de zones précises explorées en dehors des parc.

Pour les filets maillants, la richesse spécifique, les indices de diversité de Shannon-Weiner<sup>12</sup> et Simpson (voir Chapitre 2) ont été calculés séparément pour les poses de jour et de nuit, au sein de chaque zone de parc, et pour des zones précises explorées en dehors des parcs. Il a été reconnu très tôt que les filets posés pour la nuit étaient préférables parce qu'il récoltent une plus grande proportion de la communauté de poissons disponible, comprenant des poissons nocturnes non enregistrés par les autres techniques, mais les poses de filets maillants nocturnes n'ont pas toujours été possibles pour des raisons de sécurité. Pour cette raison, tous les sites explorés ne peuvent être comparés directement. Pour certains sites en Zambie, le petit nombre de répétitions de poses de filets maillants de jour et de nuit a conduit au regroupement des poses de jour et de nuit. Les indices de diversité et richesses spécifiques pour ces sites n'ont pas été comparés avec les autres où seulement les poses de filets de jour ou de nuit avaient été effectuées.

Pour RVC, seule la richesse spécifique et l'abondance relative peuvent être calculées. Des analyses séparées sont faites pour les tranches de profondeurs de 0-4m et 5-15m, mais les catégories d'habitats ne sont pas séparées puisque les transects de RVC couvraient habituellement une variété d'habitats.

Afin d'obtenir une estimation du nombre total d'espèces pour chaque zone principale d'exploration pour des analyses de complémentarité (Chapitre 5) les données de différentes méthodes d'exploration ont été combinées, mais le fait que des méthodes d'explorations comparables n'ont pas été utilisées dans toutes les zones doit être noté en faisant de telles comparaisons.

Pour les données des explorations avec SVC et les filets maillants, des comparaisons statistiques de la diversité entre zones ont été faites en utilisant les comparaisons du type t-test des indices de diversité de Shannon-Weaver (Zar, 1991), avec l'approximation de Bonferroni pour la correction de comparaisons multiples. Ceci accroît la probabilité des types d'erreurs II (défaut d'identification des différences significatives), mais garde une robustesse par rapport au type d'erreur I (trouver une différence significative quand il n'y en a pas en fait) et est ainsi statistiquement conservatoire.

<sup>12</sup> Noter que tous les indices de diversité ont été calculés en utilisant  $\text{Log}_{10}$ . Il est actuellement plus courant d'utiliser  $\text{Log}_e$ , qui tend à donner des indices  $>3$  quand il est appliqué aux données actuelles. Ceci est mentionné pour éviter toute préoccupation que les indices de diversité rapportés ici semblent être anormalement bas.

Les comparaisons permettent d'identifier si des habitats comparables, explorées avec des méthodes comparables et un effort d'échantillonnage adéquat (toutes testés dans la Section 2), ont une diversité de poissons significativement différente dans différentes parties du lac. Conscient de la possibilité d'erreurs du type II, nous n'avons pas fait toutes les combinaisons de paires de sites. Nous avons identifié les comparaisons d'un certain intérêt, et avons seulement testées celles-là. Les comparaisons faites comprennent celles entre les parcs existants ou proposés et les zones plus ou moins affectées (p. ex. le PN de Rusizi et la baie de Bujumbura), ou entre les zones où les habitats étaient similaires (p.ex. au voisinage de l'embouchure de rivières sur les côtes E et O sur le lac en Z ambie).

Certaines de ces comparaisons doivent, toutefois, être interprétées avec précaution, comme elles sont basées sur un effort variable d'échantillonnage (Magurran, 1988). Pour explorer la relation entre les indices de diversités calculés et la taille de l'échantillon, nous avons calculé les indices de diversité pour un exemple, puis ajouté des échantillons de répétition sans un ordre au hasard et recalculé l'indice, jusqu'à ce que l'échantillonnage soit terminé (càd. tous les échantillons de réplication inclus dans le calcul de l'indice de diversité). Les calculs étaient basés sur 100 prises au hasard de ce type, et étaient fait en utilisant le logiciel EstimateS (Colwell, 1997).

Les comparaisons de richesses spécifiques ont été fait en utilisant un variété d'estimateurs de la richesse à partir d'effort d'échantillonnage incomplet ou variable. Toutes ces méthodes sont basées sur des modèles théoriques sur les schémas d'abondance relative (ou de fréquence d'occurrence) d'espèces dans les réplifications d'échantillons (Coddington et Colwell, 1994). La plupart des méthodes sont applicables aux données d'abondance d'espèces, mais certaines sont aussi applicables aux données d'absence-présence d'espèces (comme les données de RVC et des transects pour mollusques). Deux de ces modèles furent utilisées pour explorer la finition de l'effort d'échantillonnage, avec le modèle de Clench qui donne probablement l'ajustement le plus réaliste pour les données observées d'espèces cumulées (Chapitre 2). Les méthodes utilisées ont été extraites de Colwell et Coddington (1994) et calculées en utilisant le logiciel EstimateS. Smax pour chaque strate d'exploration (défini par site, profondeur, substrat) est estimé à partir d'échantillons rangés au hasard, avec des estimations plus fiables produits à partir d'échantillons de plus grande taille. Ceci permet une dérivation de richesses spécifiques estimées à partir d'explorations incomplètes, même si la fiabilité de ces estimations pourra varier. Les procédures différent des courbes d'extrapolations ajustées empiriquement utilisées pour la taille de l'échantillon requis dans le Chapitre 2.

Colwell et Coddington (1994) suggèrent qu'une gamme d'estimateurs de la richesse spécifique soient utilisées, jusqu'à ce qu'on en sache plus à propos de la performance de chacune dans des circonstances spécifiques (p. ex. à partir de l'évaluation de la performance des estimations par rapport à une zone bien échantillonnée et bien connue. Henderson et Southwood (2000) suggèrent que l'estimateur basé sur l'incidence de Chao (ICE, détaillé plus bas) est en train d'émerger comme une mesure robuste et d'un bon rapport coût efficacité pour les explorations de poissons.

Les mesures suivantes furent utilisées pour SVC et les filets maillants:

1) Le modèle de Michaelis-Menton (MM).

$$S(N) = \frac{S_{max} N}{B + N};$$

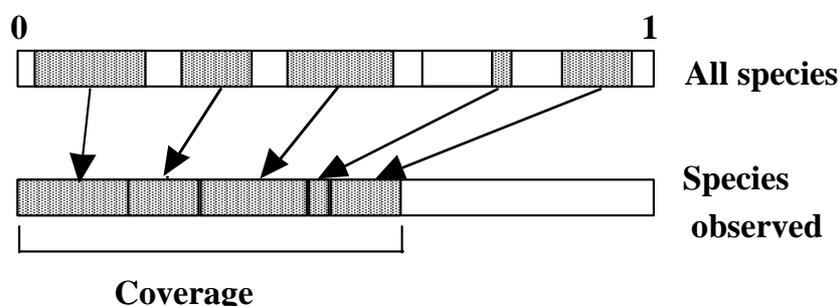
où  $S(N)$  = nombre d'espèces dans chaque événement d'échantillonnage  
 $S_{max}$  = richesse spécifique estimée (une constante ajustée)  
 $B$  = une constante ajustée  
 $N$  = nombre d'événement d'échantillonnage

Cette courbe asymptotique cumulée est équivalente mathématiquement au modèle de Clench (voir Chapitre 2) et est bien connue comme l'équation de Michaelis-Menton utilisé

dans les cinétiques enzymatiques et il y a ainsi plusieurs moyens d'estimer les paramètres et les erreurs statistiques. Pour cette analyse, nous avons utilisé un estimateur du maximum vraisemblable (voir Colwell et Coddington, 1994). Le logiciel EstimateS offre deux méthodes pour le calcul des estimations du maximum vraisemblable de  $S_{max}$ . La première méthode (MMRuns) calcule les estimations pour des valeurs de chacun des groupes successifs d'échantillons (niveau de regroupement) pour chaque série de prises au hasard, puis les moyennes avec les prises au hasard. S'il y a un échantillon individuel qui est plus riche que d'autres, la prise au hasard prend celui-là et, par chance, ajoute un échantillon riche tôt dans la courbe qui produit une estimation très élevée de la richesse spécifique. Ainsi les données de MMRuns sont souvent plutôt erratiques pour de petits nombres d'échantillons, même avec 100 prises au hasard. La deuxième méthode (MMMeans) calcule les estimations par niveau de regroupement d'échantillons juste une fois, à partir des courbes moyennes d'espèces cumulées. Dès que cette courbe devient assez lisse quand plusieurs prises au hasard sont effectuées, les estimations de MM sont beaucoup moins erratiques. Parce que les résultats les plus « périphériques » sont ainsi supprimés, les estimations de MMMeans sont habituellement plus basses que celles des méthodes MMRuns, pour des niveaux correspondants de regroupements d'échantillons, spécialement pour des échantillons de petites tailles (Colwell, 1997). Le choix, pour des petites tailles d'échantillons, est ainsi une sous-estimation systématique douce, et une estimation erratique mais non biaisée! Nous incluons toutes ces méthodes pour cette analyse.

2) ACE et ICE: Estimateurs de Couverture basés sur l'Abondance et l'Incidence (Chao and Lee, 1992; Colwell and Coddington, 1994; Colwell, 1997)

Chao et Lee (1992) ont développé une nouvelle classe d'estimateurs basés sur le concept statistique de la « couverture de l'échantillon ». La couverture est la somme des probabilités pour des espèces rencontrées, prenant en compte des espèces présents mais non observées. Ceci peut être illustré graphiquement (Figure 4.6) comme une unité de ligne brisée en S segments, la longueur de chaque segment représentant la vraie proportion formée par une des S espèces trouvées dans l'ensemble des échantillons (Colwell, 1997).



**Figure 4.6** Les principes théoriques derrière les estimateurs basés sur la couverture de la richesse spécifique. Les segments ombragés représentent les espèces échantillonnées, qui représenteront seulement une partie du nombre total des espèces présentes. La somme de ces segments est la couverture (pris de Colwell, 1997).

Ces estimateurs basés sur la couverture, connus dans la littérature comme 'Chao1' et 'Chao2' se sont avérés comme surestimant toujours la richesse spécifique, surtout quand les nombres d'échantillons étaient faibles (Colwell et Coddington, 1994). Ceci est dû au fait que beaucoup d'échantillons de richesses spécifiques contiennent des données dans lesquels certaines espèces sont très communes et d'autres sont très rares. Reconnaisant que dans de tels cas toute l'information utile à propos des classes non découvertes repose sur les classes rares et non découvertes, le nouvel estimateur de couverture basé sur l'abondance (ACE) se base sur ces espèces avec 10 ou moins d'*individus dans l'échantillon*. L'estimateur de couverture correspondant basé sur l'incidence (ICE) est basé sur les espèces apparaissant dans 10 *échantillons unitaires* ou moins. Les formules pour ces estimateurs

sont plutôt complexes, et le lecteur peut se référer à Colwell (1997: 18-20) pour plus d'explications.

### 3) Estimations de Jackknife (Jack1, Jack2) et de Bootstrap (Boot) basées sur l'incidence

Les estimations de la richesse spécifique peuvent être faites en utilisant des approches statistiques non paramétriques connues sous le terme de "jackknifing" et de "bootstrapping" (Smith et van Belle, 1984).

L'estimateur « jackknife » de premier ordre basé sur l'incidence utilise le nombre d'espèces qui apparaissent dans un seul événement d'échantillonnage ( $Q_1$ ) et le nombre d'événement d'échantillonnages ( $N$ ) pour estimer la richesse spécifique ( $S_{max}$ )

$$S_{max} = S_{obs} + Q_1 \left( \frac{N-1}{N} \right)$$

alors que le « jackknife » de deuxième ordre inclut aussi le nombre d'espèces qui apparaissent dans deux échantillons ( $Q_2$ ):

$$S_{max} = S_{obs} + \left( \frac{Q_1(2N-3)}{N} - \frac{Q_2(N-2)^2}{N(N-1)} \right)$$

L'estimateur « bootstrap » utilise la proportion des événements d'échantillonnage ( $N$ ) qui contiennent chacune de  $k$  espèces ( $p_k$ ) représentées dans tout le groupe d'échantillons (p. ex. Mahale rocheux).

$$S_{max} = S_{obs} + \sum_{k=1}^{S_{obs}} (1 - p_k)^N$$

Pour les explorations de poissons avec les filets maillants et SVC, tous les sept estimateurs ci-dessus (MMRuns, MMMean, ACE, ICE, Jack1, Jack2, Boot) de la richesse spécifique totale ( $S_{max}$ ) ont été calculés pour chacune des strates d'échantillonnage (zone, combinaison de substrats pour SVC; zone, temps de pose pour les filets maillants), basés sur 100 prises au hasard des données originales d'abondance d'espèces et d'incidence. Ces estimations de richesse peuvent être comparées avec les listes totales d'espèces générées à partir des bases de données de littérature et d'explorations combinées (Chapitre 3).

Pour les données de RVC, où il n'y a pas de données d'abondance relative, seules quatre des estimateurs basés sur l'incidence ont été utilisés: ICE, Jack1, Jack2 et Boot.

L'effet de la taille de l'échantillon sur ces estimations est illustré pour un sous-échantillon des analyses ci-dessus.

Il devrait être noté que les courbes de raréfaction et les courbes de Coleman (utilisées dans le Chapitre 2 comme une mesure préliminaire de l'hétérogénéité des échantillons) ne sont pas des estimateurs de richesse dans le même sens que les estimateurs présentés ci-dessus. Alors que ICE et ACE, par exemple, estime la richesse spécifique totale à partir d'échantillons, y compris les espèces non découvertes dans les échantillons, les courbes de raréfaction et de Coleman estiment la richesse spécifique d'échantillons individuels à partir de la richesse spécifique d'espèces totales regroupées, basées sur toutes les espèces réellement découvertes (Colwell, 1997).

Il n'y a pas de méthodes statistiques formellement satisfaisantes pour comparer les estimations de richesses spécifiques de différentes zones, vues les incertitudes à propos de

l'estimateur qui est le plus applicable, et les propriétés statistiques inconnues de certains des estimateurs et leurs variances (Colwell et Coddington, 1994; Southwood et Henderson, 2000). Nous limitons ainsi de telles comparaisons à une observation visuelle des gammes de valeurs produites par ces estimateurs pour les zones explorées.

#### **4.2.4 Richesse spécifique des mollusques**

Dans un effort d'étendre l'envergure des explorations de la biodiversité, essentiellement limitées aux communautés de poissons, des explorations préliminaires de la richesse spécifique des mollusques ont été entrepris dans tous les parcs nationaux et dans la baie Cameron en Zambie, tous les sites en RD Congo, Gitaza au Burundi et autour de Kigoma (voir Tabel 4.1). Pour Nsumbu et Rusizi, seules des données d'explorations avec une drague étaient disponibles, tandis que pour Gombe et Mahale, seules des données d'explorations en plongées étaient disponibles. Les données disponibles pour l'analyse viennent des explorations en plongée à Gitaza, en RD Congo et au Parc National de Mahale (voir Chapitre 2).

Les calculs et les comparaisons de richesses spécifiques ont été faites en utilisant les quatre estimateurs d'incidence basés sur la richesse (ICE, Jack1, Jack2 et Boot) détaillés dans la section 4.2.3, calculés en utilisant le logiciel 'EstimateS' (Colwell, 1997)

### **4.3 Résultats**

#### **4.3.1 Caractéristiques des habitats aquatiques littoraux**

Le rapport présente une revue des activités de cartographie approfondie entreprises par ESBIO. Des rapports plus détaillés sur l'habitat sont donnés dans chacun des rapports spécifiques sur les aires (voir Annexe 8.1 pour la liste des documents ESBIO).

Pour tenter de conserver des espèces in situ, il est fondamental que des efforts soient fait pour conserver les habitats dans lesquels elles sont trouvées. Dans une stratégie centrée sur les aires protégées, la nécessité de base est que chaque type d'habitat identifié, avec son association d'espèces caractéristiques, devrait être représenté dans le réseau d'aires protégées.

La distribution des biotopes d'habitats est aussi importante pour la conservation. De longues bandes d'habitats homogènes permettent les échanges d'espèces à l'intérieur de larges zones géographiques, alors que des zones composées d'une mosaïque de petits fragments d'habitats différents limite les échanges entre habitats similaires proches mais séparés par d'autres types d'habitats. Des longues bandes de côtes rocheuses peuvent supporter diverses associations d'espèces, mais la composition de la communauté peut être similaire le long de toute la bande de côte, alors qu'une côte consistant en des crêtes rocheuses séparées par des baies sablonneuses peut supporter un nombre de petites communautés d'espèces avec des distributions géographiques très limitées (Brichard, 1989 et Cohen, 2000).

Ainsi, pour les objectifs de la conservation, les caractéristiques pertinents de l'habitat sont la représentation, la distribution et la qualité. Nos exercices de cartographie se sont concentrés sur les deux premières, comme la qualité de l'habitat est difficile à évaluer dans le cadre des possibilités des explorations de ESBIO. Les questions de la qualité de l'habitat ont été analysées dans le cadre d'autres études spéciales (Sédiments et Pollution), et auraient idéalement du être intégrées dans les explorations de ESBIO, mais les approches différentes prises par chaque étude spéciale n'ont pas permis ce niveau d'intégration. Les explorations n'ont pas pris en compte des caractéristiques évidentes de la qualité des habitats (p. ex. les sédiments recouvrant les roches, la turbidité, les principales sources de pollution, etc.), mais il n'y a pas de mesures formelles de la turbidité ou sur la présence de contaminants.

La Table 4.2 indique la proportion pour chaque type d'habitat enregistré dans la zone littorale peu profonde (approximativement 2 à 10 m) adjacente aux zones protégées existantes. Dans trois des parcs ( Mahale, Gombe, Nsumbu), tous les principaux types d'habitat (sablonneux, rocheux, sablonneux/rocheux mixte) étaient bien représentés. Mahale et Nsumbu sont clairement dominés par des substrats rocheux et rocheux mixtes, alors qu'à Gombe il y a une

prédominance de l'habitat sablonneux. Dans tous les trois parcs, la majorité des ces habitats se sont révélés être relativement vierges. Des habitats spécialisés (lits de coquilles, souches de macrophytes émergents, récifs de stromatolites) sont aussi représentés dans les zones aquatiques adjacentes aux parcs nationaux. De très vastes lits de coquilles ont été identifiés dans la partie sud du Parc National de Mahale en Tanzanie et dans la partie nord ouest du Parc National de Nsumbu en Zambie. Des récifs de stromatolites sont aussi trouvées à la fois près des limites nord et sud de Mahale. Les macrophytes submergés apparaissent par petits paquets sur les substrats sablonneux à Nsumbu, Mahale et Gombe.

Même s'il contient une gamme plus limitée d'habitats, le Parc National de Rusizi est particulièrement important, parce qu'il comprend des habitats qui ne sont pas bien représentés ailleurs dans le réseau d'aires protégées, comprenant: de larges bandes de macrophytes émergents, un delta d'une rivière importante avec ses substrats vaseux associés et ses eaux troubles et riches en nutriments. Des habitats similaires sont à trouver dans un autre large delta, où la rivière Malagarazi entre dans le lac Tanganyika sur la côte tanzanienne.

Les autres zones où les explorations ont été effectuées avec la technique manta avaient des types de substrats largement similaires à ceux trouvés dans les zones adjacentes aux parcs nationaux. Ainsi, du point de vue des habitats, étendre le réseau des parcs pour les inclure apporterait peu à la gamme des types d'habitats protégés, même si cela permettrait en effet de conserver les espèces à l'intérieur de ces zones. Ceci est particulièrement le cas pour Nsumbu, où l'extension du parc pour couvrir les deltas des rivières qui constituent les limites actuelles du parc (Lufubu et Chisala) peut augmenter de manière significative les espèces représentées dans le parc (voir Section 4.2.2).

**Table 4.2 La proportion de chacun des principaux types substrats enregistrés dans les explorations avec la planche Manta dans les eaux adjacentes aux parcs nationaux, en kilomètres et en pourcentage de la côte dans l'aire protégée.**

Zone explorée *	Type de Substrat											
	Rocheux		Gravier		Sablonneux		Mixte		Rocheux Mixte		Sablonneux Mixte	
	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)	(%)
Gombe	4.8	24.5	-	-	10.7	54.9	4	20.5	-	-	-	-
Mahale	25.2	42	0.6	1	12	20	12.6	21	6	10	3.6	6
Nsumbu	34	44	1	1	18	23	2	3	13	17	9	12
Autres zones	64	40.9	1.6	1	40.7	26	18.6	11.9	19	12.1	12.6	8.1

\*Due à la mauvaise visibilité et à la densité des crocodiles et des hippopotames, le Parc National de Rusizi n'a pas été exploré avec la technique de la planche Manta. Toutefois, des explorations ultérieures pour les mollusques avec une drague ont confirmées que les substrats mous (sable, vase, boue) dominant.

Alors que les explorations avec planche Manta des eaux peut profondes de la zone littorale indiquent que tous les types d'habitats côtiers étaient présents à l'intérieur des aires protégées existantes, ces explorations donnent peu d'indications sur la distribution des types d'habitats en eau plus profonde. En eau profonde il y a moins de caractéristiques structurant l'habitat (la végétation émergente, les macrophytes submergés et les stromatolites vont tous disparaître), alors que les différentes combinaisons de roches et de sable et le profil bathymétrique vont tous affecter la structure des communautés biologiques.

Une synthèse des profils de plongées dans le Parc National de Mahale (Table 4.3) indique que même si les substrats durs font plus de 80% des la zone explorée à 5 m de profondeur, ils ne font plus que 7% de la zone explorée à 25 m. Des fragments de côtes qui sont classés par les explorations Manta comme étant rocheux ne peuvent donc pas être classés de la même manière à plus grande profondeur. Ceci est aussi vrai pour Gombe, où une zone littorale mixte faite surtout de pavés cède la place à des pentes raides sablonneuses. Les plongées profondes en dehors du programme d'exploration ont établies qu'en dessous de ces pentes sablonneuses, à >40m de profondeur, il y a des zones en pente raide avec une roche mère fortement calcifiée.

**Table 4.3 Composition des substrats selon la profondeur pour les 11 sites dans le PN de Mahale, en Tanzanie, pour lesquels des profils d'habitats complets ont été enregistrés.**

Profondeur	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m
<b>Substrat (%)</b>					
Roche mère	5.5	0	0	0	0.5
Gros blocs	47	41.5	20	14	2
Moellons	28.5	32	22	14	4
Gravier	0	0.5	3	0.5	0.5
Sable	19	26	55	71	93

A Nsumbu, où les profils d'habitats profonds ont été fait par échantillonnage avec un grappin à cause du risque constitué par les crocodiles, les indications sont que les profils de profondeurs sont plus uniformes, avec des zones ayant des substrats mous en eau peu profonde ayant aussi des substrats mous en profondeur, et la même chose pour des zones rocheuses.

Les zones autour de l'extrême nord du lac – Uvira, Rusizi et la baie de Bujumbura – ont presque toutes des substrats essentiellement mous, même si dans le littoral peu profond (0-2m) autour d'Uvira, on peut trouver des zones avec des substrats de moellons et de gros rochers. Les substrats de cette zone sont caractéristiques de zones autour de deltas de rivières, et dans ce cas sont fortement influencées par le cône de sédimentation de la rivière Rusizi. Plus au Sud à la fois sur la côte burundaise et congolaise (Burundi Sud, Gitaza, Pemba, Bangwe, Luhanga) le lit du lac dans la zone littorale devient plus rocheux. A Luhanga, les substrats sont de la roche mère à 80-90% sur toutes les profondeurs de 0 à 25 m, alors qu'à Pemba, la roche mère cède la place à de gros rochers dans les échantillons plus profonds.

Quand on examine la distribution des principaux types d'habitats à l'intérieur es grandes zones explorées (p. ex. les 4 cartes, qui couvrent toutes la côte de Mahale, la Figure 4.7 et la Figure 4.8<sup>13</sup>), le schéma de cette irrégularité sur une plus grande échelle peut être décrit.

<sup>13</sup> Ces cartes ont été produites aimablement par Anne Jackson (NRI) en utilisant le lien entre la base de données de ESBIO et TANGIS. Elles illustrent les potentialités de ces outils de gestion pour aider à la planification et à la conservation dans le lac.

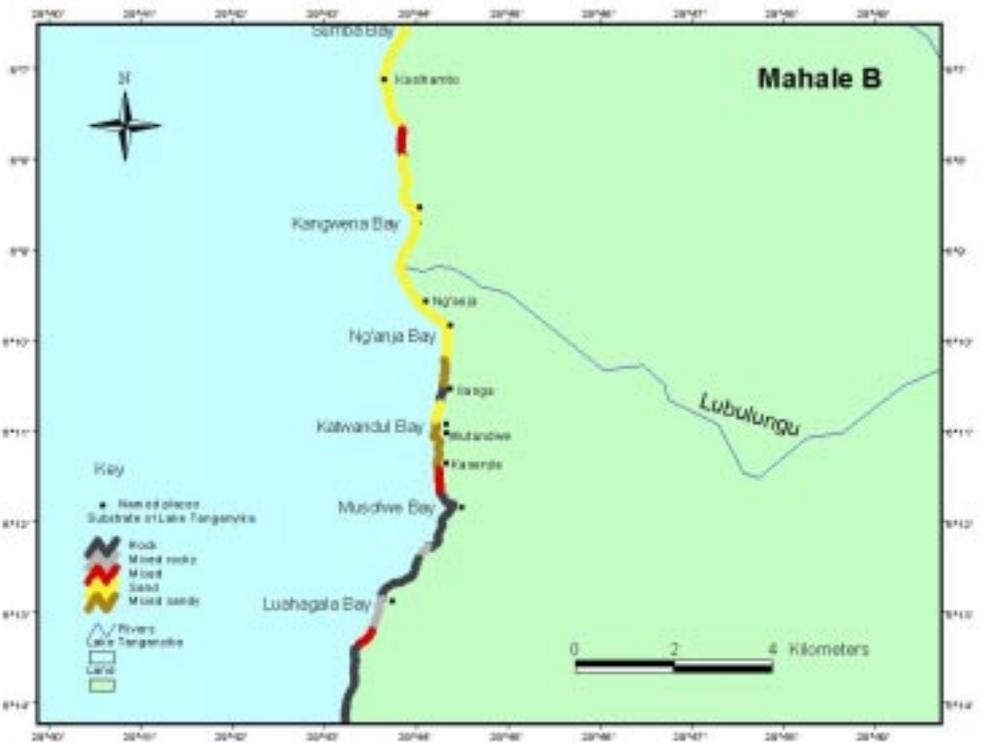
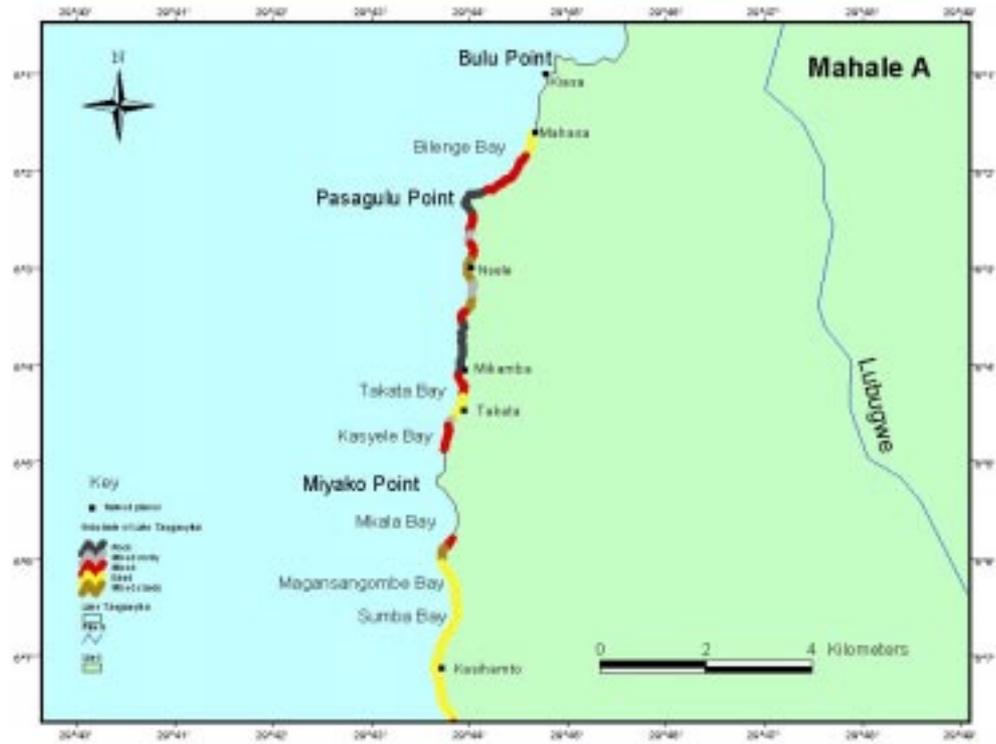


Figure 4.7 Catégories des substrats de la zone littorale à partir des avec la planche Manta dans le P N de Mahale (carte A et B)

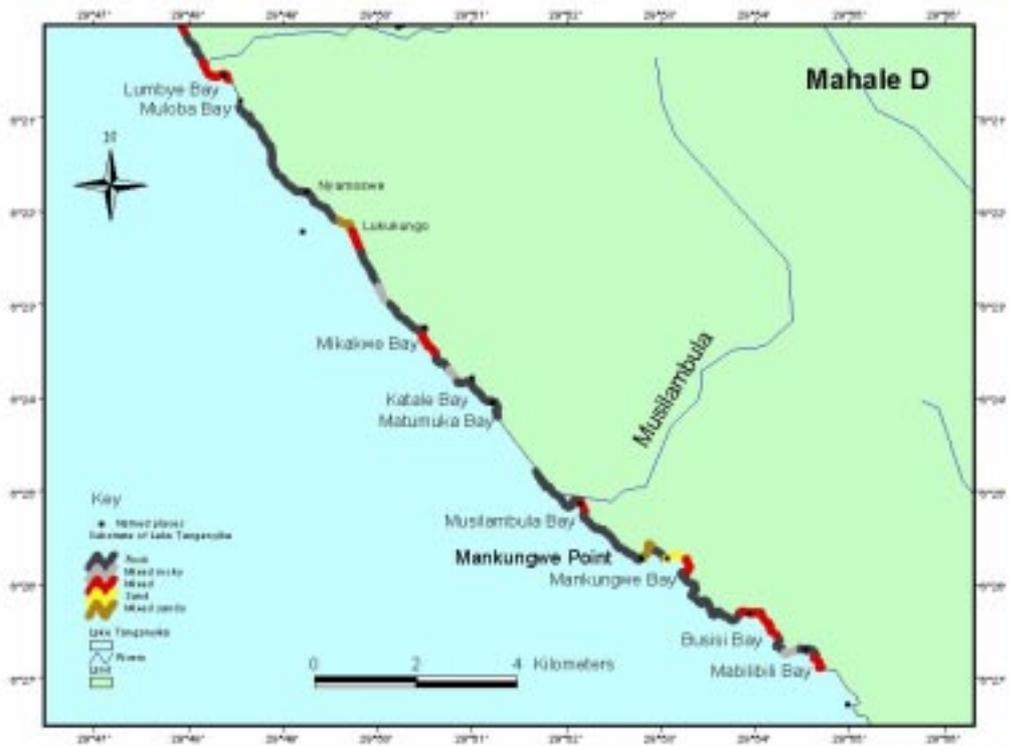


Figure 4.8 Catégories des substrats de la zone littorale à partir des avec la planche Manta dans le P N de Mahale (cartes C et D)

A Mahale, par exemple, il y a une longue zone sablonneuse, relativement non interrompue, autour de la rivière Lubulungu et une longue zone rocheuse entre la baie Luahagala (carte B: Figure 4.7) et le point Luahagala (carte C: Figure 4.8). Ailleurs, les substrats rocheux, mixtes et sablonneux alternent sur de courts segments de la côte. C'est cette mosaïque de tronçons d'habitats dont on pense qu'elle forme des barrières à la dispersion des espèces, ainsi les conditions pour la spéciation micro-allopatrique au sein des cichlidés dont on pense qu'ils maintiennent les hauts niveaux de diversité et de taxa limités dans l'espace, soit à un niveau spécifique, sub-spécifique ou de sous-population (Cohen 2000, West 1997, et Cohen et Johnston, 1987).

Ce qui a manqué dans les explorations actuelles, sont les analyses rigoureuses de la qualité de l'habitat pour des raisons expliquées ailleurs. Une inspection subjective visuelle a déterminé que les habitats explorés dans les aires protégées existantes étaient en général vierges et qu'il y avait peu d'indications de perturbations d'origine humaine. A Gombe, Mahale et Nsumbu, la plus grande partie des terrains adjacents étaient couverts de forêts naturelles, et il n'y avait de signe évident de dépôts excessifs de sédiments, quoique, avec la petite taille de Gombe, des influences provenant des bassins versants avec une certaine déforestation peuvent se faire sentir sur les frontières du parc. Il n'y avait pas de signes d'eutrophisation ou de sources visibles de pollution, à part une quantité limitée provenant de campements touristiques et administratifs dans les parcs. Une évaluation plus exacte de l'état des habitats aquatiques aurait demandé toutefois des observations directes, des mesures de la turbidité et des analyses de la qualité de l'eau, de même qu'une comparaison avec des zones connues pour être affectées. Le lien entre la qualité de l'habitat avec ses impacts sur la biodiversité demeure un défi pour des habitats de cette complexité, et pour des communautés ayant de si hauts degrés de diversité et des distributions aussi irrégulières.

#### **4.3.2 Indices de diversité à partir des explorations avec les filets maillants et des inventaires visuels stationnaires.**

Les techniques d'exploration avec les filets maillants et l'inventaire visuel stationnaire fournissent toutes des données d'abondance relative des espèces appropriées pour le calcul des niveaux de diversité standard, comme les indices de Shannon-Weaver et Simpson.

Les indices de diversité de Shannon-Weaver calculés sur base des données des explorations avec les filets maillants s'échelonnent de 0.87 à 1.50 (Table 4.4). La valeur la plus élevée vient des poses de filets maillants de nuit à Mahale et Nsumbu, et les plus basses viennent des poses de filets de jour en R D Congo. La gamme des valeurs est assez faible, en partie parce les calculs utilisent  $\text{Log}_{10}$ , au lieu du  $\text{Log}_e$  plus habituel. Même si les différences dans les indices de biodiversité sont petites, les variances calculées sont aussi petites, due aux tailles d'échantillons relativement grandes. Noter que le calcul des indices de diversité d'échantillons individuels et le calcul de la moyenne des valeurs individuelles pour obtenir un moyenne et une erreur standard pour une zone plus large n'est pas valide, parce que les indices de diversité ne sont pas des variables numériques à distribution normale, mais en fait des sommes pondérées de distributions de fréquences.

Les indices de Simpson varient de 3.5 à 26.1, les valeurs les plus élevées venant aussi des Parcs Nationaux de Mahale et Nsumbu (Table 4.4) et les plus basses des sites de la R D Congo. En général, les deux indices de diversité montrent un même ordre de diversité parmi les sites, indiquant que l'un ou l'autre peut être utilisé comme un indicateur général de la diversité relative. L'avantage de l'indice de Shannon-Weaver est qu'il y a une procédure statistique validée pour tester les différences entre les indices (Zar, 1996). Le test est limité à des comparaisons par paires, qui peuvent conduire à des erreurs de type II (élévation de la probabilité d'un rejet incorrect de l'hypothèse nulle de différences non significatives, le plus de comparaisons par paires sont faites parmi un groupe d'échantillons). Ceci est minimisé en ajustant le niveau de signification pour chaque comparaison par paire par le nombre des comparaisons faites au sein de chaque ensemble d'échantillons (l'approximation de Bonferroni). Les résultats de cette analyse sont présentés dans la Table 4.5.

**Table 4.4 Richesse spécifique et indices de diversité à partir des explorations avec les filets maillants**

Pays	Localité	Poses (N)	S <sub>obs</sub>	n	Shannon H'	Variance (H')	Simpson 1/D
<b>Poses de jour</b>							
Burundi	Rusizi	23	45	1087	1.249	0.00023	11.49
Burundi	Baie de Bujumbura	12	44	4425	1.266	0.00004	13.08
R D Congo	Uvira	24	36	1115	0.872	0.00035	4.32
R D Congo	Pemba/Luhanga/Bangwe	10	38	322	0.965	0.00182	3.45
Tanzanie	Gombe	13	46	659	1.188	0.00047	9.15
Zambie	Baie Cameron	3	40	274	1.385	0.00056	17.80
Zambie	Nsumbu NP	16	71	2460	1.398	0.00010	16.04
<b>Poses de nuit</b>							
Burundi	Rusizi	18	56	1019	1.405	0.00021	17.45
Tanzanie	Mahale NP	20	99	2190	1.629	0.00011	26.21
Zambie	Zone de Mpulungu	27	57	2600	1.173	0.00014	7.55
Zambie	Kalambo et Lunzua	12	53	1044	1.223	0.00035	8.38
Zambie	Chikonde	6	44	469	1.312	0.00041	14.21
Zambie	Lufubu et Chisala	16	86	2154	1.354	0.00010	11.29
Zambie	Nsumbu NP	18	70	1829	1.424	0.00018	13.72
Zambie	Katoto, Kasakalawe, Kapembwa	9	54	544	1.428	0.00039	18.00
<b>Jour et nuit combinées</b>							
Zambie	Mpulungu	30	59	3481	1.121	0.00011	7.03
Zambie	Kalambo et Lunzua	15	54	1077	1.246	0.00034	8.75
Zambie	Nsumbu NP	66	96	4289	1.497	0.09545	18.28
Zambie	Chikonde	8	49	795	1.376	0.00028	15.29
Zambie	Katoto, Kasakalawe, Kapembwa	11	57	670	1.421	0.00033	17.65
Poses = nombre de poses de filets standards de 60 m, S <sub>obs</sub> = nombre total d'espèces enregistrées (une mesure de la richesse spécifique), n = nombre total de poissons échantillonnés.							

Des tests à deux volets sont utilisés pour la plupart des comparaisons dans la Table 4.5, où l'hypothèse est que les sites diffèrent dans leur diversité. Pour les comparaisons jour / nuit, l'analyse des données suggère que les échantillons de jour sont moins diversifiés, et ceci est testé avec un test-t à un volet. Un t-test à un volet est aussi utilisé pour une comparaison entre des sites adjacents affectés et non affectés, avec l'hypothèse que les sites non affectés ont une biodiversité plus élevée.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de ces comparaisons des indices de diversité basés sur l'analyse des captures aux filets maillants (Table 4.4 et Table 4.5):

- Les indices de diversité pour les deux zones où des comparaisons jour/nuit adéquats sont disponibles ( PN de Nsumbu NP en Zambie et en face du PN de Rusizi au Burundi) sont plus hautes de manière significatives pour les échantillons de nuit. Ceci est conforté par la richesse spécifique dans le cas de Rusizi, mais pas pour Nsumbu, où un effort d'échantillonnage comparable de jour et de nuit a récolté 70 espèces de nuit et 72 espèces de jour.
- La comparaison des indices de diversité de SW pour la faune des poissons dans les parcs nationaux existants indique que, pour les filets maillants de nuit, des différences significatives dans les indices de diversité de SW existent entre les trois parcs pour lesquels les données sont disponibles (Mahale > Nsumbu > Rusizi). Avec les données des filets de jour, Nsumbu>Rusizi>Gombe, même si Rusizi et Gombe ont des richesses spécifiques similaires (respectivement 45 et 46 espèces).

**Table 4.5 Comparaisons par paires ajustées de Bonferroni (t-tests) entre les indices de diversité de Shannon-Weaver diversity pour les poissons récoltés avec les filets maillants (de la Table 4.4)**

<b>Comparisons par paires- Filets maillants de nuit</b>							
<i>Site 1</i>	<i>Site 2</i>	<i>d.l</i>	<i>t</i>	<i>Niv. Prob</i>	<i>t critique (2-volets)</i>	<i>Niv. Sign</i>	<i>Sign?</i>
<b>1) Parcs Nationaux</b>							
Rusizi	Nsumbu	18	-3.245	0.0167	2.878	0.01	O
Rusizi	Mahale	198	-22.708	0.0167	2.602	0.001	O
Nsumbu	Mahale	189	-25.494	0.0167	2.602	0.001	O
<b>2) Rivières zambienne, côtes E et O</b>							
Kalambo/Lunzua	Lufubu/Chisala	501	-8.338	0.05	1.965	0.001	O
<b>3) Non affecté/affecté, Zambie</b>							
Katoto, etc	Mpulungu	216	16.215	0.05	1.653	0.0005	O

<b>Comparisons par paires – même sites, jour/nuit</b>							
<i>Site 1</i>	<i>Site 2</i>	<i>d.l</i>	<i>t</i>	<i>Niv. Prob</i>	<i>t critique (2-volets)</i>	<i>Niv. Sign</i>	<i>Sign?</i>
Rusizi jour	Rusizi nuit	4	-36.455	0.05	2.353	0.0001	O
Nsumbu jour	Nsumbu nuit	253	-3.054	0.05	1.651	0.0025	O

<b>Comparisons par paires, filets de jour</b>							
<i>Site 1</i>	<i>Site 2</i>	<i>d.l</i>	<i>t</i>	<i>Niv. Prob</i>	<i>t critique (2-volets)</i>	<i>Niv. Sign</i>	<i>Sign?</i>
<b>1) Parcs nationaux</b>							
Gombe	Rusizi	158	-3.926	0.0167	2.607	0.01	O
Nsumbu	Rusizi	298	-5.551	0.0167	2.592	0.01	O
Nsumbu	Gombe	400	-3.205	0.0167	2.588	0.01	O
<b>2) Non affectés/affectés, Congo et Burundi</b>							
Pemba, etc	Uvira	209	2.430	0.05	1.653	0.01	O
Rusizi	Bujumbura	703	-1.227	0.05	1.647	0.20	N

d.l. = degrés de liberté, voir Chapitre 2 à propos de l'équation pour le calcul  
t = valeur calculée pour la distribution de t-student  
Niv. Prob = niveau de signification ajusté de Bonferroni auquel les comparaisons individuelles sont faites, le niveau de signification total de 0.05 est maintenu.  
Niv. Sign = niveau de signification pour t calculé (à partir des tables de distribution t )  
Sign? = décision faite sur la signification; O = oui, N = non. La comparaison est prise comme significative si Niv. Sign. > Niv. Prob. (ajusté de Bonferroni ).

- Les échantillons des filets maillants de nuit provenant de la zone du port de Mpulungu en Zambie, affectée par la pollution, avaient des indices de diversité significativement plus bas que ceux provenant des zones adjacentes (Katoto, etc), même si des nombres similaires d'espèces étaient enregistrés dans les deux séries de captures (57 pour Mpulungu; 54 pour Katoto etc.). La comparaison des richesses spécifiques est, toutefois, perturbée par des tailles d'échantillons inégales (27 poses de filets pour Mpulungu; 9 pour Katoto etc.).
- Les échantillons aux filets maillants pris près de l'embouchure des rivières adjacentes au PN de Nsumbu (Lufubu and Chisala) avaient des richesses spécifiques et des indices de diversité plus élevés que ceux des rivières entrant dans le lac de la partie Est du bassin zambien (zones de Kalambo et Lunzua). La différence entre les richesses spécifiques est marquée (86 spp pour Lufubu et Chisala contre 53 pour Kalambo et Lunzua).
- Les échantillons des filets maillants de jour des paires de sites affectés et moins affectés montrent des différences significatives (indice de diversité de SW à Pemba-Luhanga > Uvira), mais sont basés sur des tailles d'échantillons très limitées. Les indices de diversité pour Rusizi et la baie de Bujumbura ne montrent pas de différence significatives.

Les mêmes analyses pour les données venant des inventaires stationnaires visuels donnent des schémas largement comparables mais, en général, des valeurs légèrement plus basses. Les indices de diversité de Shannon-Weaver diversity vont de 0.23 à 2.53, mais ces deux valeurs – pour les substrats Pemba, Bangwe, Luhanga (Congo) et la baie de Cameron (Zambie) – sont les plus isolées. Le premier est vraisemblablement un sous-estimation due à la petite taille de l'échantillon ( $N=2$ ), le dernier est probablement dû à la rencontre d'un grand banc d'une espèce unique de poissons durant les activités d'exploration.

Les deux indices de diversité sont connus pour être plus sensibles à la présence de grands nombres d'individus pour quelques espèces que pour de petits nombres d'individus de plusieurs espèces (Magurran, 1988). Il est évident dans le fait que les espèces représentées dans les échantillons par un seul individu ne contribuent pas à la somme des fréquences utilisées pour calculer ces indices, parce que  $\text{Log}(1) = 0$ . Cette erreur peut compter pour la valeur inhabituellement élevée de l'indice de diversité pour l'échantillon de la baie de Cameron (Sable), où un grand banc de *Stolothrissa tanganyicae* a été rencontré au cours de explorations (Table 4.6). Typiquement, de telles espèces "vagabondes" sont exclues des explorations de ce type.

**Table 4.6 Richesse spécifique et indices de diversité à partir des explorations par inventaires visuels stationnaires**

	Localité	1.1.1.1.1	Événements d'échantillonnage (N)	n	S <sub>obs</sub>	Indices de Diversité		
						Shannon H'	Variance (H')	Simpson 1/D
Burundi	Burundi Sud	Roche	3	426	22	1.117	0.00034	9.741
	Burundi Sud	Sable	4	429	6	0.447	0.00049	1.947
	Gitaza	Roche	3	1143	26	1.031	0.00024	6.245
RD Congo	Pemba, Luhanga, Bangwe	Roche	21	5128	61	1.115	0.00010	5.508
	Pemba, Luhanga, Bangwe	Sable	2	45	4	0.229	0.00411	1.319
	Uvira	Roche	4	160	21	1.127	0.00096	9.467
	Uvira	Sable	21	1643	34	0.857	0.00024	4.141
Tanzanie	Gombe	Roche	13	9795	54	1.129	0.00003	7.880
	Gombe	Sable	18	5957	55	1.075	0.00006	6.567
	Kigoma	Roche	9	446	26	1.061	0.00049	7.897
	Kigoma	Sable	3	153	9	0.678	0.00097	3.681
	Mahale	Roche	25	5139	82	1.470	0.00006	14.355
	Mahale	Sable	19	65	59	1.210	0.00012	8.109
	Mahale	Coquilles	2	3188	4	0.587	0.00018	3.756
Zambie	Baie Cameron	Rocheux	4	780	42	1.191	0.00043	8.364
	Bay Cameron	Sable	2	11046	5	2.587	0.00128	1.008
	Katoto etc	Rocheux	10	1697	71	1.133	0.00032	6.861
	Katoto etc	Sable	5	630	28	0.918	0.00051	5.033

Événements d'échantillonnage = nombre d'observations effectuées par SVC  
S<sub>obs</sub> = nombre total d'espèces enregistrées (une mesure de la richesse spécifique)  
n = nombre total de poissons récoltés.

Les valeurs pour l'indice de Simpson vont de 1.0 pour la baie de Cameron (sable) à 14.4 pour Mahale (roche). La valeur la plus basse pour l'indice de Simpson (D) est pour les données que le plus grand indice de Shannon-Weaver, mais cette valeur est isolée, pour les raisons données plus haut. A part ce site, les deux indices rangent les autres sites dans un même ordre de diversité.

Les comparaisons par paires sont faites parmi les sites rocheux échantillonnés avec SVC, les sites sablonneux, et les sites où les roches et le sable sont représentés à la fois dans les échantillons (Table 4.7)

**Table 4.7 Comparaisons par paires ajustées de Bonferroni (t-tests) entre les indices de diversité de Shannon-Weaver diversity pour les poissons échantillonnés avec SVC ( Table 4.6)**

Site 1	Site 2	d. l.	t	t critique, deux volets	Niv. Sign.	Sign?
<b>1) Comparisons par paires – Sites rocheux</b>						
				(p = 0.005)		
Pemba etc	Gombe	2244	-1.801	2.878	0.01	N
Pemba etc	Kigoma	285	2.703	2.602	<0.001	O
Pemba etc	Mahale	477	-59.716	2.602	<0.001	O
Pemba etc	Katoto	795	-1.203	2.815	>0.5	N
Gombe	Kigoma	391	3.184	2.823	0.002	O
Gombe	Mahale	1122	-61.099	2.813	<0.001	O
Gombe	Katoto	1379	-0.193	2.812	>0.5	N
Kigoma	Mahale	339	-19.735	2.825	<0.001	O
Kigoma	Katoto	48	-5.479	2.943	<0.001	O
Mahale	Katoto	1087	20.979	2.813	<0.001	O
<b>2) Comparisons par paires – Sites sablonneux</b>						
				(p = 0.0083)		
Uvira	Gombe	141	1.746	2.735	0.1	N
Uvira	Mahale	117	-2.850	2.695	0.01	N
Uvira	Katoto	33	9.818	2.887	<0.001	O
Gombe	Mahale	17	-16.850	3.005	<0.001	O
Gombe	Katoto	489	7.420	2.745	<0.001	O
Mahale	Katoto	228	14.911	2.716	<0.001	O
<b>3) Comparisons Rocheux - Sablonneux</b>						
				(p = 0.0167)		
Gombe roche	Gombe sable	1147	10.197	2.385	<0.001	O
Mahale roche	Mahale sable	16	33.231	2.688	<0.001	O
Katoto etc roche	Katoto etc sable	73	15.757	2.427	<0.001	O
d.l. = degrés de libertés, calculés selon l'équation dans le Chapitre 2 t = valeur calculée pour la distribution de t-student Niveau de signification ajusté de Bonferroni auquel les comparaisons individuelles sont faites, le niveau de signification total de 0.05 est maintenu. Niv. Sign = niveau de signification pour t calculé (à partir des tables de distribution t ) Sign? = décision faite sur la signification; O = oui, N = non. La comparaison est prise comme significative si Niv. Sign. > Niv. Prob. (ajusté de Bonferroni ).						

Les échantillons comparés par paires suggèrent les conclusions suivantes:

- La diversité des poissons des sites rocheux dans le PN de Mahale est significativement plus haute que dans tous les autres sites rocheux échantillonnés avec par SVC, les différences parmi les autres sites étant moins constantes.
- Le PN de Mahale a aussi une diversité dans la zone sablonneuse significativement plus élevée que celle de la plupart des autres sites échantillonnées. L'exception est, étonnamment, la zone d'Uvira avec une faible richesse spécifique.
- Toutes les comparaisons roche – sable dans une même zone ont indiqué des différences hautement significatives dans la diversité, les zones rocheuses étant, sans surprise, plus diversifiées.

Tous les indices de diversité ci-dessus et leurs comparaisons seront affectés par les différences des tailles et de "finition" des échantillonnages (voir Chapitre 2). En examinant les indices de diversité calculés sur base de 100 prises au hasard à chaque étape dans le

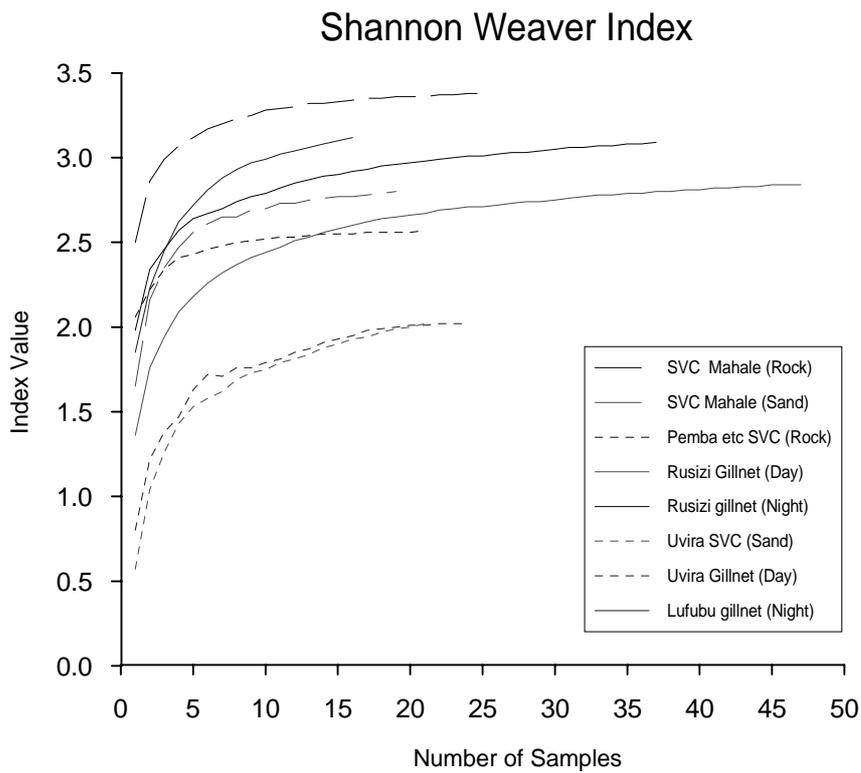
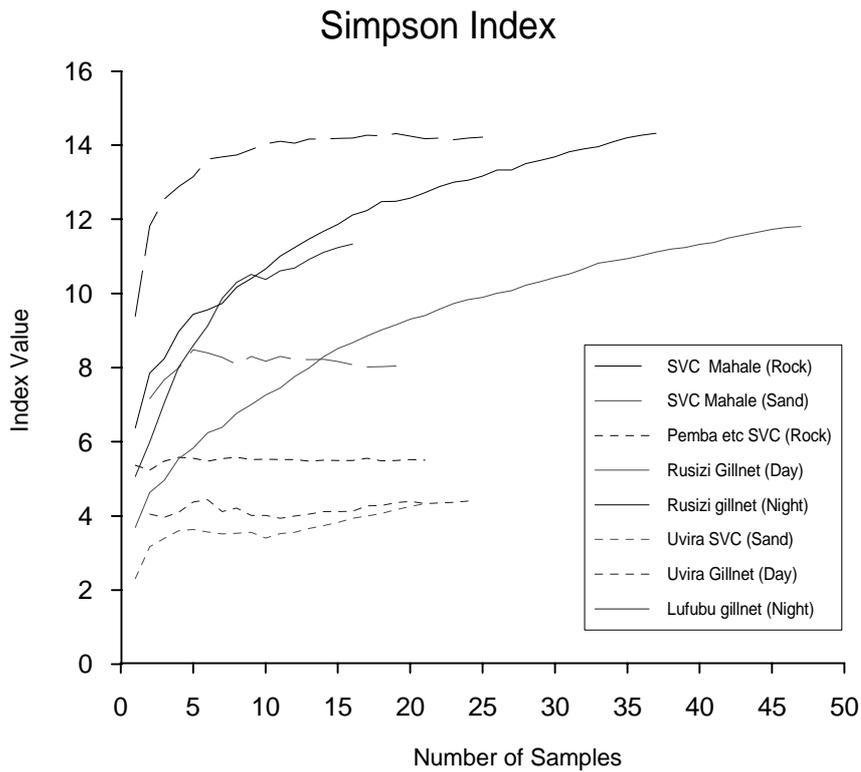
processus de cumul des espèces, nous pouvons déterminer le nombre d'événements d'échantillonnage requis pour être sûr d'obtenir des indices de biodiversité sans erreur et stables. Pour arriver à ceci, nous avons sélectionné huit zones bien échantillonnées (>16 échantillons) pour examiner comment les indices de diversité calculés changeaient avec échantillons supplémentaires que nous avons ajoutés, jusqu'à ce que tous les échantillons sur ce site y soit incorporés – la base pour le calcul des indices de diversité est présentée dans la Table 4.5 et la Table 4.7. Ces analyses de sensibilité sont présentées dans la Figure 4.9.

Pour l'indice de Shannon-Weaver, un schéma clair et stable d'accroissement jusqu'à une asymptote est montré pour tous les échantillons. Les analyses de sensibilité suggèrent que les explorations basées sur moins de 15-20 événements d'échantillonnages sous-estiment vraisemblablement et sérieusement les indices de diversité. Ceci s'applique à de nombreuses valeurs rapportées dans la Table 4.5 et la Table 4.7, si bien que les comparaisons entre sites où les échantillonnages a été limité doivent être interprétés avec précaution.

Un des quelques ensembles de données qui permettent une comparaison directe entre les méthodes d'échantillonnages sont celles provenant du site uniformément sablonneux d'Uvira, où des explorations à la fois avec filets maillants et SVC ont été effectuées. Les indices de diversité de Shannon-Weaver pour les explorations avec filets maillants et SVC à Uvira indiquent une correspondance très étroite à la fois dans les valeurs absolues et leur sensibilité pour le nombre d'échantillons. Les échantillons avec les filets maillants pris dans la plupart des autres localités intégreront à la fois les substrats sablonneux et rocheux, en examinant peut être pourquoi les indices de diversité à partir des données des filets maillants tendent à être légèrement plus élevés que ceux avec SVC dans les zones correspondantes (Table 4.5 and Table 4.7).

Pour l'échantillonnage aux filets maillants, il semble qu'il y a une tendance pour les valeurs de l'indice de Simpson de continuer de s'accroître avec les grandes tailles d'échantillons, alors que les valeurs avec SVC se stabilisent à partir de tailles d'échantillons plus petites. La raison pour ceci n'est pas connue, mais l'observation peut en valoir la peine si on considère l'utilisation de l'indice de Simpson dérivé de deux méthodes pour comparer la diversité entre zones.

En général, l'indice de diversité de Shannon-Weaver paraît plus performant. Il est à la fois plus stable à de plus petites tailles d'échantillons et maintien des différences dans l'ordre de grandeur dans la diversité à partir de petites tailles d'échantillons. Ceci veut dire que si tous les sites étaient sous-échantillonnés, les résultats en terme de classement pour ce qui est de la diversité ne serait pas affecté, bien que si certains sites ont été échantillonnés complètement et d'autres non, ceci pourrait en effet affecter la classification. L'indice de Simpson est moins stable, l'ordre de grandeur de l'indice de diversité calculé variant à mesure que la taille de l'échantillon s'accroît. Nous recommanderons d'utiliser l'indice de Shannon-Weaver de préférence à l'indice de Simpson pour les comparaisons de la diversité entre sites.



**Figure 4.9** Sensibilité des indices de diversité à la taille de l'échantillon, basée sur 100 prises au hasard de l'ordre des échantillons.

### 4.3.3 Richesse spécifique des poissons.

Les estimations de la richesse spécifique des poissons ( $S_{max}$ ) ont été calculées séparément pour les explorations par SVC, les filets maillants et RVC. Pour les explorations avec SVC et les filets maillants, l'abondance et les méthodes basées sur l'occurrence ont toutes été utilisées, alors que pour RVC, seules les méthodes basées sur l'occurrence étaient appropriées puisque les données n'indiquent pas l'abondance relative.

Les estimations de la richesse spécifique à partir des explorations SVC sont synthétisées dans la Table 4.8. A part les extrêmes et les zones qui ont été visiblement sous-échantillonnées, toutes les valeurs tombent dans un ordre de grandeur raisonnable (habituellement entre 10-15 espèces) et les différences dans l'indice de diversité se reflètent aussi dans les différences dans les richesses spécifiques estimées, Mahale (rocheux) donnant les plus hautes estimations. Les estimations dépasseront toujours la richesse spécifique observée, excepté pour de très grandes tailles d'échantillons (équivalent au point de vue fonctionnel à un effort d'échantillonnage infini).

**Table 4.8 Estimations de la richesse spécifique des poissons ( $S_{max}$ ) à partir de la technique de l'inventaire visuel stationnaire (SVC). Les estimations isolées sont indiquées entre parenthèses.**

				Estimations de $S_{max}$						
Zone	Substr.	N	$S_{obs}$	MMRuns	MMMean	ACE	ICE	Jack1	Jack2	Boot
<b>BURUNDI</b>										
Burundi Sud	Rocheux	3	22	49	38	24	40	30	33	26
Burundi Sud	Sable	4	6	12	13	(6)	(32)	10	12	8
Gitaza	Rocheux	3	26	35	34	27	36	33	35	29
<b>RD CONGO</b>										
Pemba etc	Rocheux	21	61	68	67	62	68	71	70	66
Pemba etc	Sable	2	4	6	10	5	15	6	6	5
Uvira	Rocheux	4	21	(158)	52	22	41	31	35	26
Uvira	Sable	21	33	(92)	53	35	47	45	50	39
<b>TANZANIE</b>										
Gombe	Rocheux	13	54	73	68	54	68	69	75	61
Gombe	Sable	18	55	90	77	58	96	80	94	66
Kigoma	Rocheux	9	26	43	40	27	50	38	47	32
Kigoma	Sable	3	9	18	24	11	35	14	16	11
Mahale	Rocheux	25	82	89	88	88	101	101	108	91
Mahale	Sable	19	60	82	76	64	71	75	77	68
Mahale	Coquilles	2	4	4	6	4	7	5	5	5
<b>ZAMBIE</b>										
Cameron Baie	Rocheux	4	35	63	61	37	61	49	56	42
Cameron Baie	Sable	2	5	5	9	5	11	7	7	6
Katoto etc	Rocheux	10	48	65	62	48	58	60	63	54
Katoto etc	Sable	5	28	47	(102)	32	(79)	44	53	35

N = nombre d'événements d'échantillonnage (répétitions)  
 $S_{obs}$  = nombre d'espèces échantillonnées effectivement  
 MMRuns = Estimateur de Michaelis Menton basé sur les moyennes individuelles des prises au hasard  
 MMEan = Estimateur de Michaelis Menton basé sur la courbe des échantillons d'espèces moyennes  
 ACE = Estimateur de couverture basé sur l'abondance  
 ICE = Estimateur de couverture basé sur l'incidence  
 Jack1 = Estimation de « Jackknife » de 1<sup>er</sup> ordre basé sur l'incidence  
 Jack2 = Estimation « Jackknife » de 2<sup>nd</sup> ordre basé sur l'incidence  
 Boot = Estimateur de « bootstrap » basé sur l'incidence

Les estimateurs « Bootstrap » et « ACE » tendent à produire les estimations les plus basses de  $S_{max}$ , tandis que « ICE » et « Jack2 » tendent à donner la plus haute. « Jack 1 » et « MMRMeans » sont intermédiaires, tandis que « MMRRuns » tend à être instable parce qu'il est sensible à l'apparition d'échantillons individuels inhabituellement riches tout au début dans le processus de rangement des échantillons au hasard.

Les estimations à partir des explorations avec les filets maillants (Table 4.9) montrent un schéma similaire dans les valeurs obtenues avec les différentes techniques d'estimations. A noter les très hautes estimations de la richesse spécifique pour les rivières Lufubu/Chisala en bordure du PN de Nsumbu en Zambie, qui sont similaires à celles du PN de Mahale en Tanzanie.

**Table 4.9 Estimations de la richesse spécifique des poissons ( $S_{max}$ ) à partir des explorations avec les filets maillants. Les estimations isolées sont indiquées entre parenthèses.**

				Estimations de $S_{max}$						
Zone	Temps de pose	N	$S_{obs}$	MMRuns	MMMean	ACE	ICE	Jack1	Jack2	Boot
<b>BURUNDI</b>										
Bujumbura Baie	Jour	18	45	52	51	48	51	54	57	49
Bujumbura baie	Nuit	2	31	41	(74)	42	(109)	43	43	37
Rusizi	Jour	47	59	65	65	64	67	71	77	64
Rusizi	Nuit	37	72	79	78	83	83	88	99	79
<b>RD CONGO</b>										
Pemba etc	Jour	14	43	67	59	52	60	58	65	50
Uvira	Jour	24	36	63	51	48	58	53	68	43
<b>TANZANIE</b>										
Mahale	Jour	4	23	84	64	32	73	36	43	29
Mahale	Nuit	23	101	119	116	113	127	128	138	114
<b>ZAMBIE</b>										
Cameron Baie	Jour	6	40	(149)	(92)	47	64	58	66	49
Chikonde	Nuit	7	49	71	68	53	63	64	70	56
Kalambo	Nuit	12	52	78	73	57	86	74	88	62
Katoto etc	Nuit	9	54	(96)	80	62	75	73	79	63
Lufubu	Nuit	16	86	136	129	94	127	119	136	101
Mpulungu	Jour	3	16	23	(98)	26	(93)	25	30	20
Mpulungu	Nuit	27	57	65	64	63	76	74	80	65
Nsumbu PN	Nuit	44	70	88	84	77	81	86	90	78

N = nombre d'événements d'échantillonnage (répétitions)  
 $S_{obs}$  = nombre d'espèces échantillonnées effectivement  
 MMRRuns = Estimateur de Michaelis Menton basé sur les moyennes individuelles des prises au hasard  
 MMMean = Estimateur de Michaelis Menton basé sur la courbe des échantillons d'espèces moyennes  
 ACE = Estimateur de couverture basé sur l'abondance  
 ICE = Estimateur de couverture basé sur l'incidence  
 Jack1 = Estimation de "Jackknife" de 1<sup>er</sup> ordre basé sur l'incidence  
 Jack2 = Estimation de "Jackknife" de 2<sup>nd</sup> ordre basé sur l'incidence  
 Boot = Estimateur de "bootstrap" basé sur l'incidence

Les données de RVC fournissent seulement des estimations de richesse spécifique basée sur l'incidence, mais ces estimations apparaissent généralement comme stable parmi les différentes méthodes utilisées (Table 4.10). Pour les échantillons d'Uvira sur 5-15m par exemple, les estimations de la richesse spécifique sont 19 à 21 espèces, tandis que pour les sites plus rocheux et moins affectés de Pemba/Bangwe/Luhanga on a une estimation de 65 à 76 species, et pour Mahale à 0-15 m une estimation de 113 à 138 espèces.

**Table 4.10 Estimations de la richesse spécifique des poissons ( $S_{max}$ ) basée sur l'incidence à partir des explorations par inventaire visuel rapide (RVC). Les estimations isolées sont indiquées entre parenthèses.**

Zone	Gamme de profondeurs (m)	N	$S_{obs}$	ICE	Jack1	Jack2	Boot
<b>BURUNDI</b>							
Burundi Sud	0 à 3	4	26	48	38	43	32
Burundi Sud	5 à 15	16	51	67	69	79	59
Gitaza	0 à 3	2	19	(65)	26	26	23
Gitaza	5 à 15	11	41	44	46	43	45
<b>RD CONGO</b>							
Pemba etc	0 à 3	7	36	63	51	60	43
Pemba etc	5 à 15	18	65	73	76	74	71
Uvira	0 à 3	4	15	26	21	23	18
Uvira	5 à 15	44	19	20	21	21	20
<b>TANZANIE</b>							
Kigoma	0 à 3	3	16	27	21	23	19
Kigoma	5 à 15	9	32	47	44	50	38
Mahale	0 à 3	20	77	94	95	100	86
Mahale	5 à 15	69	105	117	123	134	113
<b>ZAMBIE</b>							
Katoto etc	0 à 3	8	40	44	46	48	43
Katoto etc	5 à 15	19	54	67	69	80	61

ICE = Estimateur de couverture basé sur l'incidence  
 Jack1 = Estimation de "Jackknife" de 1<sup>er</sup> ordre basé sur l'incidence  
 Jack2 = Estimation de "Jackknife" de 2<sup>nd</sup> ordre basé sur l'incidence  
 Boot = Estimateur de "bootstrap" basé sur l'incidence

En comparant les estimations de richesse dans les tables ci-dessus avec des valeurs dérivées des listes totales d'espèces générées des bases de données combinées de littérature et d'exploration (Chapitre 3), il est important de noter que les estimateurs seront déterminés partiellement par le nombre d'espèces sensibles à l'outil particulier d'échantillonnage. Ainsi, de petites espèces immobiles vivant près du fond peuvent être présentes mais pas susceptibles d'être capturées avec les filets maillants. Les grands prédateurs peuvent avoir une très faible probabilité d'être comptées dans une exploration avec SCUBA limitée dans le temps et dans l'espace, mais une plus grande probabilité d'être capturé dans un filet maillant. Il devrait aussi être noté que les listes dans le Chapitre 3 comprennent une gamme de profondeurs plus large que ce qui a été échantillonné dans cette étude, si bien que les plus faibles valeurs ne reflètent pas nécessairement une sous-estimation de ce qui était présent dans la zone échantillonnée et liée à la capture de la méthode d'échantillonnage utilisée.

Une comparaison des ordres de grandeurs des richesses spécifiques observées et estimées pour chaque technique, avec toutes les espèces enregistrées pour une même zone (Table 4.11) indique que les estimations de richesse tombent dans l'ordre de grandeur du nombre enregistré précédemment pour chaque zone, avec des sous-estimations observées habituellement là où il a été seulement possible d'utiliser une seule technique (p. ex. seulement des filets maillant de nuit dans le PN de Nsumbu, où la plongée dans les zones rocheuses aurait permis d'enregistrer beaucoup d'espèces qui sont peut susceptibles d'être des filets maillants). Ces résultats renforcent la contribution que les explorations actuelles font pour les explorations comparatives de la diversité des poissons dans le lac Tanganyika et fournissent une justification adéquate pour le regroupement de méthodes d'échantillonnage pour avoir une liste définitive de distributions d'espèces actuellement connues comme celle disponible pour le moment.

**Table 4.11 Richesses spécifiques observées et estimées dans les principaux parcs nationaux et zones d'explorations définies, par technique d'exploration.**

Zone	Filets maillants (nuit)		Filets maillants (jour)		SVC (Rocheux)		SVC (Sablonneux)		RVC (0 - 3 m)		RVC (5 - 15 m)		Nombre total d'espèces	
	S <sub>obs</sub>	S <sub>max</sub> estimé (gamme)	S <sub>obs</sub>	S <sub>max</sub> estimé (gamme)	S <sub>obs</sub>	S <sub>max</sub> estimé (gamme)	S <sub>obs</sub>	S <sub>max</sub> estimé (gamme)	S <sub>obs</sub>	S <sub>max</sub> estimé (gamme)	S <sub>obs</sub>	S <sub>max</sub> estimé (gamme)	Explorations ES BIO <sup>14</sup>	ES BIO + explorations antérieures <sup>15</sup>
Rusizi	72	78-99	59	64-77	-	-	-	-	-	-	-	-	80	105
Pemba etc	-	-	43	50-67	61	62-71	*	5-15	56	43-63	65	71-76	82	-
Gombe	*	*	*	*	54	54-75	55	58-96	-	-	-	-	94	62
Mahale	101	113-138	*	*	82	88-108	60	64-82	77	86-100	105	113-134	128	160
Nsumbu	70	77-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	91	99

Les estimations de l'ordre de grandeur de S<sub>max</sub> excluent les valeurs isolées.  
 Les zones présentées dans cette table sont celles qui sont incluses ou qui sont adjacentes dans les parcs nationaux existants, plus une zone en R.D. Congo qui a été suggérée pour être un parc national. Les zones et les techniques choisies représentent les zones bien échantillonnées, avec des estimations et la diversité relativement fiables.  
 - indique que la technique d'échantillonnage n'a pas été utilisée à cette localité  
 \* indique que l'échantillonnage était limité et que toute estimation de la richesse spécifique n'est probablement pas fiable et donc pas reporté ici.

<sup>14</sup> De tous les types d'engins et méthodes d'échantillonnage combinées (de la Table 5.2)

<sup>15</sup> De toutes les explorations ayant eues lieu antérieurement, incluant les récentes explorations de ES BIO (de la Table 3.7).

Afin d'évaluer l'effet de la taille de l'échantillon sur les estimations des richesses spécifiques données dans les Table 4.8 - Table 4.11, nous avons examiné les estimations calculées sur base de 100 prises au hasard d'échantillons d'espèces observées pour 1 échantillon, 2, 3... $n$  échantillons, avec  $n$  comme nombre total des événements d'échantillonnage dans chaque strate. Nous illustrons l'effet de la taille de l'échantillon sur les estimations de la richesse présentées dans les tableaux ci-dessus en sélectionnant quatre stations bien échantillonnées de richesses spécifiques différentes pour chacune des techniques d'échantillonnages (Figure 4.10, Figure 4.11 et Figure 4.12)

Il est évident que la taille de l'échantillon affecte grandement les estimations de la richesse spécifique. Ainsi, même si l'avantage théorique de telles estimations est qu'elles permettent la comparaison des zones échantillonnées à différents niveaux, et de zones sous-échantillonnées, les estimations elles mêmes sont, en pratique, sensibles au degré de sous-échantillonnage.

Les différentes estimations se comportent de différentes manières en fonction du niveau de réduction de la taille de l'échantillon. L'estimateur "ICE" tend l'élever fortement à de très petites tailles d'échantillons (2-4 événements d'échantillonnage), avant de se stabiliser assez rapidement (5-10 échantillons) et ensuite changer peu en valeur. Il tend à se stabiliser même avant que la courbe d'espèces cumulées atteigne une asymptote nette (voir Figure 4.11: Rusizi, filets maillant de nuit). Ceci, avec le fait qu'il ne requiert pas des estimations d'abondance (seulement l'incidence), en fait potentiellement l'estimateur de richesse spécifique le plus utile à moindre coût. Ces estimations tendent, toutefois, à être plus hautes que l'estimateur de couverture correspondant basé sur l'abondance (ACE).

MMRuns est le moins stable des estimateurs; son usage devrait être évité. Il paraît particulièrement erratique pour les données de substrats sablonneux, où la nature de l'échantillonnage est tel que la plupart des échantillons récoltent peu d'espèces, alors qu'une ou deux peuvent être riches en espèces (un rocher isolé ou une bande de macrophytes rencontrés). MMMeans, au contraire, se comporte aussi bien que ICE, et donne des estimations de richesse spécifique similaires. Le fait que deux estimateurs basés sur la même équation mais ajustées aux données d'une manière légèrement différente donnent une performance si différente souligne l'importance d'un choix juste et bien avisé d'une méthode analytique quand il faut entreprendre une telle analyse.

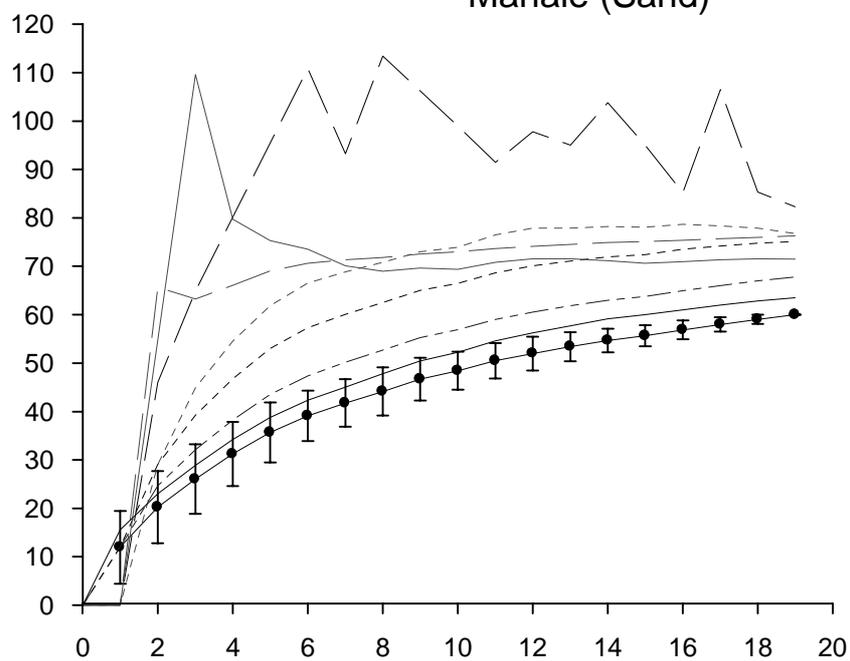
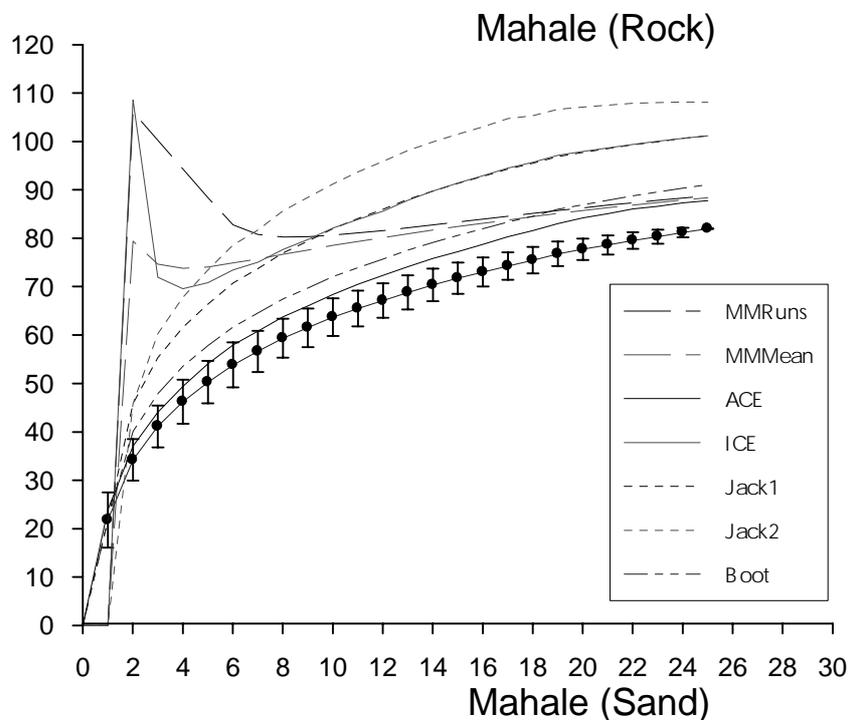
Les estimateurs Jackknife, Bootstrap et ACE tendent à suivre la courbe d'espèces cumulées, et sont ainsi sensibles à la taille de l'échantillon. Là où la courbe d'espèces cumulées n'a pas atteint une asymptote, les estimateurs n'auront pas non plus été stabilisés. Ceci fait qu'ils sont moins utiles que « ICE » et « MMMeans » comme une méthode pour produire des estimations de richesse spécifique dans des zones sous-échantillonnées, ou d'explorations consistants en effort d'échantillonnage largement différents, comme c'est le cas dans cette exploration.

Nos recommandations finales pour les explorations de poissons sont ainsi les estimateurs « ICE » et « MMMeans »; avec la limitation qu'elles ne peuvent pas être appliquées à des tranches d'explorations avec moins de 10 répétitions d'événements d'échantillonnages.

Des trois méthodes d'échantillonnage, les explorations par RVC semblent donner les estimations de richesse spécifique les plus stables, et sont ainsi préférables aux explorations par SVC là où la plongée est possible. Là où elle ne l'est pas, les filets maillants constituent une alternative adéquate.

**Figure 4.10 Relations entre le nombre de répétitions d'échantillonnage avec par SVC et les estimations de  $S_{max}$ : (a) Mahale et (b) République Démocratique du Congo**

a) PN de Mahale, Tanzanie



Nombre d'échantillons

b) République Démocratique du Congo

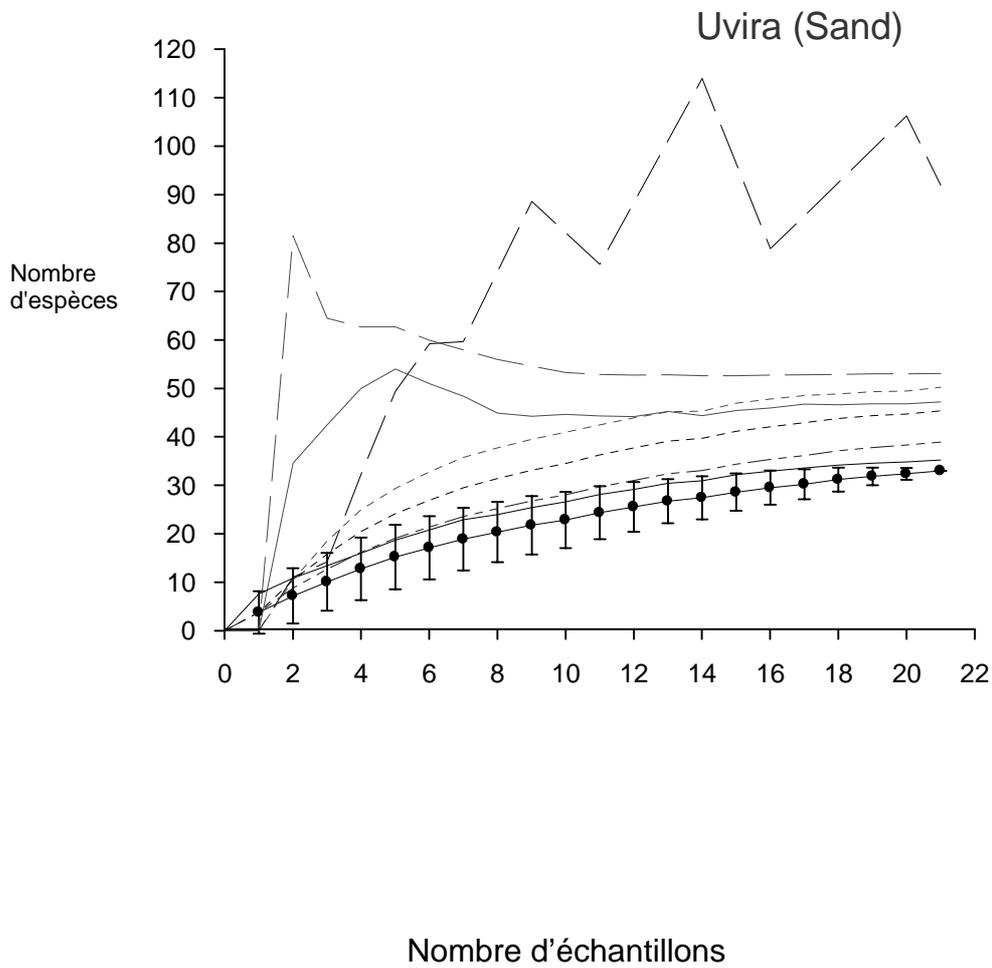
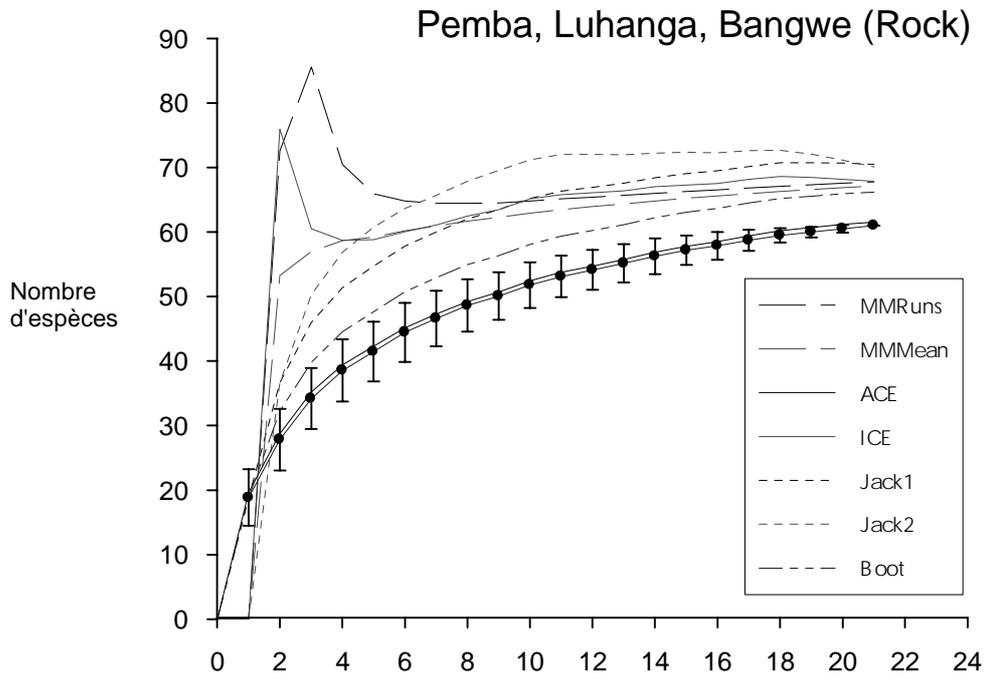
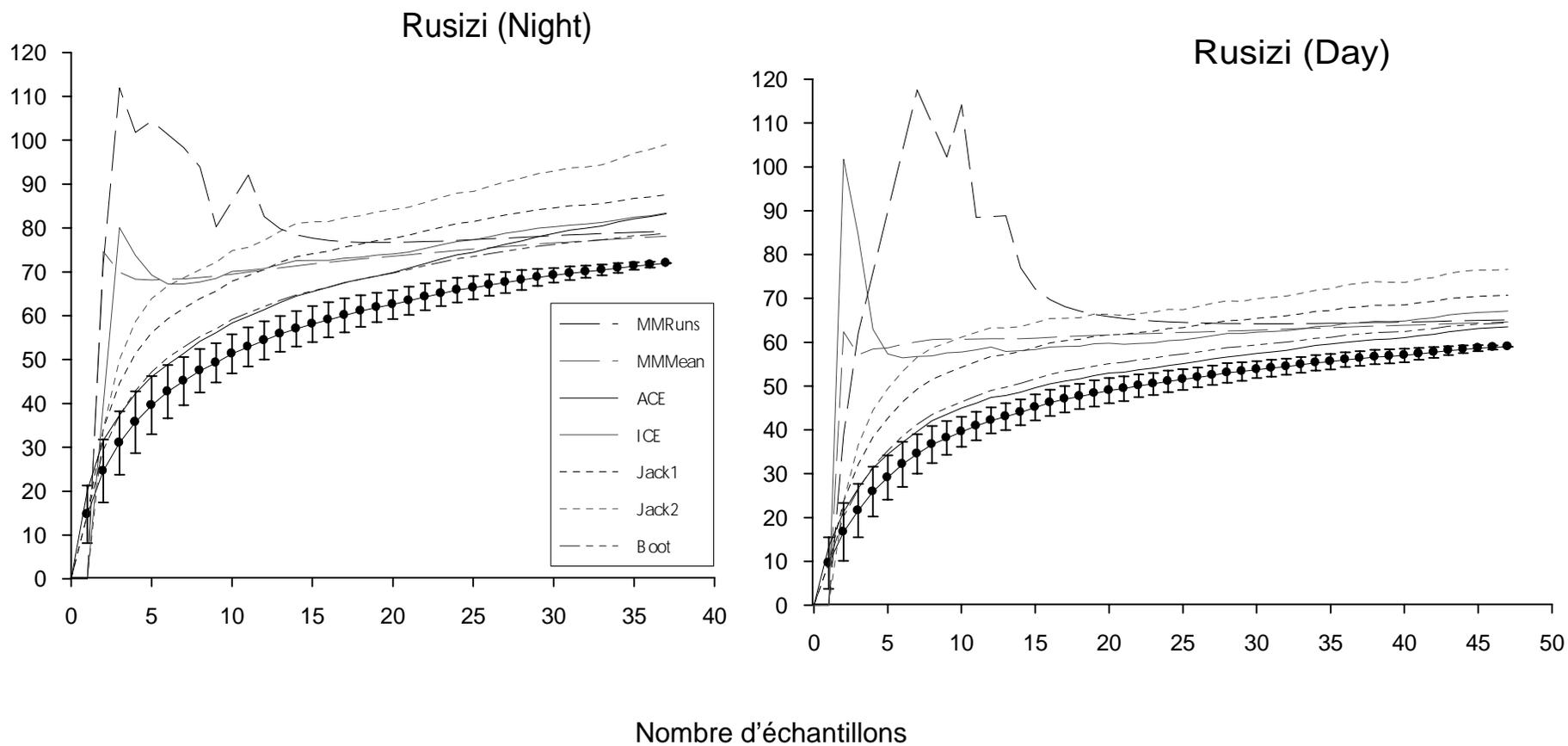


Figure 4.11 Relation entre le nombre de répétitions d'échantillonnages avec filets maillants et les estimations de  $S_{max}$  : (a) Rusizi and (b) Uvira et Lufubu/Chisala

a) Rusizi, Burundi



b) Uvira, RD du Congo et Lufubu/Chisala en Zambie

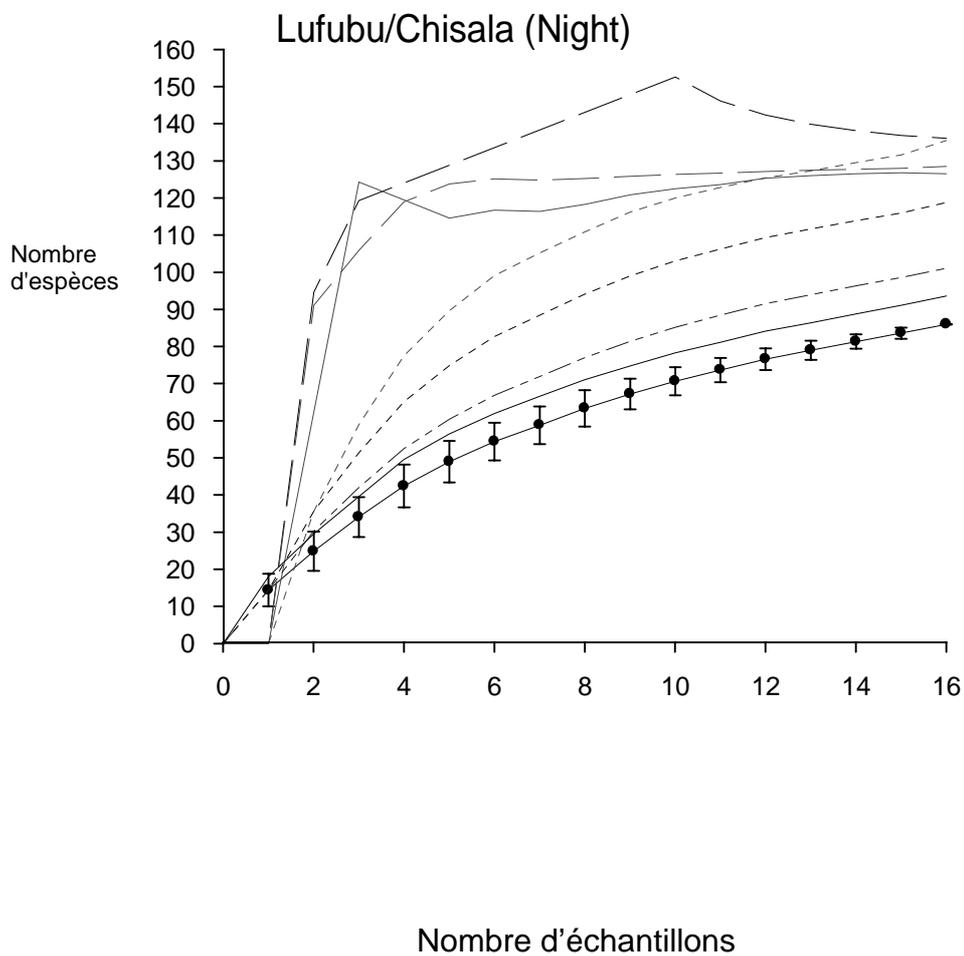
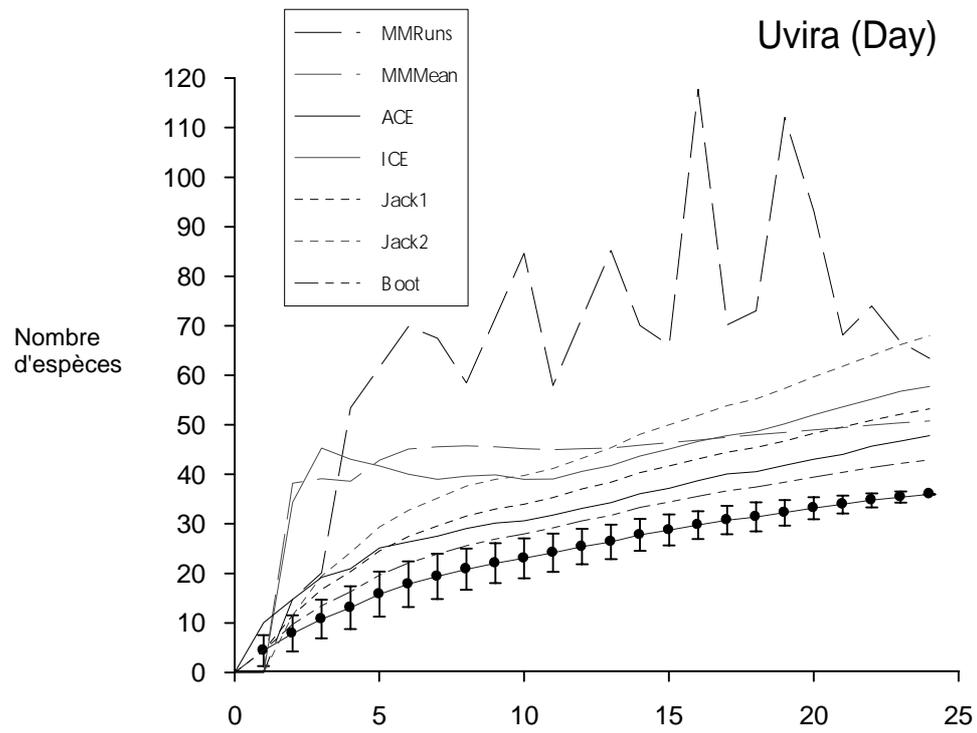
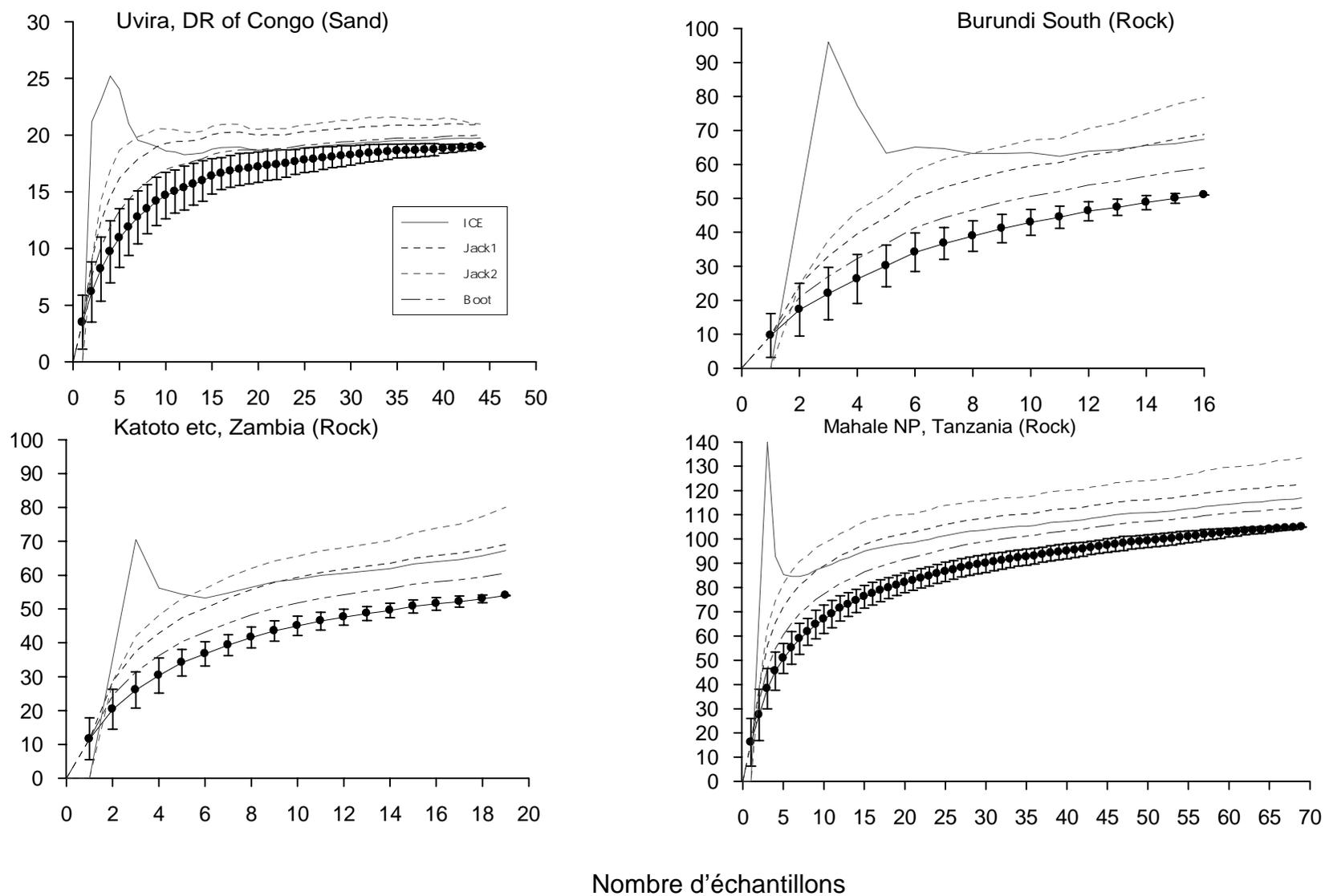


Figure 4.12 Relation entre le nombre de répétitions d'événements d'échantillonnage par RVC et les estimations de  $S_{max}$



#### 4.3.4 Richesse spécifique des mollusques

Les estimations de la richesse spécifique des mollusques ont été générées à partir de quatre méthodes basées sur l'incidence, malgré certaines tailles d'échantillons limitées pour des strates d'explorations isolées (profondeur, substrat, combinaisons de zones). Les quatre estimations de richesse spécifique ( $S_{max}$ ) montrent une assez bonne concordance pour la plupart des échantillons (Table 4.12).

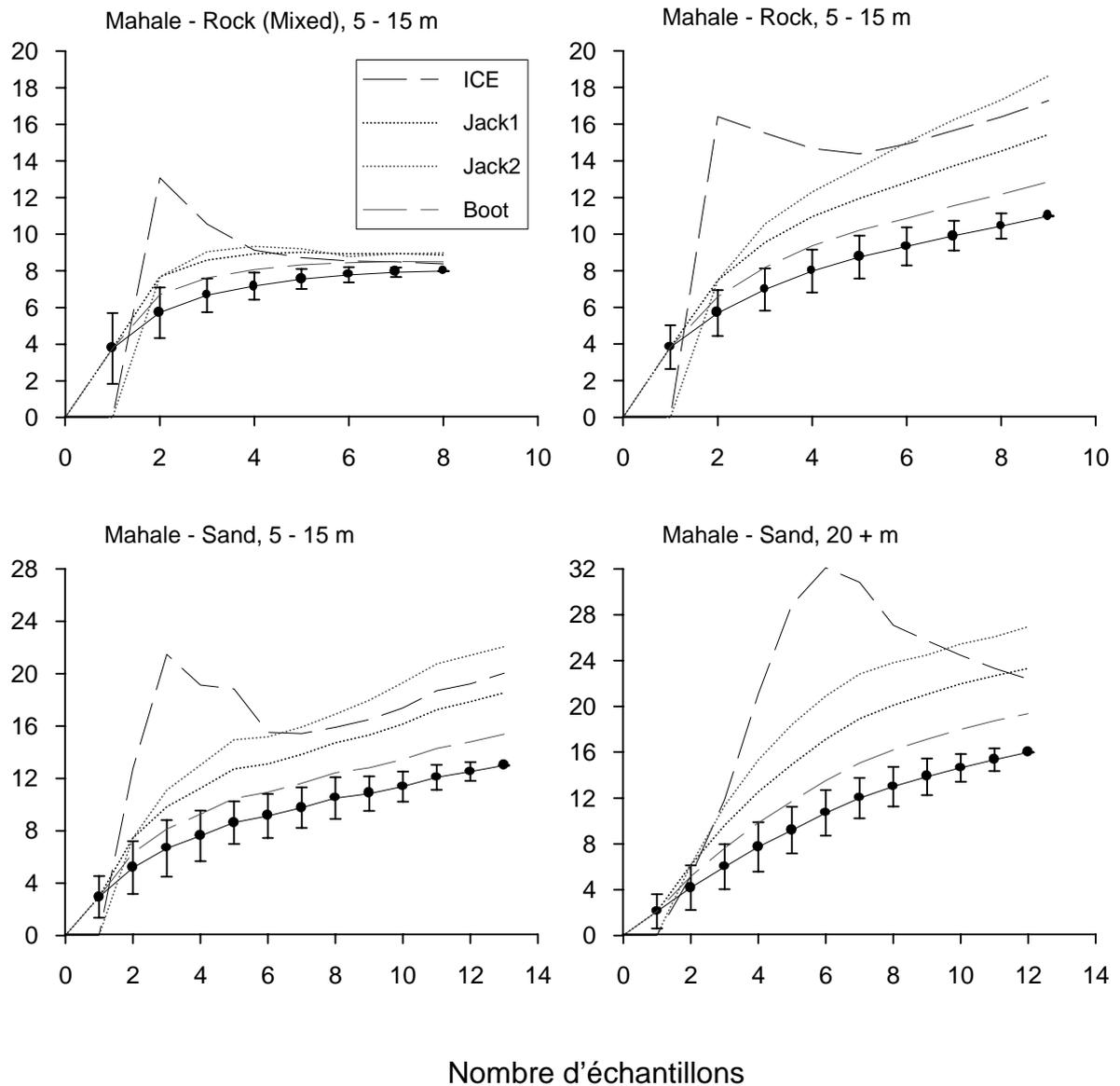
**Table 4.12 Estimations de richesses spécifiques ( $S_{max}$ ) basées sur l'incidence pour les mollusques**

Zone	Profondeur (m)	Substrat	N	$S_{obs}$	Estimations de $S_{max}$			
					ICE	Jack1	Jack2	Boot
<b>BURUNDI</b>								
Gitaza	5 à 15	Sable	4	6	7.3	7.5	7.5	6.8
<b>RD CONGO</b>								
Pemba etc	5 à 15	Sable	3	4	6.0	5.3	5.7	4.7
Pemba etc	5 à 15	Roche	4	9	11.3	11.3	11.1	10.3
Pemba etc	5 à 15	Mixte(Roche)	5	8	10.2	10.4	10.4	9.3
Uvira	5 à 15	Sable	3	7	(0.0)	11.7	14.0	9.1
Uvira	5 à 15	Mixte (Sable)	4	8	10.3	10.3	10.8	9.1
<b>TANZANIE</b>								
Mahale	5 à 15	Sable	13	13	20.0	18.5	22.1	15.4
Mahale	5 à 15	Mixte(Roche)	8	8	8.4	8.9	9.0	8.5
Mahale	5 à 15	Roche	9	11	17.3	15.4	18.7	12.9
Mahale	> 20 m	Mixte (Sable)	4	5	16.3	8.0	9.7	6.3
Mahale	> 20 m	Sable	12	16	22.4	23.3	27.0	19.4
Mahale	> 20 m	Coquille	5	10	(92.8)	17.2	22.6	13.0
ICE = Estimateur de couverture basé sur l'incidence Jack1 = Estimation de "Jackknife" de 1 <sup>er</sup> ordre basé sur l'incidence Jack2 = Estimation de "Jackknife" de 2 <sup>nd</sup> ordre basé sur l'incidence Boot = Estimateur de "bootstrap" basé sur l'incidence								

La richesse estimée pour Mahale tend à être plus élevée que pour les autres zones, particulièrement celles prises à des substrats sablonneux et en eau plus profondes (+20m, non échantillonné ailleurs). En général, les estimations avec "Bootstrap" sont plus basses que celles avec les autres méthodes. Les estimations avec Jackknife de premier et de deuxième ordre sont soit similaires, soit les estimations avec Jack2 sont plus hautes. Les estimations par ICE tombent souvent dans la gamme des estimations avec Jackknife. L'estimateur ICE est occasionnellement instables, avec des estimations sans fondement produites pour deux des échantillons (Uvira, sablonneux, 5-15 m et Mahale, lit de coquilles, +20 m)

L'analyse de la sensibilité des estimations à la taille de l'échantillon indique que les estimations « Jackknife » et « Bootstrap » augmentent fortement avec l'accroissement de la taille de l'échantillon (Figure 4.13). Leur comportement quand une strate d'exploration a été échantillonnées complètement n'est pas connu, même si l'échantillon de Mahale sur substrat rocheux mixte, où une asymptote nette est atteinte, indique que ces estimations peuvent se stabiliser et décroître légèrement quand une asymptote est atteinte. L'estimateur ICE est assez instable pour de petites tailles d'échantillon (<5 dans la plupart des cas), mais semble se stabiliser assez rapidement. Les estimations de la richesse dans la Table 4.12 doivent ainsi être prises comme provisoires, illustrant encore une fois l'importance d'une taille adéquate pour l'échantillon.

**Figure 4.13 Sensibilité des estimateurs de la richesse spécifique la taille de l'échantillon. Les exemples illustrés viennent des explorations de mollusques au PN de Mahale. Les symboles tracés indiquent les courbes d'espèces observées cumulées et les déviations standards (basés sur 100 prises au hasard pour l'ordre des échantillons).**



#### 4.4 Discussion et Conclusions

Il a été établi que les zones adjacentes aux aires protégées terrestres existantes, qu'elles soient actuellement protégées comme milieux aquatiques ou non, contiennent une gamme complète de types d'habitats littoraux. Elles ne fournissent pas nécessairement les seuls ou les meilleurs exemples pour de tels habitats, mais elles ont l'avantage du statut de conservation existant, comme il en sera discuté dans le chapitre 5. Les habitats au sein des aires protégées varient dans la nature et l'échelle des principales caractéristiques structurales de l'habitat. Alors que Rusizi consiste essentiellement en sédiments mous à la fois horizontalement et verticalement, Gombe est fortement structuré verticalement, avec des moellons et du sable littoraux qui cèdent le pas à des pentes sablonneuses au dessus de substrats rocheux profonds. Les habitats rocheux de Nsumbu sont concentrés dans une partie de la zone Est du parc seulement et, là où les espaces rocheux sont trouvés, ceux-ci tendent à dominer le littoral sur toutes les profondeurs. A Mahale, un littoral rocheux cède souvent le pas à du sable ou à des lits de coquilles en profondeur et, horizontalement, la côte est par des tranches où alternent des bandes d'habitats sablonneux, mixtes et rocheux. Ainsi une gamme de tous les types d'habitats et de structures du fond sont rencontrés dans le réseau de parcs existants.

Les indices de diversité pour les poissons sont largement conformes aux attentes – les communautés des substrats rocheux étant plus diversifiées que celles des substrats sablonneux, et des habitats relativement vierges ou non affectés supportant des diversités plus élevées que les zones proches des centres de population et sujettes aux perturbations venant de la pêche, de la pollution et de la sédimentation. Ces différences sont aussi évidentes en comparant les valeurs de la richesse spécifique ; en effet les analyses des indices de diversité ajoutent peu aux analyses des richesses spécifiques, comme d'autres l'ont souligné récemment:

“L'indice de Shannon-Weiner devrait en général être pris comme une distraction, plutôt qu'un atout, dans l'analyse écologique”  
Southwood et Henderson (2000), p 478.

Ceci est une conclusion importante par le fait que beaucoup d'effort d'échantillonnage sont gaspillés à quantifier l'abondance relative. Il y a actuellement suffisamment de procédures pour estimer la richesse spécifique pour ne pas devoir recourir aux données d'abondance relative, et la recherche des indices de diversités peut probablement être abandonnée pour des activités d'explorations de grande échelle du type présenté ici, en faveur d'une estimation rigoureuse de la richesse spécifique. Les indices de diversité peuvent continuer à être utiles pour des programmes de suivi, où ces indices peuvent fournir des preuves de changements systématiques dans les groupes indicateurs choisis. Le besoin de tailles d'échantillons relativement grands pour obtenir des estimations non faussées est, toutefois, un problème potentiel pour les programmes de suivi, qui doivent être relativement rapides, fréquents et d'un coût bas s'il doivent être durables.

Les estimations de la richesse spécifique et de la diversité sont sensibles à la taille de l'échantillon, certaines procédures d'estimation étant plus sensibles que d'autres. Nous recommandons d'utiliser les estimations de Shannon-Weiner pour la diversité, de préférence à l'indice de Simpson, parce qu'il donne des résultats plus stables dans des zones sous-échantillonnées. Nous recommandons aussi l'estimateur de couverture du Chao basé sur l'incidence (ICE) et les procédures d'estimation de Michaelis-Menton (Moyennes) pour la richesse spécifique, même si la dernière est instable pour de très petites tailles d'échantillons (< 5 répétitions pour la plupart des techniques). Aucune extrapolation de richesses spécifiques vraisemblables peu être faite à partir d'échantillons aussi limités pour n'importe quelle méthode, et des extrapolations à partir de tels échantillons ne sont probablement pas fiables.

Les nombres d'espèces est souvent une mesure directe pour la comparaison de la diversité entre des échantillons récoltés de la même façon. Si la comparaison doit être faite entre des échantillons qui diffèrent par l'effort d'échantillonnage, les estimations peuvent plutôt être faites pour la richesse spécifique,  $S_{max}$ , et celles-ci peuvent être comparées. Différents

modèles peuvent se montrer plus efficaces pour différents groupes d'organismes ou différents environnements, puisque l'allure de la courbe d'espèces cumulées se base sur les schémas de l'abondance relative parmi les espèces échantillonnées (Colwell et Coddington, 1994). Colwell et Coddington préconisent de faire des tests sur base d'échantillons connus (p. ex. des zones bien échantillonnées) et de voir celui qui s'ajuste le mieux au modèle, et utiliser ensuite le modèle. C'est ce qui a été fait dans cette exploration, mais une fois encore, on ne peut pas éviter un échantillonnage inadéquat: si l'effort d'échantillonnage est insuffisant pour montrer une asymptote dans es courbes d'espèces cumulées, les estimations de la richesse totale tendront alors à être trop basses. Les exceptions semblent être avec "ICE" et "MMMeans", qui peuvent se stabiliser pour donner des estimations raisonnables à des tailles d'échantillons où la courbe d'espèces cumulées est toujours dans sa pleine phase ascendante.

Il est important de noter encore une fois que les tailles d'échantillon minimales requises pour obtenir une évaluation fiable des indices de diversité et des richesses spécifiques diffèrent visiblement entre les sites. En général, plus haut est la richesses spécifique et plus grande est l'hétérogénéité de la richesse et de l'abondance au sein de la strate, plus l'effort d'échantillonnage requis est important.

L'analyse confirme la haute diversité dans les eaux au large des parcs existants, et souligne d'autres zones, comme Pemba, Bangwe, Luhanga, au Congo, et Lufubu et Chisala en Zambie, qui sont des sites potentiellement riches. Les deux derniers sont des embouchures de rivières adjacentes au Parc National de Nsumbu, et méritent une certaine forme de protection, peut être comme zone tampon. Ces options de conservation sont discutées plus longuement dans le prochain chapitre.

