



## **Utilisation de cartographies d'habitats récifo-lagonaires pour la définition d'Aires Marines Protégées**

### **Conséquences sur la représentation des groupes fonctionnels des communautés de poissons en Nouvelle Calédonie**



**Mayeul Dalleau, Serge Andréfouët, Michel Kulbicki**

Institut de Recherche pour le Développement  
Unité de Recherche 128 Coréus, Centre de Nouméa, Nouvelle Calédonie

Avril 2009

Cette étude a été financée par le programme ZoNéCo  
Responsable scientifique : Serge Andréfouët, Chargé de Recherche, UR 128

Ce rapport doit être cité comme suit :  
M. Dalleau, S. Andréfouët, M. Kulbicki, 2009, « Utilisation de cartographies d'habitats récifo-lagonaires pour la définition d'Aires Marines Protégées. Conséquences sur la représentation des groupes fonctionnels des communautés de poissons en Nouvelle Calédonie. », IRD, Centre de Nouméa, 50 pages.

**Sommaire**

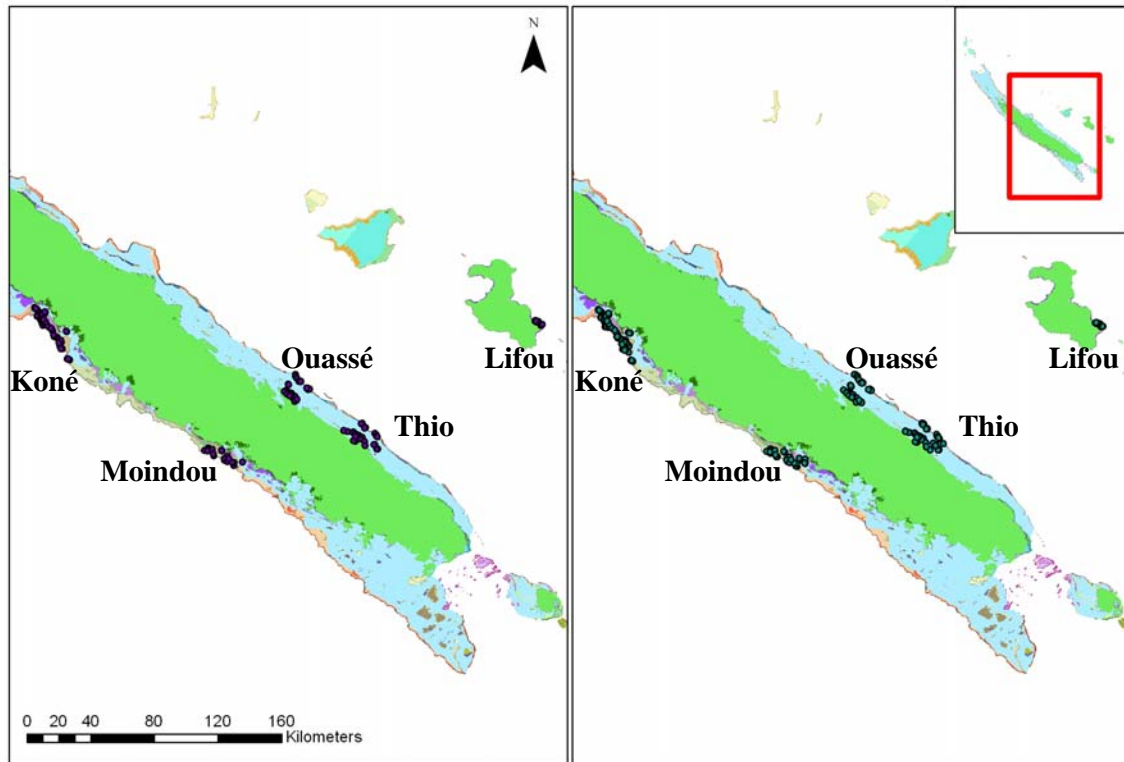
<b>1. Données d'études</b> .....	4
1.1. <b>Données biologiques</b> .....	4
1.2. <b>Données Habitats</b> .....	5
<b>2. Etudes préliminaires</b> .....	6
2.1. <b>Répartition des stations au sein des habitats</b> .....	6
2.2. <b>Habitats et espèces</b> .....	7
2.3. <b>Habitats et Groupes fonctionnels</b> .....	8
<b>3. Principe et Objectifs</b> .....	13
3.1. <b>Choix d'un axe d'étude</b> .....	13
3.2. <b>Problématique</b> .....	13
<b>4. Méthodes</b> .....	15
4.1. <b>Principe de la méthode</b> .....	15
4.2. <b>Choix des sites potentiels de conservation</b> .....	15
4.3. <b>Caractérisation des stations d'échantillonnage en termes d'habitats</b> .....	15
4.4. <b>Sélection et hiérarchisation des stations selon un scénario de conservation</b> .....	16
4.5. <b>Evaluation de la pertinence des scénarios de conservation</b> .....	18
4.6. <b>Indices de richesses et de diversité</b> .....	19
4.7. <b>Paramètres de l'étude</b> .....	20
<b>5. Résultats</b> .....	21
5.1. <b>Efficacité des scénarios</b> .....	21
5.2. <b>Scénario Aléatoire</b> .....	23
5.3. <b>Pertinence des scénarios (Surrogacy): représentation fonctionnelle</b> .....	26
5.4. <b>Pertinence des scénarios : représentation spécifique</b> .....	29
5.5. <b>Visualisation spatiale</b> .....	33
5.6. <b>Sensibilité aux différents paramètres</b> .....	37
<b>6. Discussions</b> .....	46
6.1. <b>Méthodologie</b> .....	46
6.2. <b>Hypothèses biologiques</b> .....	48
<b>7. Conclusion</b> .....	50

## 1. Données d'études

### 1.1. Données biologiques

Les données de l'étude ont été mises au propre dans une base de données relationnelle géo-référencée. Elle est accessible au format .mdb et lisible à la fois sous Access et ArcGis. Le détail des tables est référencé dans un fichier d'information associé à la base de données.

#### 1.1.1. Sites d'échantillonnages



**Figure 1 Stations d'échantillonnage** A gauche, les 149 stations pour lesquels on dispose de comptages pour tous les types d'espèces (IRD). A droite, les 269 stations pour lesquels on dispose uniquement de comptages des espèces à intérêt commercial.

Les données ont été acquises sur 5 différents sites d'échantillonnages :

- Koné
- Moindou
- Ouassé
- Thio
- Lifou

#### 1.1.2. Groupes Fonctionnels

Plusieurs traits fonctionnels sont pris en compte au cours de cette étude :

- Mobilité** : 4 classes (1-4) et indéterminé (0)
- Régime trophique** : 4 classes (Planctonophage 'Z', Herbivore 'H', Carnivore 'C', Piscivore 'P')
- Classe de taille** : 6 classes (1-6) et indéterminé (0)

-**Stade** : 2 classes (Juvénile/Adulte) et indéterminé

Un groupe fonctionnel est obtenu par combinaison de l'ensemble (ou d'une partie) de ces caractères.

## **1.2. Données Habitats**

Les cartographies 'habitats' utilisées décrivent la géomorphologie du milieu récifo-lagonaire. La description benthique n'étant pas disponible pour l'ensemble des sites, elle n'a pas pu être utilisée. Finalement, les cartographies utilisées sont celles qui sont fournies dans le cadre du Coral Reef Millenium Mapping Project. Au final, on obtient 5 niveaux cartographiques par ordre de complexité : L1-5.

A ces niveaux cartographiques, on a ajouté une couche de données cartographiant les zones de mangroves le long de la côte : M.

## 2. Etudes préliminaires

Dans cette partie, seuls ont été pris en compte les comptages pour lesquels toutes les espèces ont été échantillonnées.

Après la mise au propre des données, une étude préliminaire a été menée sur les données. L'objectif étant de se familiariser avec les données d'une part et d'autre part d'avoir un aperçu des liens qu'il peut y avoir entre habitats et niveaux trophiques.

### 2.1. Répartition des stations au sein des habitats

Une première remarque concerne l'inégale répartition de l'effort d'échantillonnage vis-à-vis des habitats.

La Figure 2 montre le nombre de stations par habitats L5 pour chacun des sites d'échantillonnages.

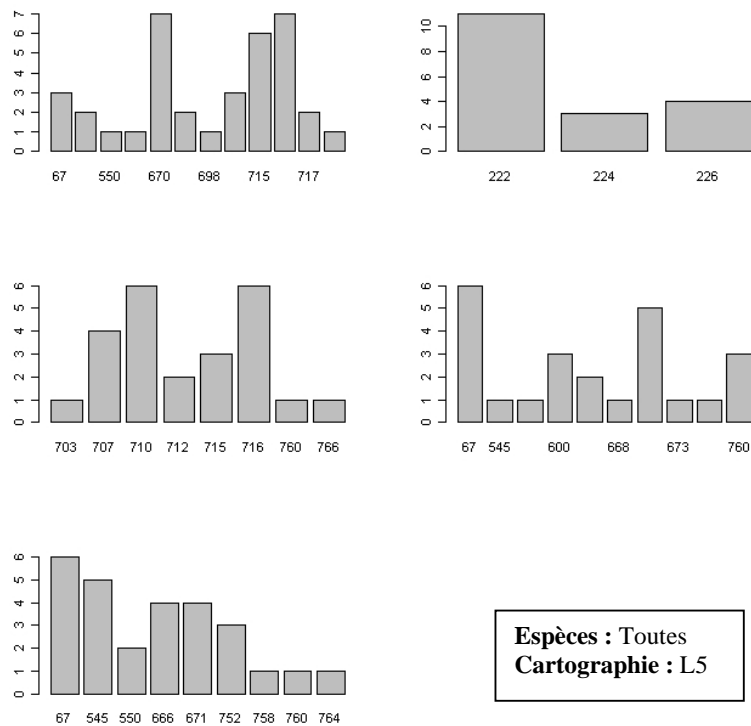


Figure 2 Nombre de stations dans chaque habitat par sites

## 2.2. Habitats et espèces

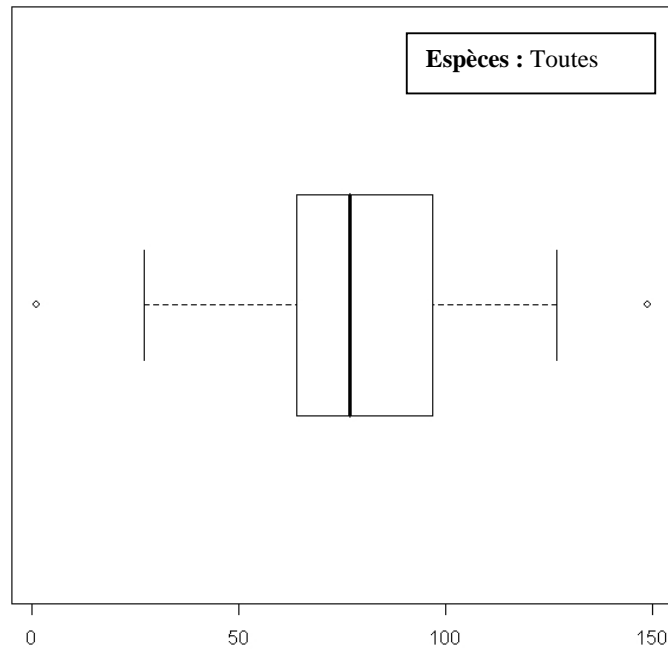


Figure 3 Richesse spécifique moyenne par station

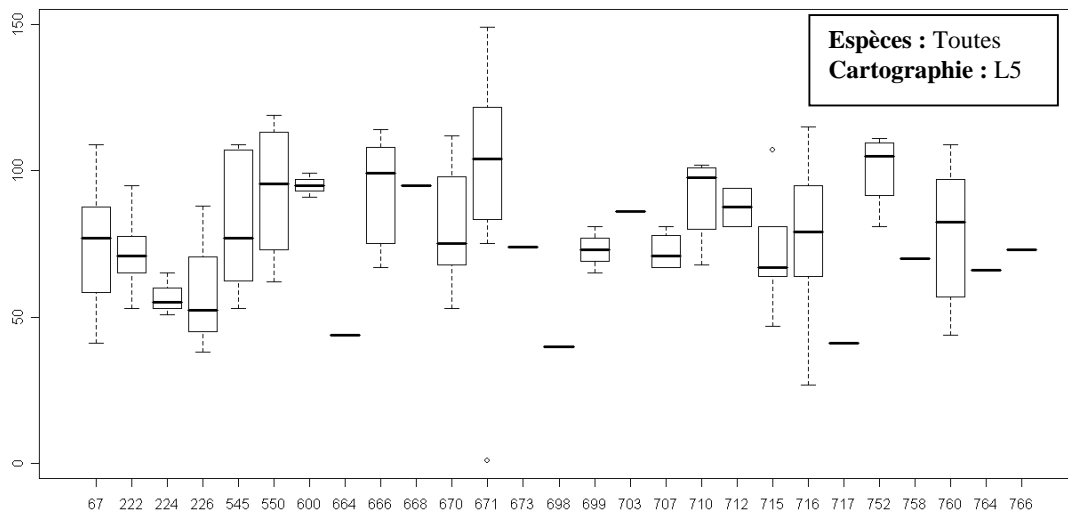


Figure 4 Répartition de la richesse spécifique moyenne observée par habitats L5

Tableau 1 Listes des 5 familles les plus observées dans chaque habitat

67	Acanthuridae	Chaetodontidae	Labridae	Pomacentridae	Scaridae
222	Acanthuridae	Chaetodontidae	Labridae	Lethrinidae	Pomacentridae
224	Acanthuridae	Chaetodontidae	Gobiidae	Labridae	Mullidae
226	Acanthuridae	Balistidae	Chaetodontidae	Labridae	Mugiloididae
545	Acanthuridae	Chaetodontidae	Labridae	Pomacentridae	Scaridae

550	Acanthuridae	Chaetodontidae	Labridae	Mullidae	Nemipteridae
600	Acanthuridae	Blenniidae	Chaetodontidae	Labridae	Monacanthidae
664	Acanthuridae	Balistidae	Blenniidae	Chaetodontidae	Gobiidae
666	Acanthuridae	Balistidae	Blenniidae	Chaetodontidae	Cirrhitidae
668	Acanthuridae	Balistidae	Blenniidae	Chaetodontidae	Cirrhitidae
670	Acanthuridae	Blenniidae	Chaetodontidae	Labridae	Mugiloididae
671	Acanthuridae	Blenniidae	Chaetodontidae	Labridae	Mullidae
673	Acanthuridae	Balistidae	Blenniidae	Chaetodontidae	Cirrhitidae
698	Acanthuridae	Chaetodontidae	Cirrhitidae	Echeneidae	Gobiidae
699	Acanthuridae	Blenniidae	Chaetodontidae	Gobiidae	Holocentridae
703	Acanthuridae	Apogonidae	Blenniidae	Caesionidae	Carcharhinidae
707	Acanthuridae	Blenniidae	Caesionidae	Chaetodontidae	Labridae
710	Acanthuridae	Chaetodontidae	Cirrhitidae	Holocentridae	Labridae
712	Acanthuridae	Blenniidae	Caesionidae	Chaetodontidae	Gobiidae
715	Acanthuridae	Chaetodontidae	Holocentridae	Labridae	Lethrinidae
716	Acanthuridae	Chaetodontidae	Labridae	Mullidae	Nemipteridae
717	Acanthuridae	Chaetodontidae	Gobiidae	Labridae	Mullidae
752	Acanthuridae	Blenniidae	Chaetodontidae	Labridae	Lethrinidae
758	Acanthuridae	Apogonidae	Balistidae	Blenniidae	Chaetodontidae
760	Acanthuridae	Blenniidae	Chaetodontidae	Gobiidae	Labridae
764	Acanthuridae	Apogonidae	Blenniidae	Chaetodontidae	Gobiidae
766	Acanthuridae	Apogonidae	Blenniidae	Caesionidae	Chaetodontidae

### 2.3. Habitats et Groupes fonctionnels

En termes de groupe fonctionnels, il n'a pas été mis en évidence de relations fortes et systématiques avec les habitats.

#### 2.3.1. Distance à la côte

Par exemple, on a voulu tester l'hypothèse d'un effet de la distance à la côte sur la taille des poissons observés. Le test a été mené sur les 10 espèces qui présentent le plus grand nombre d'observations.

Tableau 2 Les 10 espèces les plus rencontrées

Famille	Genre	Espec	Trophique	Classetaille	Mobilite	NbStations
SCARIDAE	Chlorurus	sordidus	H	4	3	119
ACANTHURIDAE	Ctenochaetus	striatus	H	3	2	118
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	lunulatus	C	2	2	101
MULLIDAE	Parupeneus	multifasciatus	C	3	3	100
LABRIDAE	Gomphosus	varius	C	3	2	98
NEMIPTERIDAE	Scolopsis	bilineatus	C	3	3	95
POMACENTRIDAE	Chrysiptera	taupou	Z	2	2	94
LABRIDAE	Thalassoma	hardwicke	C	3	3	94
LABRIDAE	Thalassoma	lunare	C	3	3	93
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	bankanensis	H	2	2	90

Pour 5 espèces (en jaune), on observe un effet positif de la distance à la côte sur la taille. Pour 2 espèces (en gris), on n'observe aucun effet significatif et pour 3 espèces, on observe un effet négatif (en rouge).



Il faut noter cependant que la variabilité dans la taille des observations est très importante et qu'en général, les  $R^2$  sont très faible. Une illustration de ces résultats est faite sur la Figure 5 pour *C. striatus*.

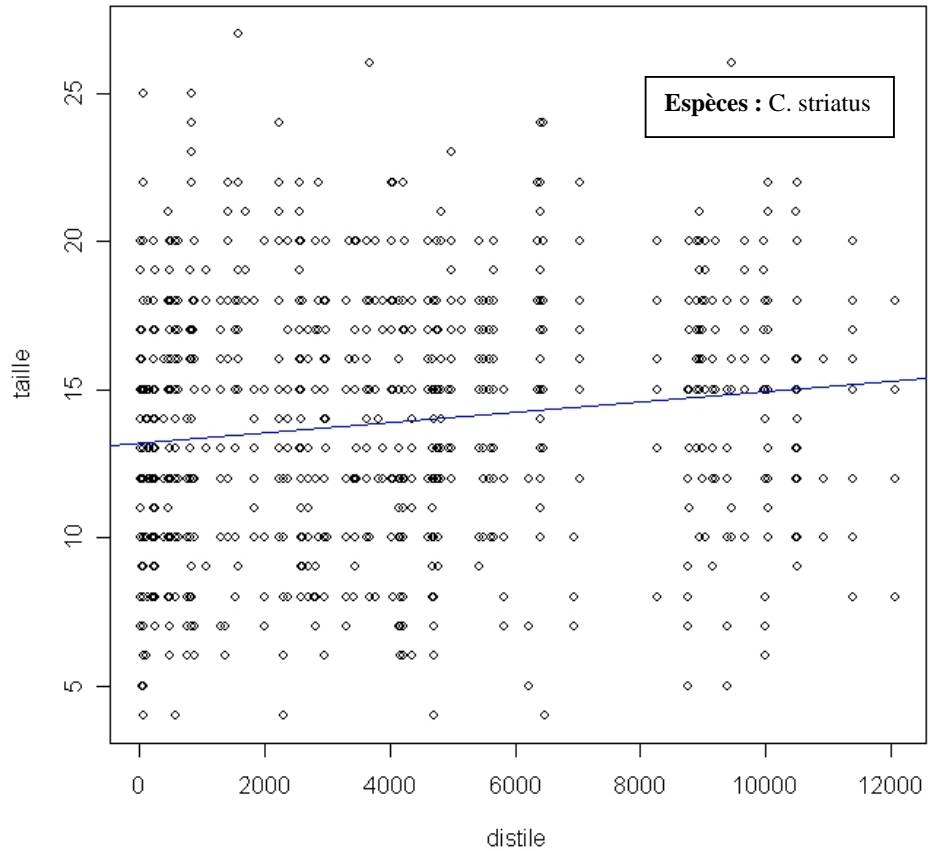


Figure 5 Effet de la distance à la côte sur la taille des observations pour *C. striatus* ( $R^2=0.02$ )

### 2.3.2. Habitats : Géomorphologie L1-5

En second lieu, on a regardé si la composition en termes fonctionnels au sein des stations était récurrente lorsque l'on se trouvait sur le même habitat. Pour cela on a effectué des ACP pour chacun des sites. Les points, qui représentent chacun une station, sont localisés dans l'espace en fonction de la structure fonctionnelle de la communauté de poisson qui a été observée. Ensuite, ils sont coloriés en fonction de l'habitat dans lequel ils se trouvent.

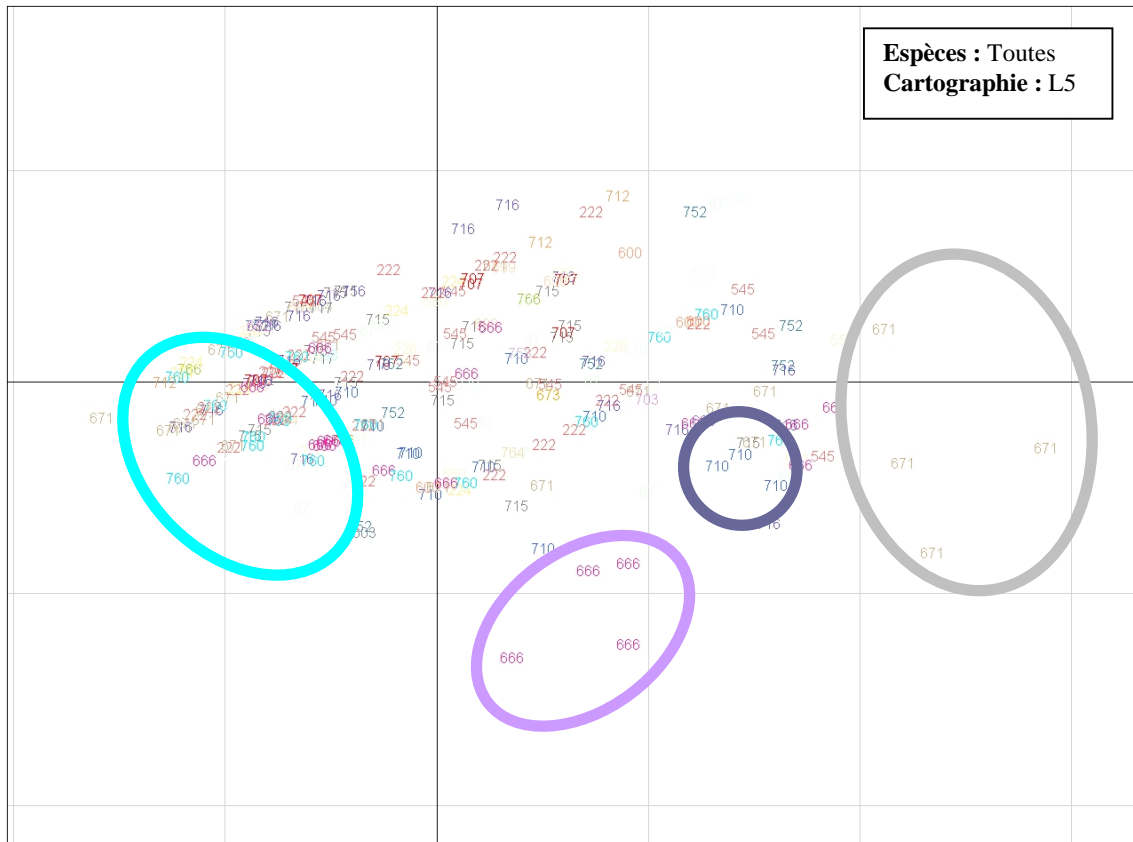


Figure 6 Structure trophique et Habitats L5

On voit sur le dessin que les nuages de points de chaque habitats (=couleur) se superpose. Quelques rares points semblent se démarquer qui appartiennent au même habitat. Donc hormis certaines stations qui ont des compositions trophiques atypiques et qui appartiennent au même habitat, il est difficile d'identifier des structures trophiques systématiques pour chaque habitat. Cependant, parmi les stations échantillonnées sur un même habitat il est fréquent de retrouver des stations qui présentent une structure trophique similaire. Ces stations peuvent bien sur être proche spatialement.

Les mêmes remarques peuvent être faites si l'on se base sur la structure en classe de taille (voir Figure 7) ou la mobilité (Non-montré ici).

Si l'on ne conserve les stations que d'un seul site, il arrive que la discrimination entre les habitats en termes de composition fonctionnelle soit plus nette. C'est le cas par exemple, en ce qui concerne la composition en classe de taille pour le site de Ouasse (voir Figure 8). De manière générale, la discrimination n'est pas aussi catégorique.

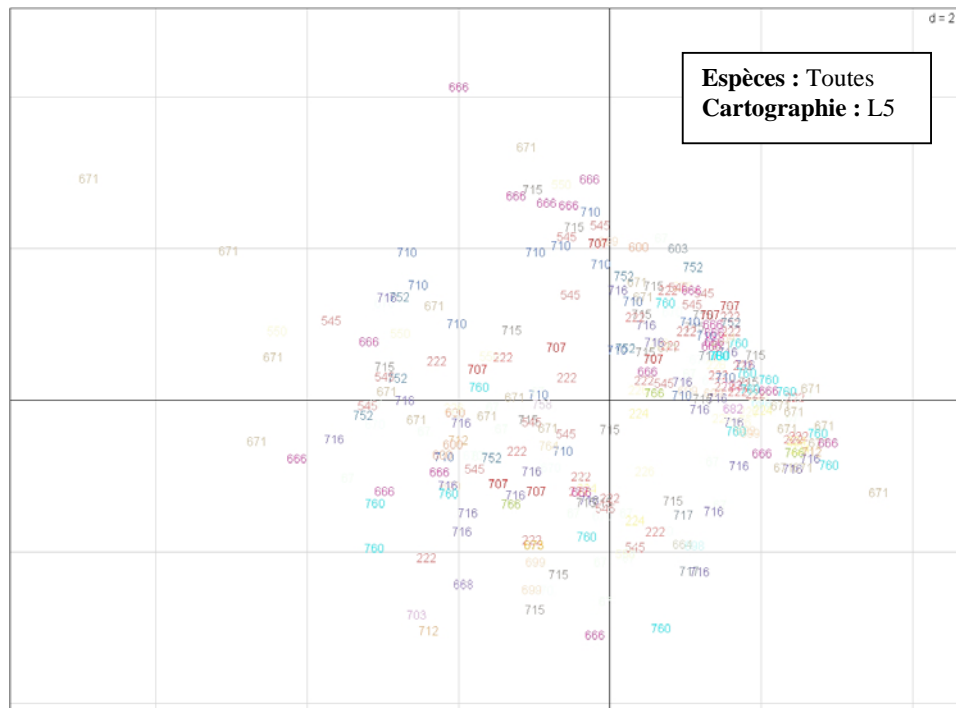


Figure 7 Structure en classe de taille et Habitats L5

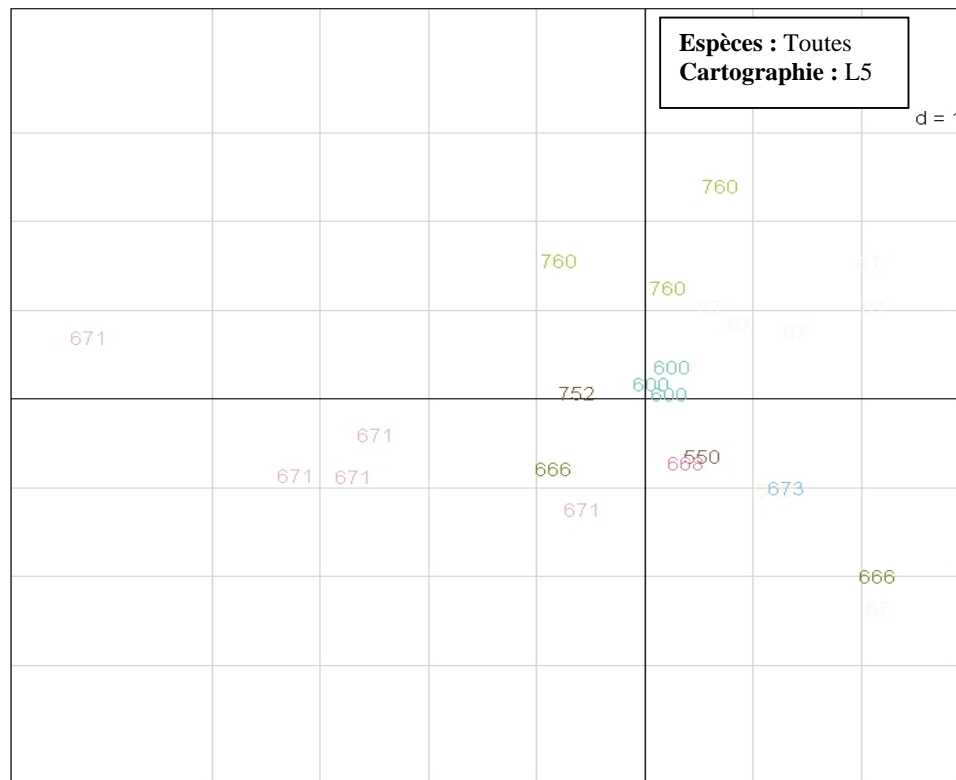


Figure 8 Classe de taille et Habitats L5 – Ouasse

Finalement, au vu de ses résultats, on ne peut pas dire qu'il y ait de relations évidentes et générales entre les habitats et les structures fonctionnelles des communautés de poisson. Cependant, il apparaît qu'il existe effectivement quelques relations. Elles n'ont pas été identifiées ici de manière individuelle car ce n'est pas le but principal de l'étude qui se veut plus général.

Ces résultats soulignent l'intérêt de tester si les habitats peuvent servir de critères de conservation pour les communautés de poisson. L'absence de relations strictes n'est pas une surprise en tant que tels car la définition d'habitats est ici très générale. De plus, nous n'avons pas le détail du niveau de couverture benthique.

### **3. Principe et Objectifs**

#### **3.1. Choix d'un axe d'étude**

Une phase de réflexion a été menée suite à cette phase exploratrice pour savoir la direction précise à suivre pour l'étude. 4 axes d'études possibles ont été proposés. Ils sont résumés ci-dessous :

- **Surrogacy, habitats géomorphologiques et groupes fonctionnels** : La délimitation d'un réseau d'AMP sur critères d'habitats récifo-lagonaires permet-elle l'intégration de la diversité des fonctions écologiques remplies par les poissons ?

- **Diversité et échelle spatiale** : Quelles échelles gouvernent les patrons de diversité chez les poissons récifo-lagonaires ?

- **Communautés de poisson et habitats géomorphologiques** : Quel est l'influence des habitats récifo-lagonaires sur la structuration des communautés de poissons ?

- **Profils d'habitats géomorphologiques** : Est-il possible d'établir le profil d'habitat géomorphologique et/ou benthique de chaque taxon (espèce, groupe, famille) ?

C'est finalement le premier axe qui a été retenu car il a été considéré comme le plus porteur et le plus intéressant à l'heure actuelle. De plus, c'est celui qui s'inscrit le plus dans la lignée du travail qui a été effectué sur l'île de Wallis en 2008.

#### **3.2. Problématique**

##### **3.2.1. Exposé du problème**

Les habitats récifo-lagonaires sont la seule information spatialement exhaustive dont on dispose. Lors de l'étude précédente sur Wallis, il a été montré que la représentation spécifique poisson au sein d'un réseau d'aires protégées basées sur les habitats n'est pas très importante. Cependant, on constate que la relation entre diversité spécifique et diversité des groupes fonctionnels est croissante mais pas strictement linéaire. En effet, on observe de fortes disparités dans le nombre d'espèces présentes au sein de chaque groupe fonctionnel (voir Figure 9). L'idée est donc d'estimer si la représentation « fonctionnelle » au sein d'un espace protégé basé sur les habitats serait plus satisfaisante que la représentation spécifique. On se propose d'utiliser pour l'évaluation les données rendues disponibles par le projet ZONECO en Nouvelle Calédonie.

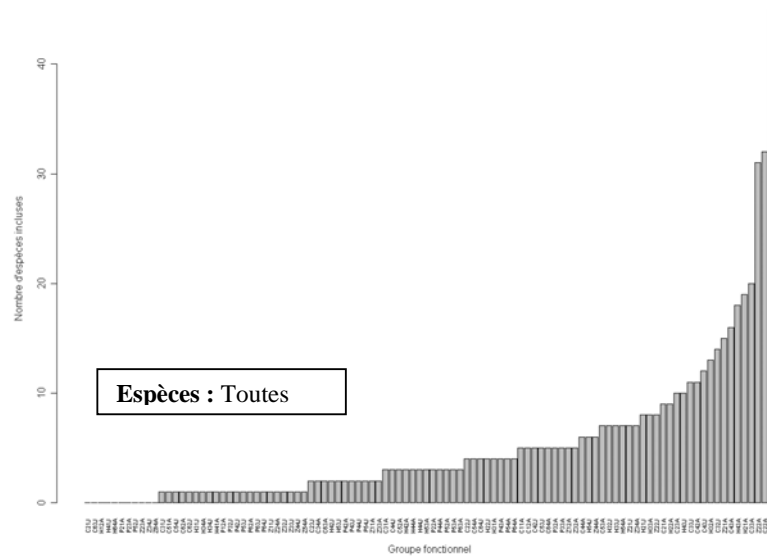


Figure 9 Nombre d'espèces présentes dans chaque groupe fonctionnel

### 3.2.2. Problématique

Plus précisément, il est possible de reformuler le problème exposé ci-dessus. Il s'agit de déterminer si la sélection de sites à protéger obtenue en essayant de représenter un maximum d'habitats (habituellement 30%) entraîne une représentation de la diversité fonctionnelle supérieure à celle qui aurait été obtenue si la sélection des sites était faite sans critère préalable ou sur d'autres critères.

### 3.2.3. Enjeux du problème

La réponse à cette question revêt un enjeu certain. En effet, les décideurs doivent atteindre l'objectif de protéger jusqu'à 30% de leurs espaces naturels. Cependant, ils sont confrontés au problème de savoir où implémenter de nouvelles aires protégées. Les habitats récifo-lagonaires sont un outil pratique, si ce n'est le seul outil complet, qui peut être utilisé comme aide à la décision. Cependant, la pertinence biologique réelle de ces habitats en termes de conservation est aujourd'hui assez peu évaluée. C'est ce que nous nous proposons de faire ici.

La problématique de conservation est très complexe et nous ne prétendons pas proposer une solution universelle. L'utilisation des habitats récifo-lagonaires est une approche complémentaire qui est absolument compatible avec les approches habituelles de conservation (ex. avis d'expert, pris en compte de facteurs socio-économiques...). De plus, il est question dans cette étude d'identification de nouveaux sites à protéger et on ne débattera pas de l'importance primordiale de la gestion de ces espaces.

## 4. Méthodes

### 4.1. Principe de la méthode

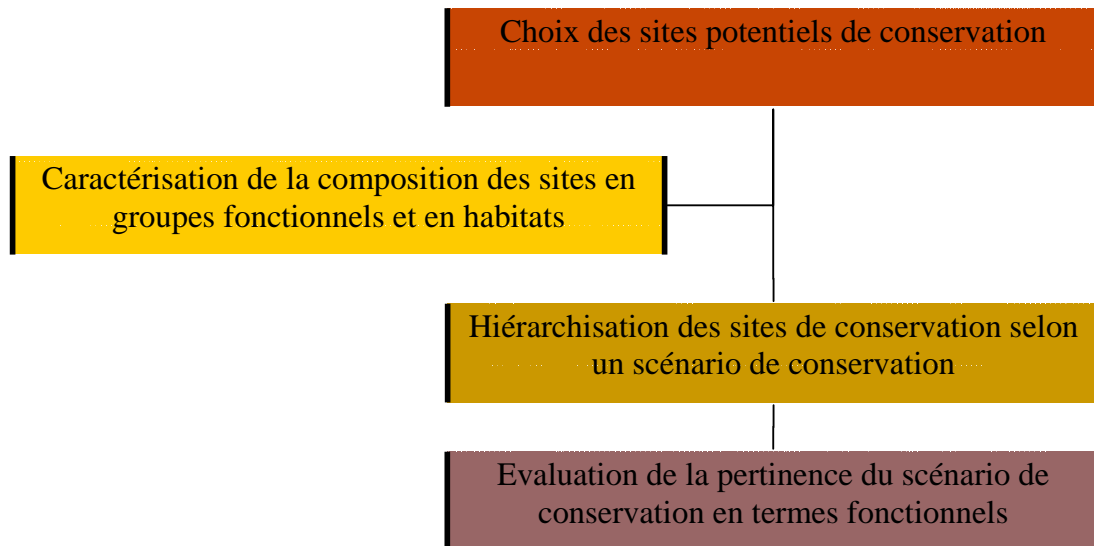


Figure 10 Principe de la méthode

Pour répondre à la problématique, nous allons utiliser une méthode similaire à celle utilisée pour Wallis dite de « Surrogacy ». La méthode a cependant été quelque peu modifiée. La Figure 10 schématise globalement la démarche.

Dans un premier temps, il faut identifier les sites potentiels de conservation, c'est-à-dire les sites qui sont susceptible d'être intégrer au réseau d'aires protégées. Dans notre cas, il faut être capable d'associer à ces sites (1) un ensemble de groupes fonctionnels ichthyologiques (2) ainsi qu'un ensemble d'habitats présents. Ensuite, ces sites sont hiérarchisés selon un scénario de conservation précis (ex. optimisation de la diversité géomorphologique). On évalue alors la représentation fonctionnelle qui est obtenue selon ce scénario de conservation. Le détail de chacune de ces étapes est détaillé ci-après.

### 4.2. Choix des sites potentiels de conservation

Dans un cas réel, l'ensemble des sites potentiels de conservation est l'ensemble des sites qu'il est possible d'inclure dans le réseau d'aires protégés. Cependant, le but est ici de relier les données habitats aux données sur les espèces. Par conséquent les seuls sites de conservation que l'on peut considérer sont les sites pour lesquels on dispose de données relatives aux espèces. Ce sont donc les stations d'échantillonnages qui constituent l'ensemble des sites potentiels de conservation (voir Figure 1).

### 4.3. Caractérisation des stations d'échantillonnage en termes d'habitats

Ensuite, il faut caractériser ces stations en termes d'habitats. *De facto*, une station peut être associée à l'habitat sur lequel il se trouve. Cependant pour inclure plus d'information, nous avons inclut les habitats situé dans un voisinage proche de la station. Les stations sont donc caractérisées par l'ensemble des habitats situés dans un voisinage donné. La Figure 11 montre par exemple l'information des habitats qui est incluse lorsque l'on fixe un voisinage à 600m.

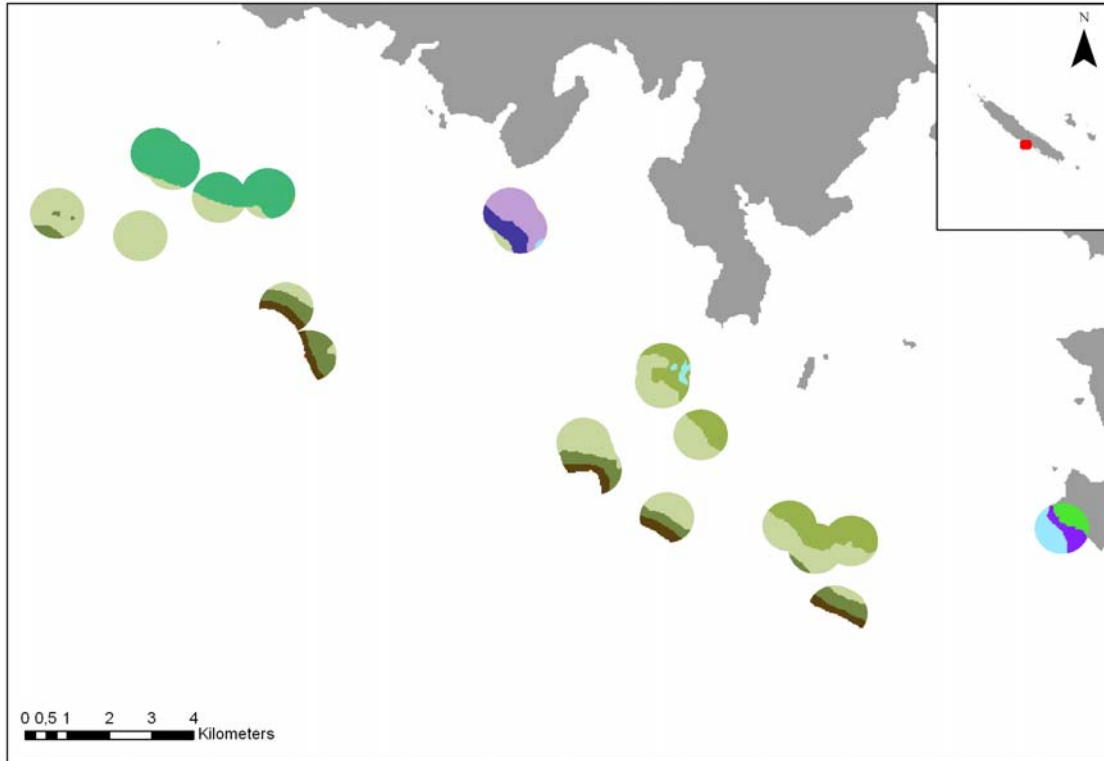


Figure 11 Information sur les Habitats dans les 600m autour des stations (Site de Moindou uniquement, Sites IRD)

#### 4.4. Sélection et hiérarchisation des stations selon un scénario de conservation

On dispose alors d'un ensemble de sites potentiels de conservation pour lesquels on dispose à la fois de données sur les habitats et de données sur les espèces. On va alors ordonner les stations selon un scénario de conservation (ex. en optimisant l'augmentation de la diversité habitats). Par la suite, on regarde comment évolue la diversité fonctionnelle poisson alors que les stations sont sélectionnés selon ce scénario. L'ensemble des scénarios est décrit ci-dessous.

##### **Scénario H1 : Optimisation de la diversité habitat par rareté-complémentarité**

L'objectif est de sélectionner les stations en les ordonnant de manière à ce que la diversité 'habitats' augmente le plus rapidement possible.

Pour cela on utilise un algorithme itératif de type complémentarité-rareté (RaC). En d'autres termes, la première station est celle qui présente dans son voisinage l'habitat le moins présents, c'est-à-dire celui qui apparaît le moins souvent dans le voisinage d'une station (Initialisation par RARETE). Ensuite, les stations vont être ajoutées à tour de rôle. La prochaine station ajoutée est alors celui qui possède l'habitat le moins présent dans les stations restantes (RARETE) qui n'est pas déjà inclus dans l'ensemble des sites sélectionnés (COMPLEMENTARITE).

On obtient ainsi une liste de stations ordonnées de manière à augmenter la diversité habitats le plus rapidement possible.



### **Scénario H2 : Optimisation de la diversité habitat par richesse-complémentarité**

L'objectif est le même que le scénario précédent. Il s'agit là aussi d'ordonner les stations de manière à ce que la diversité 'habitats' augmente le plus rapidement possible.

Cette fois, on utilise un algorithme itératif de type complémentarité-richesse (RiC). Le fonctionnement de cet algorithme est très similaire à l'algorithme RaC. La première station intégrée est celle qui présente dans son voisinage le plus grand nombre d'habitats (Initialisation par RICHESSE). Ensuite, les stations vont être ajoutées à tour de rôle. La prochaine station ajoutée est celle qui possède le plus grands nombre d'habitats (RICHESSE) parmi les habitats les moins présents parmi les sites sélectionnés (COMPLEMENTARITE).

Comme précédemment, on obtient ainsi une liste de stations ordonnées de manière à augmenter la diversité 'habitats' le plus rapidement possible.

### **Scénario F : Optimisation de la diversité fonctionnelle**

L'approche est différente des précédentes. Ce scénario n'utilise pas les données sur les habitats. On ordonne les stations de manière à ce que la diversité fonctionnelle augmente le plus rapidement possible. C'est en quelque sorte le scénario de référence idéal, celui qu'il serait possible d'atteindre si on disposait de données exhaustives sur la distribution des espèces.

L'algorithme de hiérarchisation utilisé est le même que celui utilisé en H1, l'algorithme de complémentarité-rareté RaC. Cette fois, la station ajoutée est celle qui possède le(s) groupe(s) fonctionnel(s) le moins abondant parmi les stations restantes (RARETE) et le moins présent dans les sites déjà sélectionnés (COMPLEMENTARITE).

On obtient une liste de stations ordonnées de manière à augmenter la diversité fonctionnelle 'poisson' le plus rapidement possible.

### **Scénario A : Sélection aléatoire**

Selon ce scénario, les stations sont hiérarchisées aléatoirement. Les résultats de ce scénario serviront de référence neutre pour la comparaison avec les résultats obtenus selon d'autres scénarios.

Pour cela, on réalise simplement 1000 permutations de l'ensemble des stations disponibles. Il est alors possible d'obtenir une valeur aléatoire moyenne, un quantile supérieur à 97.5% et un quantile inférieur à 2.5%.

### **Scénario H# : Minimisation de la diversité habitat**

L'objectif est de sélectionner ces sites en les ordonnant de manière à ce que la diversité habitats augmente **le moins** rapidement possible. Il correspond à un scénario catastrophe au niveau de la diversité habitat.

L'algorithme utilisé fonctionne de manière inverse par rapport à l'algorithme RaC dont le but est d'optimiser la diversité habitat. Une station est ajoutée au réseau existant si elle possède l'habitat le plus commun à la fois dans les sites non sélectionnés et dans les sites sélectionnés.

### Scénario F# : Minimisation de la diversité fonctionnelle

De même que H#, ce scénario est correspond au scénario catastrophe pour la diversité fonctionnelle. Les sites sont ordonnés de manière à ce que la diversité **fonctionnelle** augmente **le moins** rapidement possible.

L'algorithme est le même qu'en H# mais appliqué aux données fonctionnelles.

#### 4.5. Evaluation de la pertinence des scénarios de conservation

La dernière étape consiste à évaluer la pertinence de ces scénarios de conservation. Il est question dans notre étude de pertinence concernant la représentation fonctionnelle. Il s'agit d'évaluer la capacité de ces scénarios de conservation à permettre la sélection d'un réseau d'aires protégées intégrant un maximum de groupes fonctionnels pour les poissons.

Pour cela, on utilise la méthode des courbes d'accumulations et le calcul de SAIs.

##### 4.5.1. Courbes d'accumulations

Les courbes d'accumulations ont déjà été utilisées pour l'île Wallis. Dans notre cas, elles représentent graphiquement le nombre de groupes fonctionnels qui sont intégrés au réseau en fonction du nombre de sites qui sont ajoutés (voir Figure 12). Plus la courbe croît rapidement, plus le scénario est efficace dans sa capacité à représenter les groupes fonctionnels des communautés de poisson. La courbe aléatoire moyenne obtenue à partir du scénario A sert de référence. Il est aussi possible de représenter les quantiles de distributions à 2.5% et 97.5% obtenus sur les 1000 permutations aléatoires.

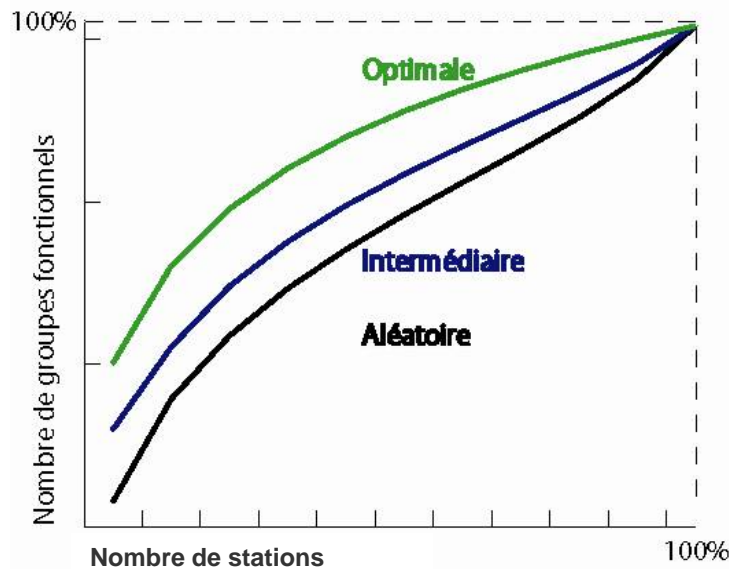


Figure 12 Courbes d'accumulations

##### 4.5.2. SAI

Pour comparer la position relative des courbes obtenues à partir des différents scénarios, on peut observer visuellement laquelle est au-dessus de l'autre. Cependant, dans de nombreux cas, les courbes peuvent se croiser et il peut être difficile alors de définir laquelle est globalement au-dessus de l'autre et inversement. Pour cette raison, un indice numérique a été

développé, le SAI : Species Accumulation Index. Cet indice donne la position relative globale d'une courbe vis-à-vis de la courbe aléatoire moyenne et de la courbe optimale, respectivement en bleu et en vert sur la Figure 12.

Pour une courbe donnée, le SAI se calcule comme suit :

$$SAI = \frac{s - r}{o - r}$$

$s$  correspond à la surface située sous la courbe associée au scénario  
 $r$  est la surface sous la courbe aléatoire moyenne (scénario A)  
 $o$  est la surface située sous la courbe optimale (scénario F)

Ainsi, le SAI d'un scénario efficace sera proche de 1. Le SAI d'un scénario neutre aura une valeur autour de 0. Enfin, à un mauvais scénario correspondra un SAI négatif (voir Figure 13).

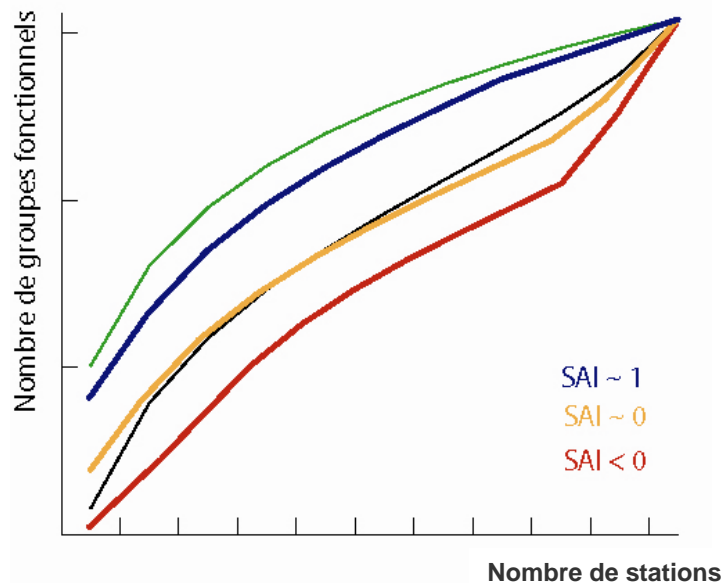


Figure 13 Signification du SAI

#### 4.6. Indices de richesses et de diversité

On définit les termes suivants :

-**Richesse en habitats** : Nombre total d'habitats représentés.

-**Richesse fonctionnelle** : Nombre total de groupes fonctionnels représentés.

-**Richesse spécifique** : Nombre total d'espèces représentées.

-**Indice de Shannon** : Pour un ensemble d'entité présente en proportion ( $p_i$ ) avec  $\sum p_i = 1$  :

$$\text{Indice de Shannon} = - \sum p_i * \log(p_i)$$

-**Diversité habitat ou diversité géomorphologique (Shannon)** : Indice de Shannon, les proportions sont calculées en termes d'occurrences des habitats. Un habitat domine s'il est présent beaucoup plus de fois dans le voisinage des stations.

-**Diversité fonctionnelle (Shannon sur espèces)** : Indice de Shannon, les proportions sont calculées en termes de nombre d'espèces dans chaque groupe fonctionnel. Un GF est dominant s'il est représenté par plus d'espèces.

#### **4.7. Paramètres de l'étude**

Le Tableau 3 reprend les principaux paramètres de l'étude

**Tableau 3 Paramètres de l'étude**

<b>Sites</b>	<b>Espèces</b>	<b>Traits fonctionnels</b>	<b>Cartographies</b>	<b>Distance</b>
Koné Lifou Moindou Ouassé Thio	Toutes Commerciales	Régime trophique Mobilité Classe de taille Stade	Géomorphologie (L3-5)	0-5000m

## **5. Résultats**

### **5.1. Efficacité des scénarios**

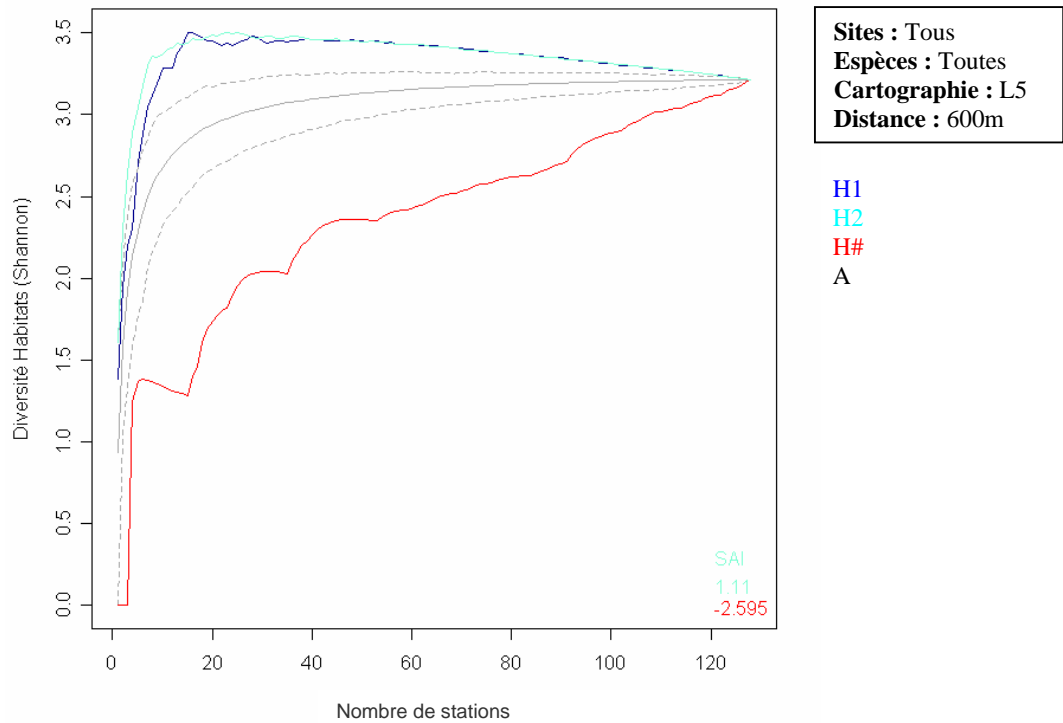
L'efficacité des scénarios (et indirectement de l'algorithme associé) correspond à leurs capacités à atteindre l'objectif qui leur est directement fixé. L'efficacité d'un scénario est dépendante de l'efficacité de l'algorithme associé. Ceci est à ne pas confondre avec la pertinence du scénario qui concerne ici sa capacité concernant la représentation fonctionnelle en termes de surrogacy (voir 4.5). Par exemple, pour le scénario H1 (algorithme RaC), le but est d'optimiser la diversité en habitats géomorphologiques. Son efficacité concerne donc sa capacité effective à intégrer une forte diversité d'habitats.

#### **5.1.1. Scénarios H1, H2 et H#**

Les deux scénarios visent à optimiser la diversité habitats au sein du réseau. Au vu des résultats, il apparaît que les deux scénarios H1 et H2 sont efficaces. Ils permettent tous deux d'inclure plus rapidement une diversité d'habitats géomorphologiques au sein du réseau. Sur l'exemple de la Figure 14, on voit clairement que les algorithmes H1 et H2 surpasse le quantile supérieur obtenu aléatoirement. Dans ce cas, c'est le scénario H1 qui sert de référence pour le calcul de SAI ( $SAI_{H1}=1$  et  $SAI_{H2}=1.11$ ).

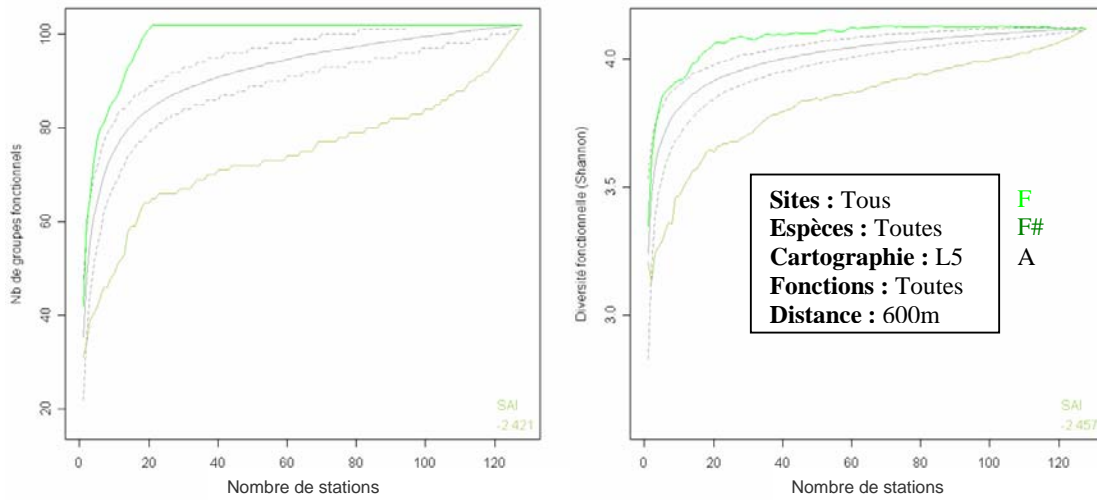
De plus, au vu de l'ensemble des résultats que nous avons obtenus, il apparaît que dans 59,7% des cas, le scénario H2 (Algorithme RiC) est plus efficace que l'algorithme H1 (Algorithme RaC).

L'algorithme H# dont le but est de minimiser la diversité habitats au sein du réseau se montre aussi très efficace. La Figure 14 en est un exemple. On voit clairement sur cette figure que le scénario H# tente tant que possible d'écraser la diversité habitats au sein du réseau ( $SAI_{H\#}=-2.595$ ).



### 5.1.2. Scénarios F et F#

De même que pour les scénarios de types 'Habitats', l'algorithme RaC est performant pour les scénarios de types 'Fonctionnels'. Ainsi, F et F# sont efficaces quels que soient les paramètres utilisés. Le scénario F est efficace que l'on s'intéresse à la richesse ou à la diversité spécifique (voir Figure 15). Le scénario F sert ici de référence ( $SAI_F=1$ ). Le scénario F# minimise effectivement la richesse ( $SAI_{F\#}=-2.421$ ) et la diversité ( $SAI_{F\#}=-2.457$ ) fonctionnelles.



**Figure 15 Efficacité des scénarios F et F#.** A gauche, le graphique représente l'évolution de la richesse fonctionnelle au sein du réseau. A droite le graphique représente l'évolution de la diversité fonctionnelle.

En conclusion, on observe effectivement que les algorithmes et les scénarios associés sont efficaces et réalisent en effet les objectifs directement escomptés.

## 5.2. Scénario Aléatoire

Avant d'analyser la surrogacy des habitats en fonction des différents scénarios, il est intéressant d'étudier les résultats obtenus selon le scénario aléatoire A. Parmi les 1000 tirages (ou permutations) aléatoires, il est des tirages qui assurent une meilleure représentation fonctionnelle que d'autres. Il en va de même pour la représentation en habitats. Ainsi, il est intéressant de regarder si les tirages qui permettent une meilleur représentation en habitats sont aussi ceux qui permettent une meilleure représentation spécifique et inversement.

Pour cela, on s'intéresse à l'aire sous la courbe (AUC) obtenue pour chacun des tirages. Plus l'aire sous la courbe est importante, plus la représentation globale est satisfaisante. L'AUC joue le rôle de SAI absolu.

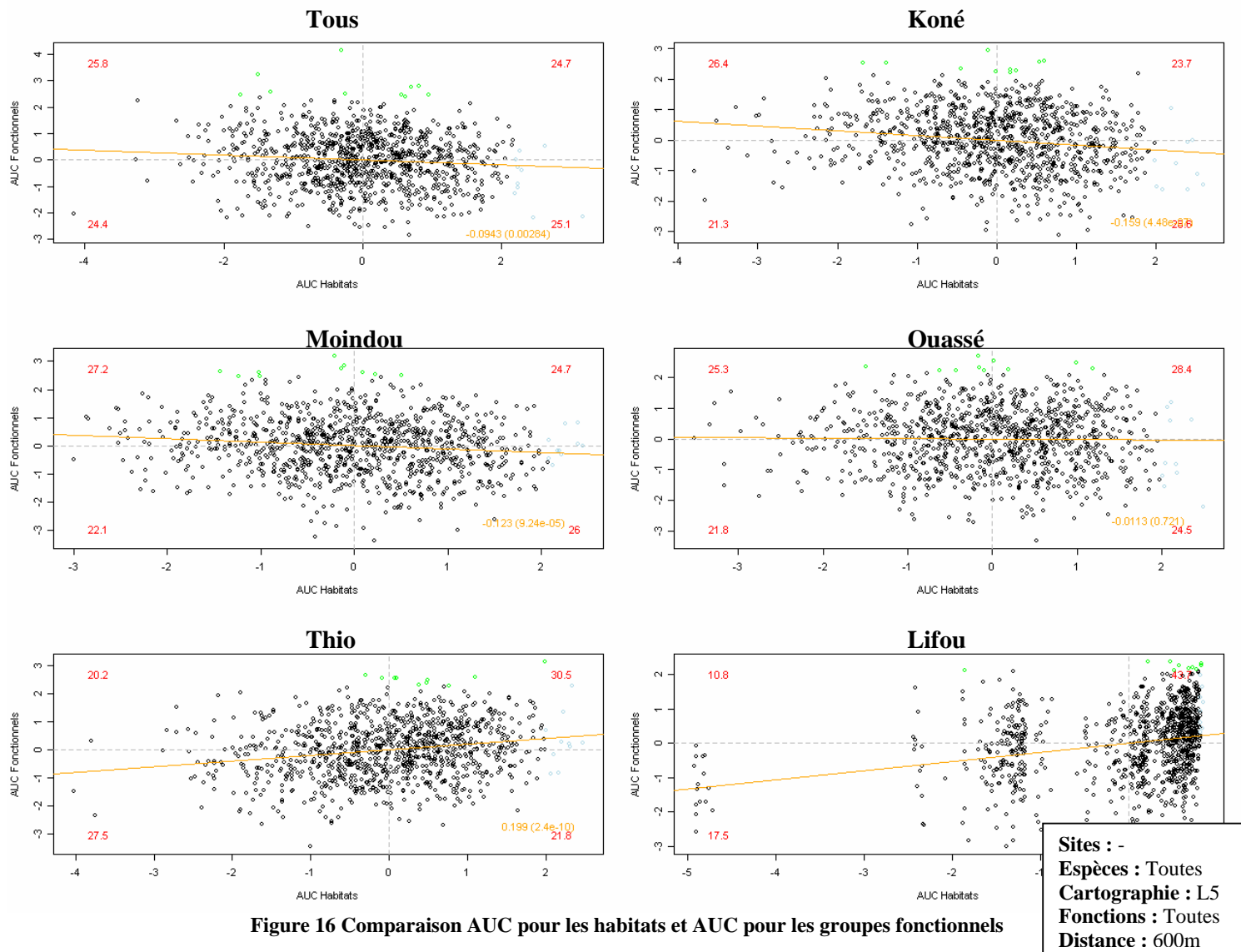


Figure 16 Comparaison AUC pour les habitats et AUC pour les groupes fonctionnels



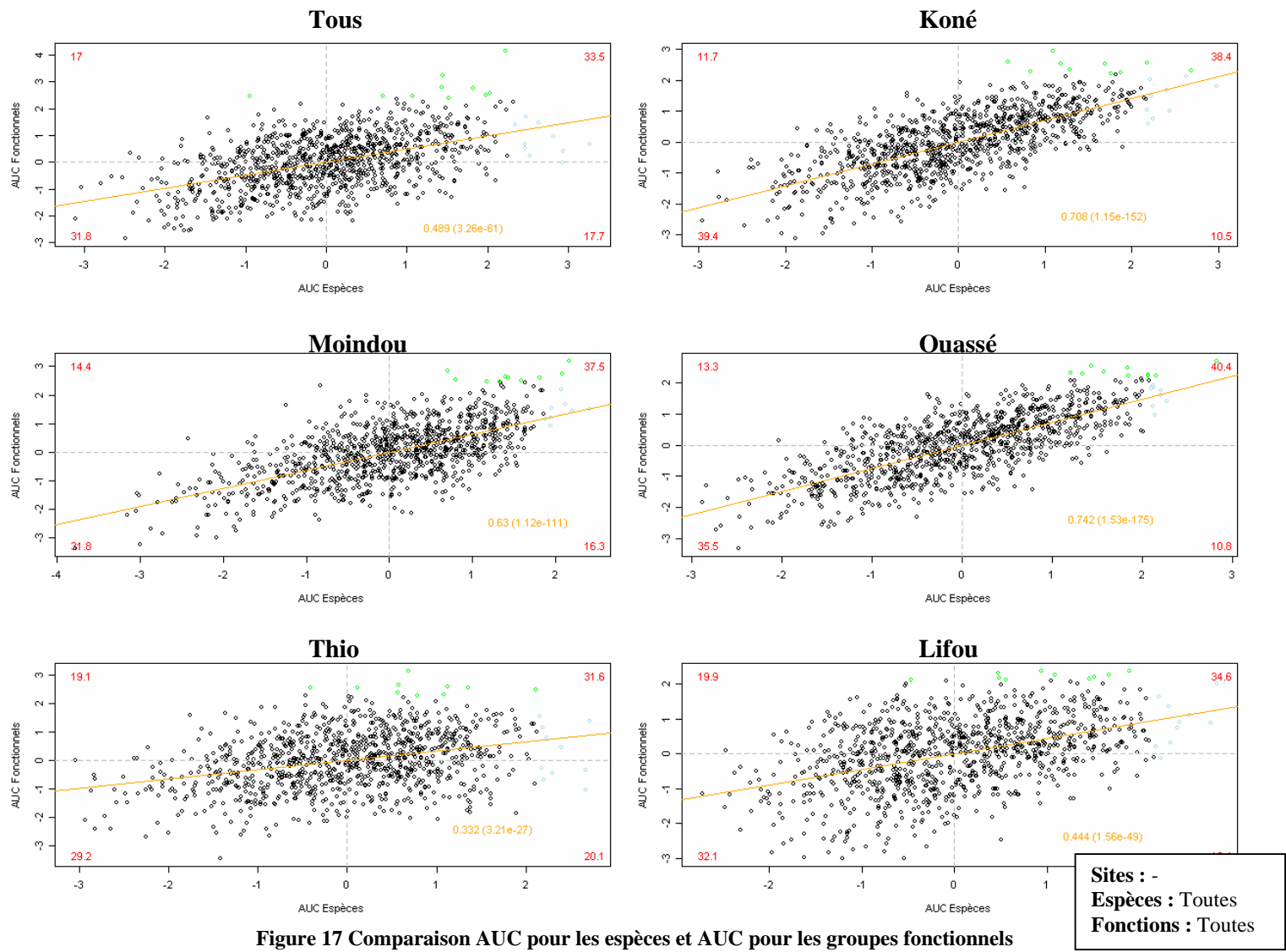


Figure 17 Comparaison AUC pour les espèces et AUC pour les groupes fonctionnels

On voit sur la Figure 16, qu'il ne semble pas y avoir de lien entre AUC pour les habitats et AUC pour les espèces. En effet, la régression donne lieu à une droite horizontale. Cette droite n'est que légèrement croissante pour les sites de Thio et Lifou. Ceci signifie que, pour la cartographie L5 et pour un rayon de voisinage de 600m, un scénario qui favorise la diversité habitats ne présage en rien sur sa capacité à favoriser par la même occasion la richesse fonctionnelle. Ainsi, tout du moins pour ces paramètres, le seul espoir que l'on a est que le scénario type 'Habitats' que l'on utilise nous permette d'atteindre préférentiellement les scénarios qui maximise diversité habitats et richesse fonctionnelle. Sur la Figure 16, cela correspond aux points situés dans le quadrant en haut à droite de chacun des graphes.

Les résultats présentés sur la Figure 17 sont intéressants à noter bien qu'il sorte un peu du cadre exact de notre étude. Le principe est le même que sur la Figure 16. Cette fois c'est l'AUC pour les espèces qui représentés face à l'AUC pour les groupes fonctionnels. On observe que, quelque soient le(s) les site(s) considéré(s), la pente observée est positive et significative. En d'autres termes, un scénario qui favorise la richesse spécifique a aussi tendance à favoriser la richesse fonctionnelle, et inversement. Ce résultat bien qu'intuitif n'en reste pas moins intéressant à constater. De plus, il est intéressant de remarquer la forte variabilité des résultats. Ainsi, certains scénarios bien qu'ils optimisent la diversité fonctionnelle n'optimisent pas indubitablement la diversité spécifique, et inversement.

### **5.3. Pertinence des scénarios (Surrogacy): représentation fonctionnelle**

Dans ce chapitre, on s'intéresse maintenant au cœur du sujet de l'étude : la surrogacy. Il s'agit d'évaluer directement la capacité des cartographies d'habitats à servir d'indicateur de la diversité fonctionnelle des communautés de poissons, afin de permettre la délimitation d'AMP.

Les résultats obtenus pour une distance de 600m en utilisant la cartographie L5 sont représentés sur la Figure 18 (Richesse fonctionnelle) et la Figure 19 (Diversité fonctionnelle). Globalement, la même interprétation peut-être faite, que l'on se base sur la richesse ou sur la diversité fonctionnelle.

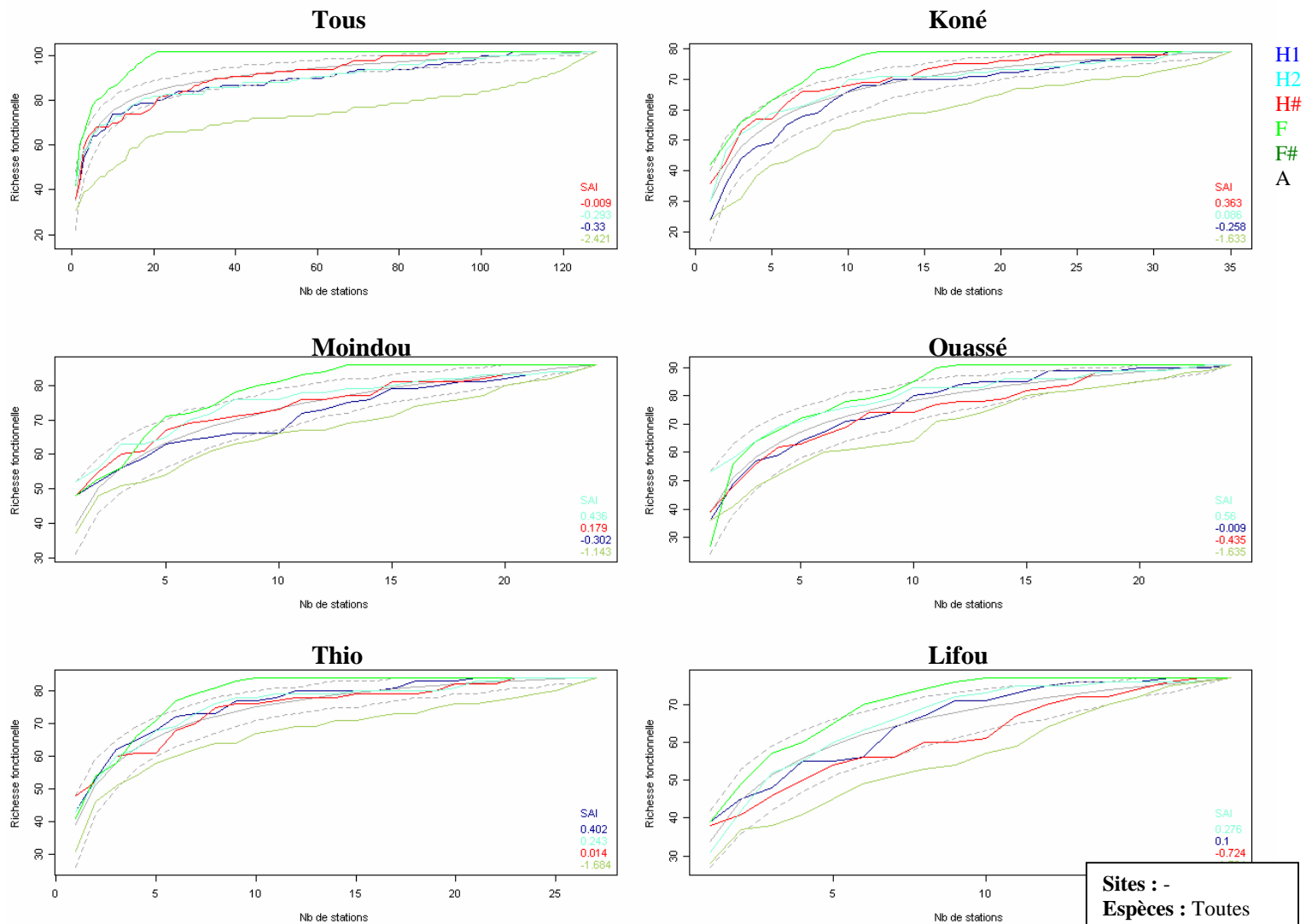


Figure 18 Représentation fonctionnelle en fonction du scénario de conservation choisi

Sites : -  
 Espèces : Toutes  
 Cartographie : L5  
 Fonctions : Toutes  
 Distance : 600m

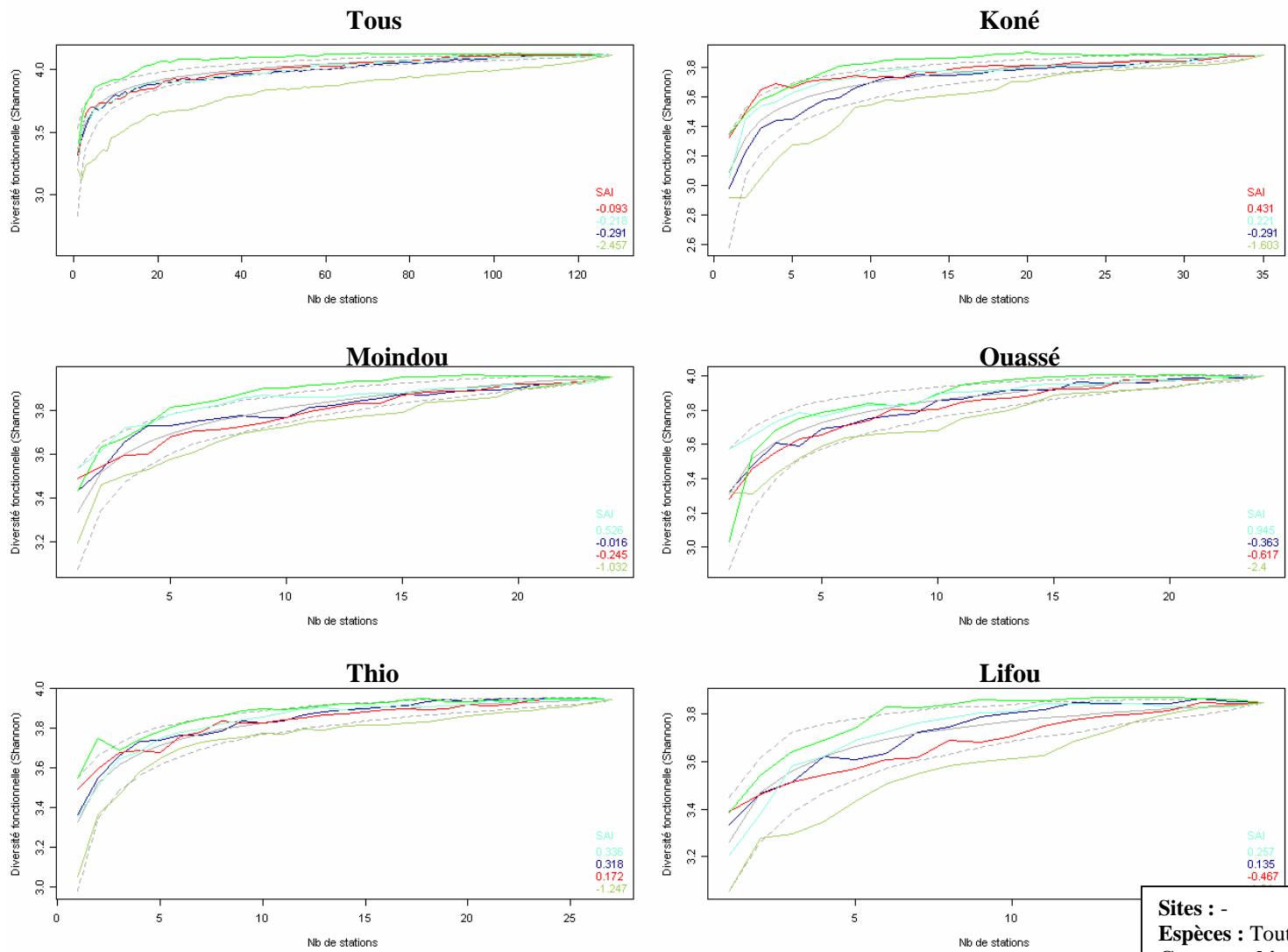


Figure 19 Diversité fonctionnelle de Shannon (espèces) en fonction du scénario de conservation choisi

Sites : -  
 Espèces : Toutes  
 Cartographie : L5  
 Fonctions : Toutes  
 Distance : 600m

### **5.3.1. Scénarios H1/H2 vs. scénario A**

**Les scénarios H1 et H2 n'ont pas montré de tendance nette à améliorer la représentation fonctionnelle au sein du réseau plus rapidement que la sélection au hasard.**

Il est important de noter que la sélection aléatoire n'est pas une sélection neutre vis-à-vis de la diversité habitat. En effet, le plan d'échantillonnage est structuré indirectement en fonction des habitats. En d'autre terme, les sites d'échantillonnages ont été choisis de manière à représenter un grand nombre d'habitats. Par conséquent, la sélection des sites aléatoire permet aussi une représentation géomorphologique non négligeable, bien qu'inférieure à celle obtenue grâce à H1 et H2 (voir 5.1.1). On s'intéresse donc par la suite aux scénarios F# et H#.

### **5.3.2. Scénarios H1/H2 vs. scénario F#**

Toujours sur la Figure 18, on observe que les scénarios H1 et H2 surpasse nettement le scénario F#, quelque soit le site considéré (ex. lorsque tous les sites sont considérés :  $SAI_{H1} = -0.33$ ,  $SAI_{H2} = -0.293$  et  $SAI_{F\#} = -2.421$ ). Ainsi, l'utilisation des habitats comme critères pour la délimitation d'AMP permet une représentation fonctionnelle bien supérieure à la représentation minimale qui pourrait être obtenue en cas de scénario catastrophe.

### **5.3.3. Scénarios H1/H2 vs. scénario H#**

Les résultats obtenus selon le scénario H#, scénario catastrophe au niveau de la diversité habitat, sont assez contre-intuitifs. En effet, il apparait que le scénario H# surpasse le scénario H1 dans 56% des cas et le scénario H2 dans 53% des cas, quelque soit la cartographie considérée. Ce résultat permet de penser qu'un scénario qui minimise la diversité 'habitat' permet une représentation fonctionnelle au moins aussi importante que les scénarios qui optimise la diversité 'habitat'.

### **5.3.4. Evolution de la diversité géomorphologique pour le scénario F**

Le scénario F dont le but est d'améliorer la représentation fonctionnelle n'est pas un scénario pour lequel la diversité géomorphologique croît plus rapidement que lorsque le choix des sites est aléatoire (Figure 20). De plus, le scénario F# n'est pas un scénario pour lequel la représentation en habitats est systématiquement inférieur à la représentation du scénario F (voir tous sites et Ouassé). Ceci rejoint la remarque faite en 5.2, selon laquelle les simulations qui optimisent la diversité fonctionnelle ne sont pas les mêmes que celles qui optimisent la diversité en habitats.

## **5.4. Pertinence des scénarios : représentation spécifique**

Outre la représentation fonctionnelle, nous nous sommes aussi intéressés à la représentation spécifique au sein du réseau (Figure 21).

Globalement les résultats ne sont pas fondamentalement différents lorsque l'on observe la représentation spécifique plutôt que la représentation fonctionnelle. Aucun des scénarios H1 et H2 ne montre de capacité particulière à représenter la diversité spécifique. De plus, le scénario H# ne score pas moins bien que le scénario aléatoire A ou les scénarios H1 et H2.

En revanche, le scénario F qui optimise la richesse fonctionnelle au sein du réseau montre une tendance moins nette à optimiser la richesse spécifique. De même, le scénario F#, scénario catastrophe en terme de richesse fonctionnelle, tend à sous représenté la richesse spécifique mais de manière moins nette que pour la richesse fonctionnelle. Ceci souligne la remarque faite en 5.2, richesse fonctionnelle et spécifique sont liées mais la variabilité est élevée.

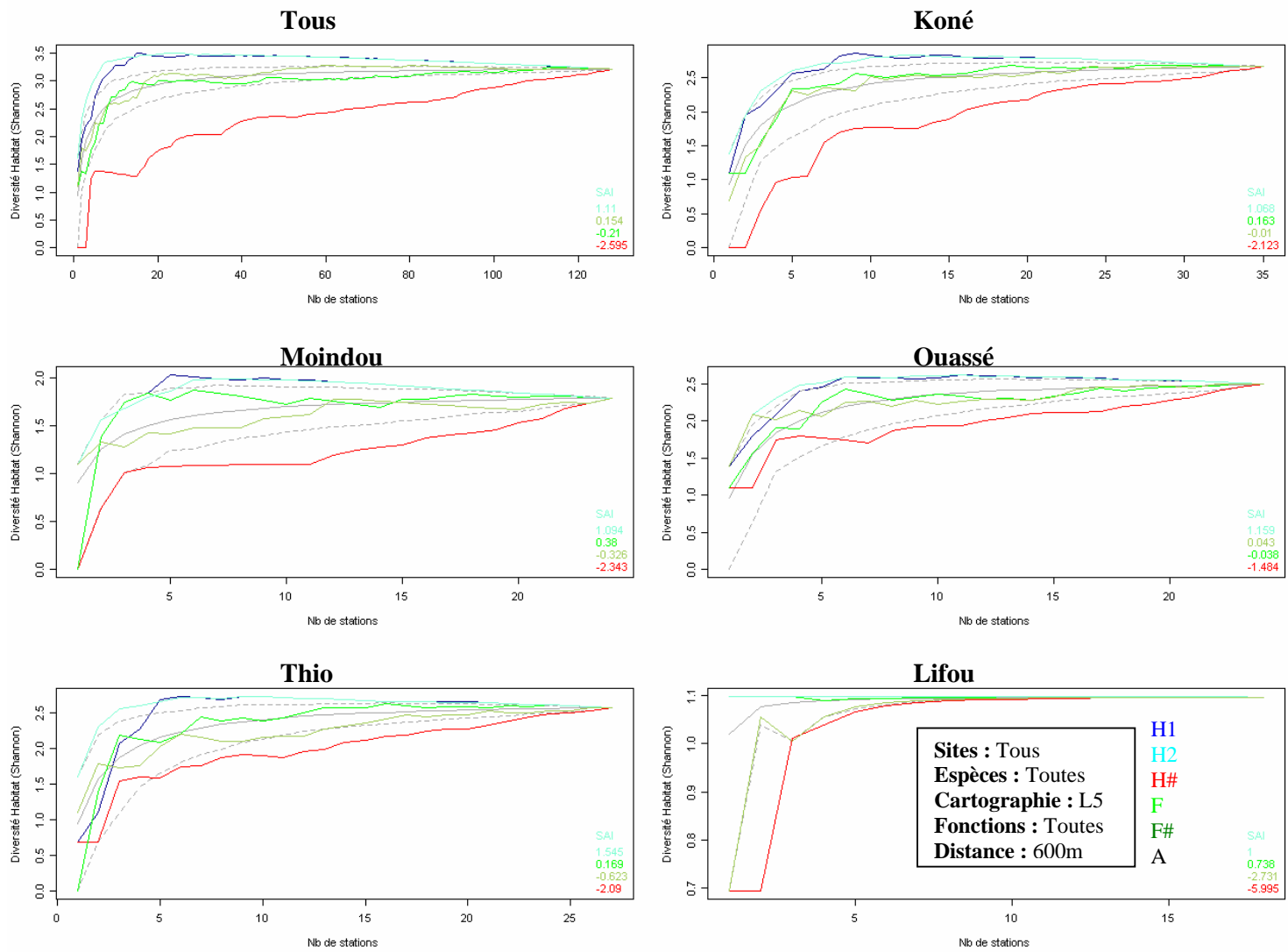


Figure 20 Diversité géomorphologique (Indice de Shannon) pour les différents scénarios

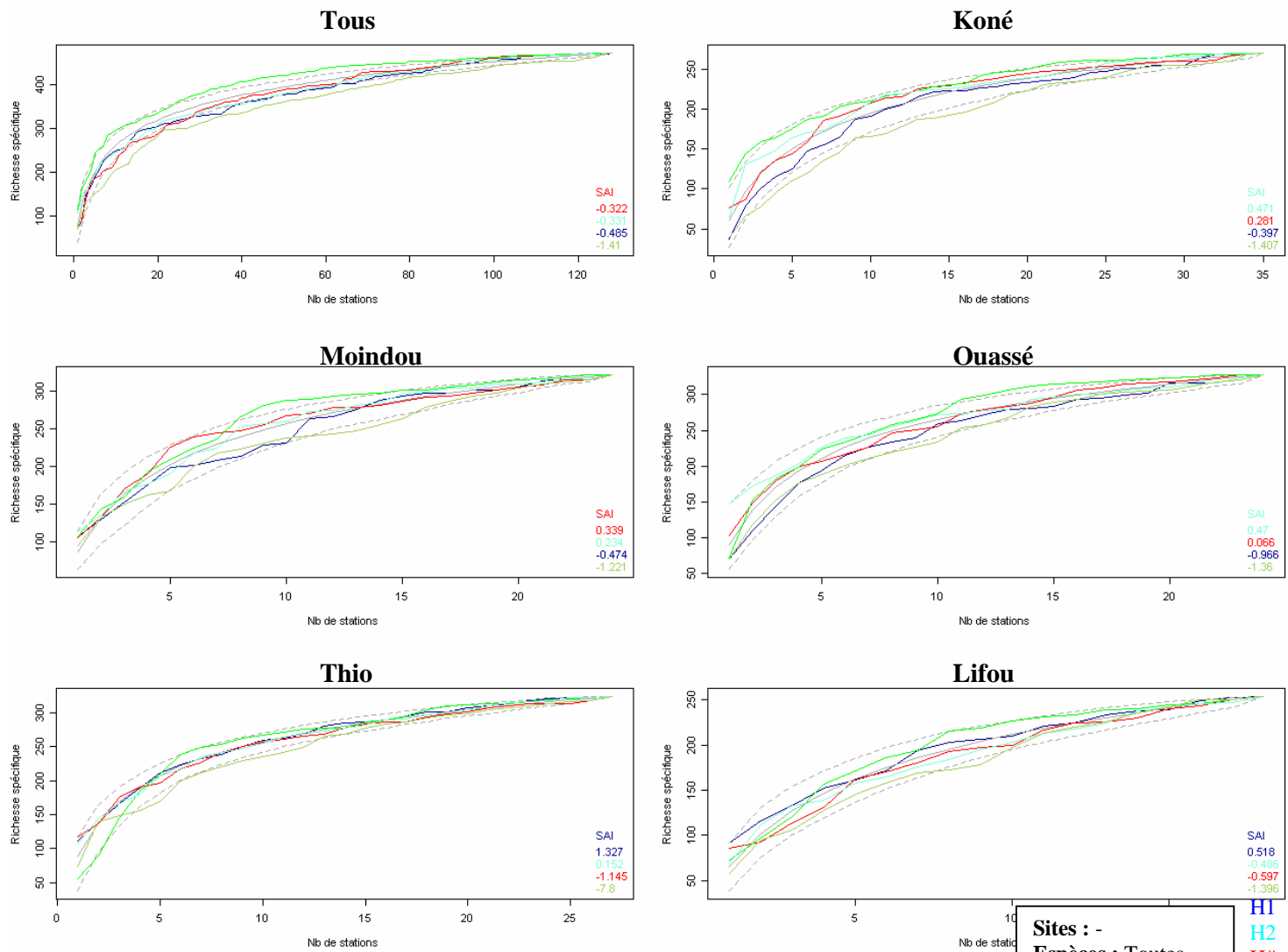


Figure 21 Richesse spécifique selon les différents scénarios de conservation

Sites : -  
 Espèces : Toutes  
 Cartographie : L5  
 Fonctions : Toutes  
 Distance : 600m

HI  
 H2  
 H#  
 F  
 F#  
 A



### 5.4.1. Comparaison avec les résultats obtenus sur Wallis

Si on compare ces résultats avec ceux obtenus pour Wallis (Figure 22). On remarque que c'est plutôt cohérent, même si les paramètres étaient quelques peu différents. Pour 500m, comme pour les autres distances, on obtenait une courbe de richesse spécifique sur 'habitats L5' en dessous de l'intervalle de confiance du hasard, comme c'est le cas pour 600m en Nouvelle Calédonie (Figure 21).

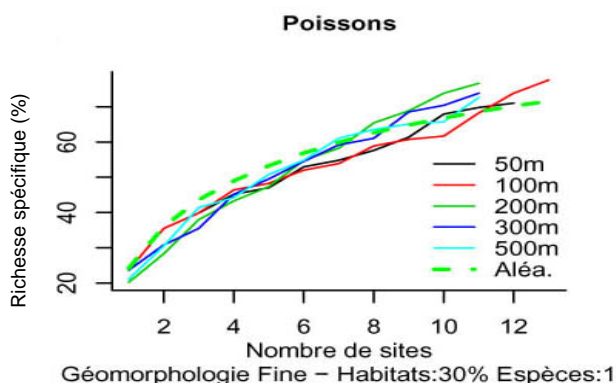


Figure 22 Courbes d'accumulation pour la richesse spécifique obtenue pour l'île de Wallis

### 5.5. Visualisation spatiale

Il est intéressant pour comprendre de ces résultats de regarder les types de sites que sélectionnent les algorithmes des différents scénarios (Figure 23 à Figure 27). Les résultats ont été obtenus avec la cartographie L5 et une distance de 600m. Pour plus de visibilité, le site de Lifou n'est pas représenté bien qu'il soit pris en compte par les scénarios. Plus un site est de couleur rouge, plus il est sélectionné tôt selon le scénario, plus il est de couleur verte plus il est sélectionné tard.

#### 5.5.1. Scénario F

On observe que le scénario idéal F (Figure 23) possède un comportement au niveau des habitats assez différent en fonction du site considéré. Il sélectionne tardivement les stations situées à Koné et dans une moindre mesure à Thio. Ce qui soulève l'hypothèse selon laquelle la richesse fonctionnelle à Koné ou Thio est soit plus faible, soit peu complémentaire des autres sites. Pour Ouassé, on peut faire exactement la remarque inverse car les sites semblent être sélectionnés en priorité. Sur Moindou, l'algorithme sélectionne surtout des sites sur la barrière. Les richesses intra-stations et inter-stations au niveau de la barrière à Moindou peuvent donc être potentiellement plus élevées.

#### 5.5.2. Scénario H1

De manière générale, le scénario H1 sélectionne en priorité les sites situés à l'intérieur du lagon (Figure 24). En effet, les habitats sur la barrière sont plus redondants. La variabilité en termes d'habitats géomorphologiques est plus importante à l'intérieur du lagon. Ceci constitue une première différence notable avec le scénario F, notamment pour le site de Moindou.

De plus, le scénario H1 sélectionne un grand nombre de stations sur le site de Koné, à l'opposé du scénario F.

### 5.5.3. Scénario H2

Le scénario H2 semble se comporter finalement assez peu différemment du scénario H1 (Figure 25). Donc les mêmes remarques peuvent aussi s'appliquer.

Le fait que le scénario H2 diffère peu du scénario H1 est sûrement dû au fait que pour une distance donnée le nombre d'habitats dans un voisinage diffère peu et c'est finalement la complémentarité qui prend le dessus. De plus, par petit groupe, les stations sont similaires en termes d'habitats et aucun élément ne permet finalement de choisir une station plutôt qu'une autre au sein du groupe.

### 5.5.4. Scénario H#

Le scénario H# sélectionne de nombreux sites au niveau de la barrière, et notamment sur Moindou en priorité (Figure 26). C'est un point commun avec le scénario F et cela peut donc expliquer que le SAI associé à ce scénario ait surpassé celui obtenu grâce aux scénarios H1 et H2 ( $SAI_{H1}=-0.33$ ,  $SAI_{H2}=-0.293$  et  $SAI_{H\#}=-0.003$ ).

### 5.5.5. Scénario F#

Le scénario F# se comporte globalement de manière opposée au scénario F (Figure 27).

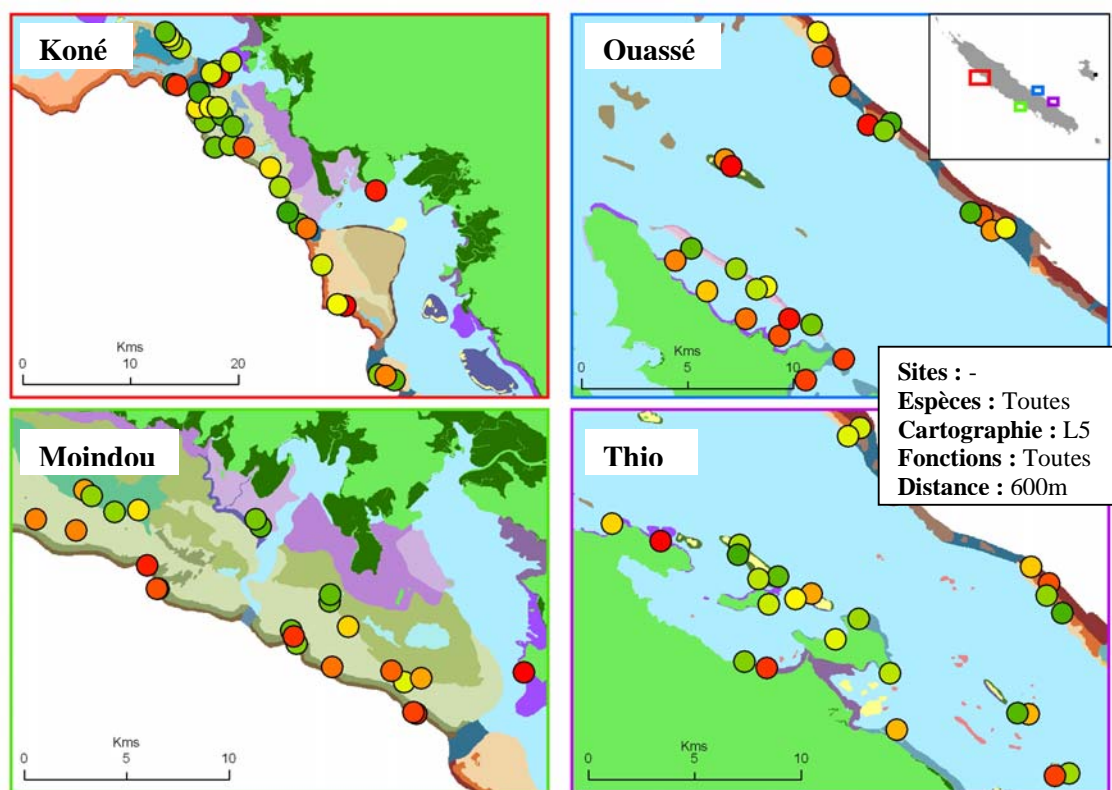


Figure 23 Scénario F

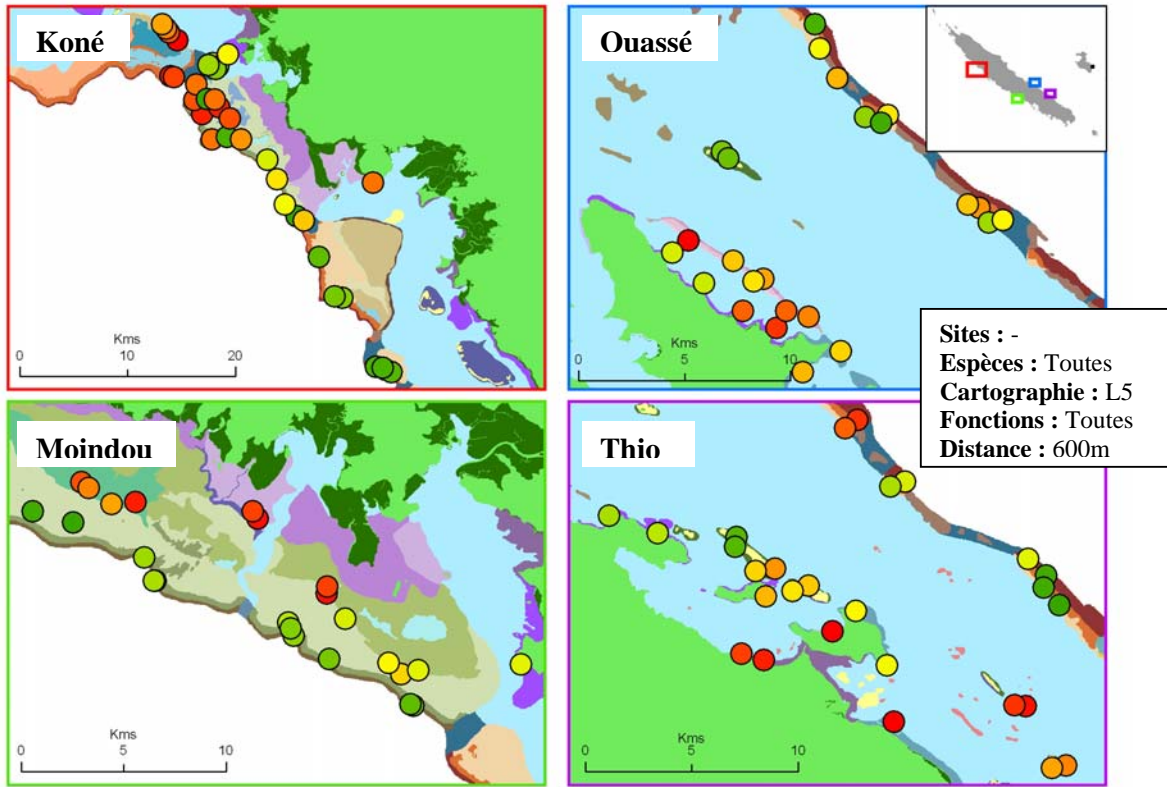


Figure 24 Scénario H1

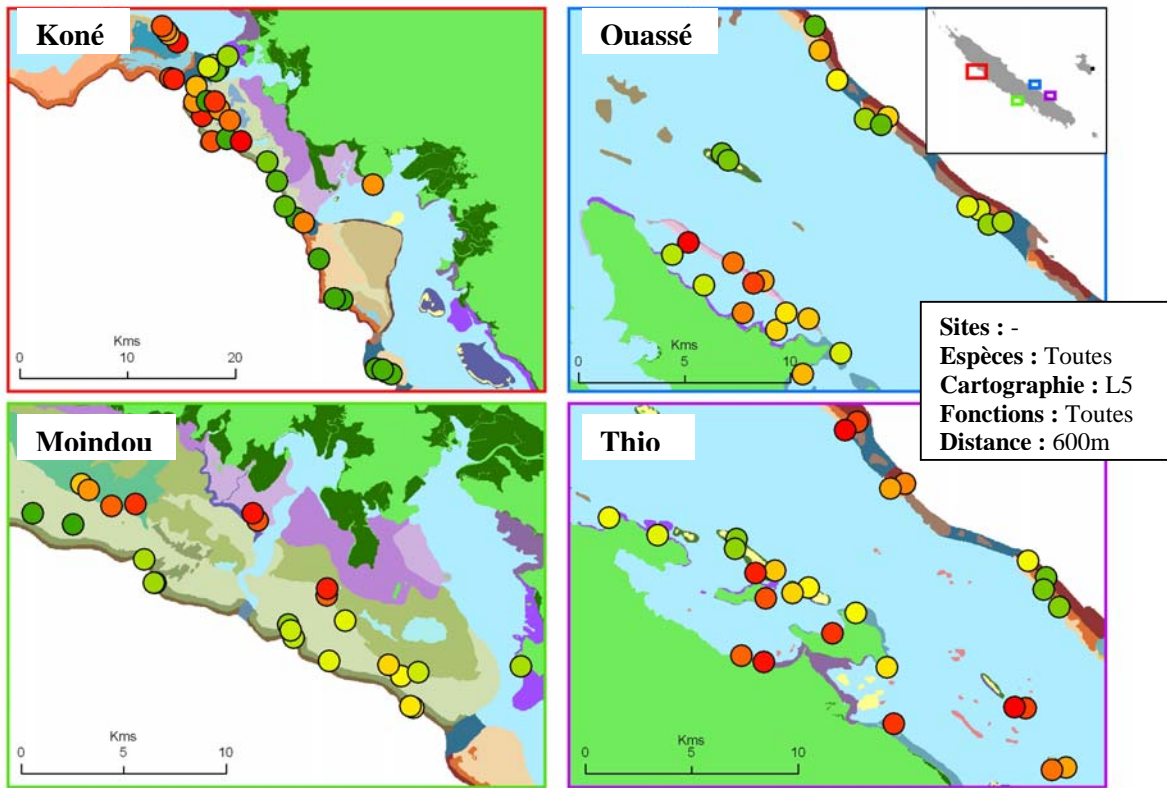


Figure 25 Scénario H2

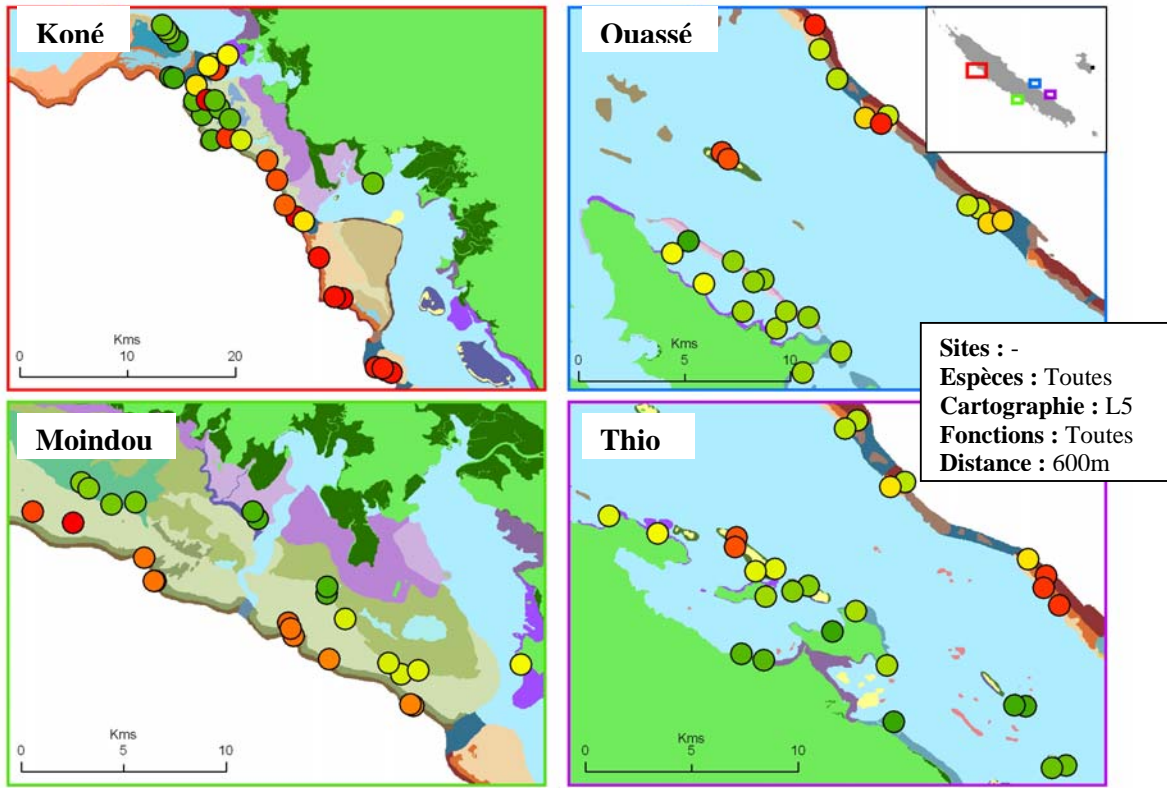


Figure 26 Scénario H#

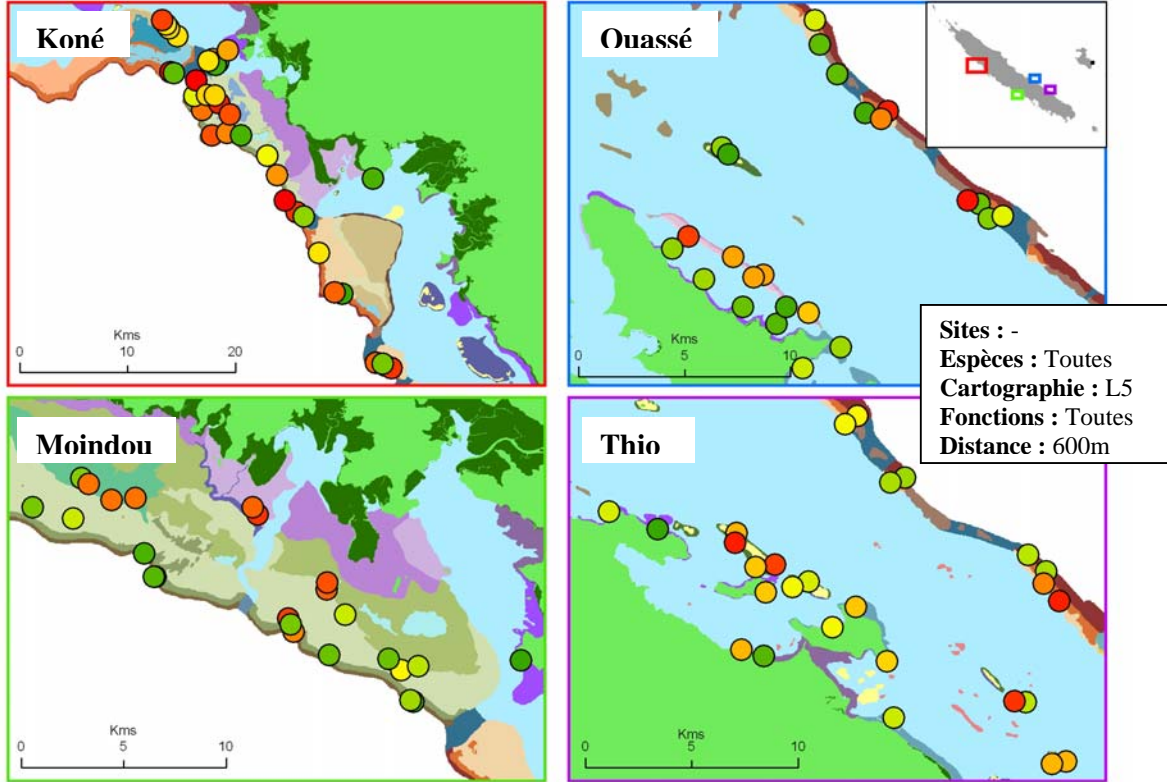


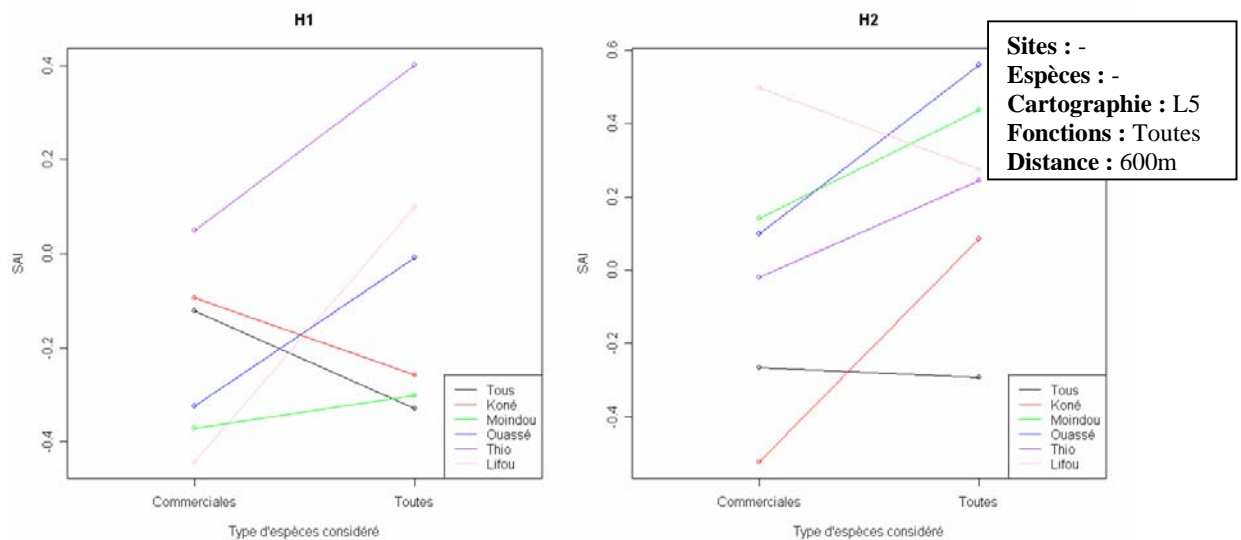
Figure 27 Scénario F#

## 5.6. Sensibilité aux différents paramètres

### 5.6.1. Espèces à caractère commercial

Le fait de ne considérer que les espèces commerciales n'a pas amélioré la représentation fonctionnelle au sein du réseau, tant pour le scénario H1 que le scénario H2 (Figure 29). Globalement, il n'est pas possible de discriminer le comportement de H1, H2 et H#. De plus aucun de ces scénarios ne montre de tendance à s'écarter du comportement aléatoire comme c'était le cas lorsque toutes les espèces étaient considérées.

La Figure 28 montre une comparaison des SAI obtenus pour les mêmes paramètres lorsque l'on considère les espèces commerciales seulement ou toutes les espèces. On observe qu'il est plus courant que le SAI augmente lorsque toutes les espèces sont représentées (4/6 pour H1 et 4/6 pour H2). Cependant, ce n'est pas systématique (ex. Tous sites et Koné pour H1). En tous cas, aucune amélioration conséquente n'est observée du fait de ne conserver que les espèces commerciales.



**Figure 28** Comparaison des SAI obtenus selon que l'on considère toutes les espèces ou seulement les espèces à caractère commercial. A droite, la comparaison des SAI pour le scénario H1. A gauche, la comparaison pour le scénario H2.

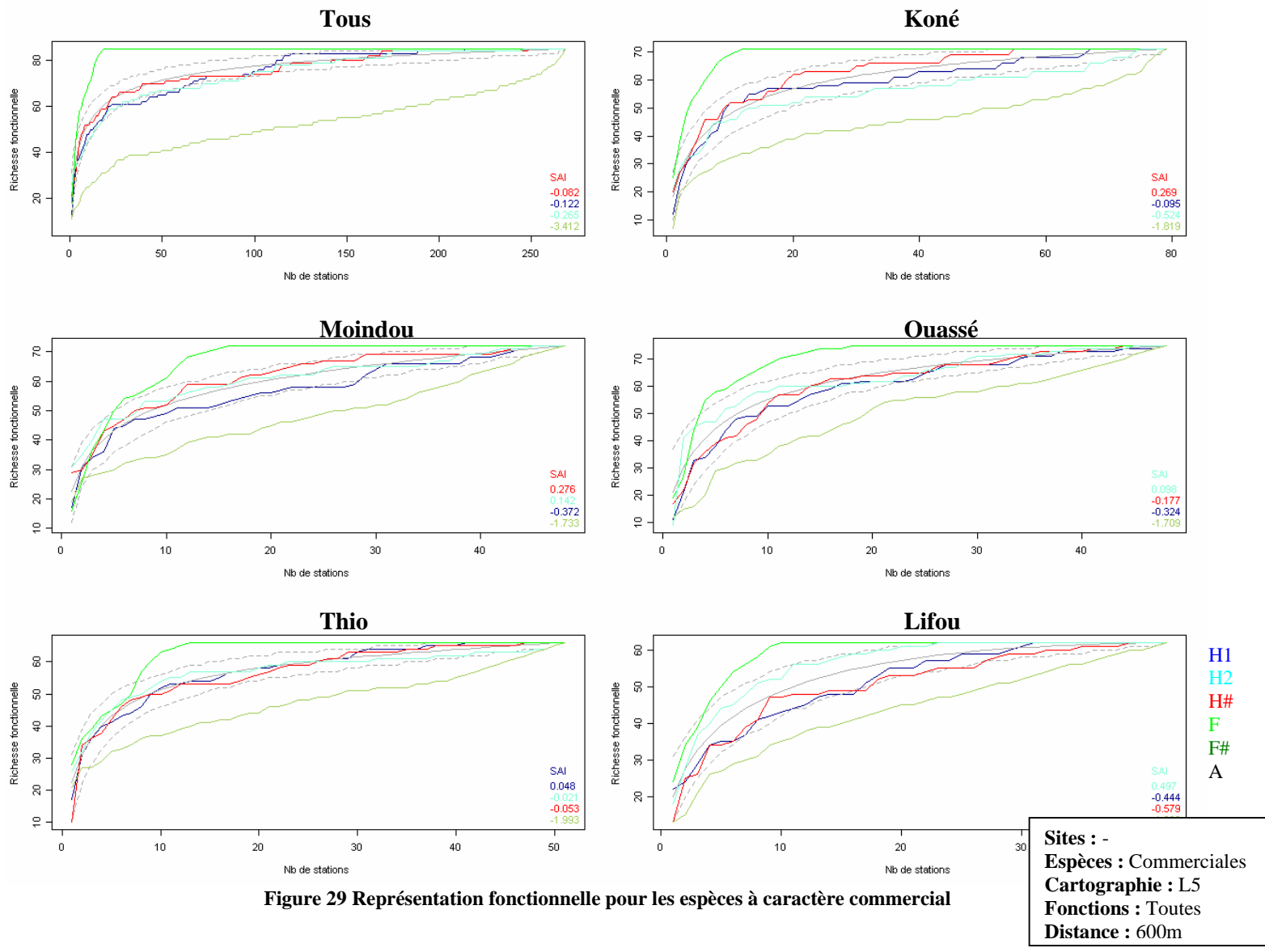
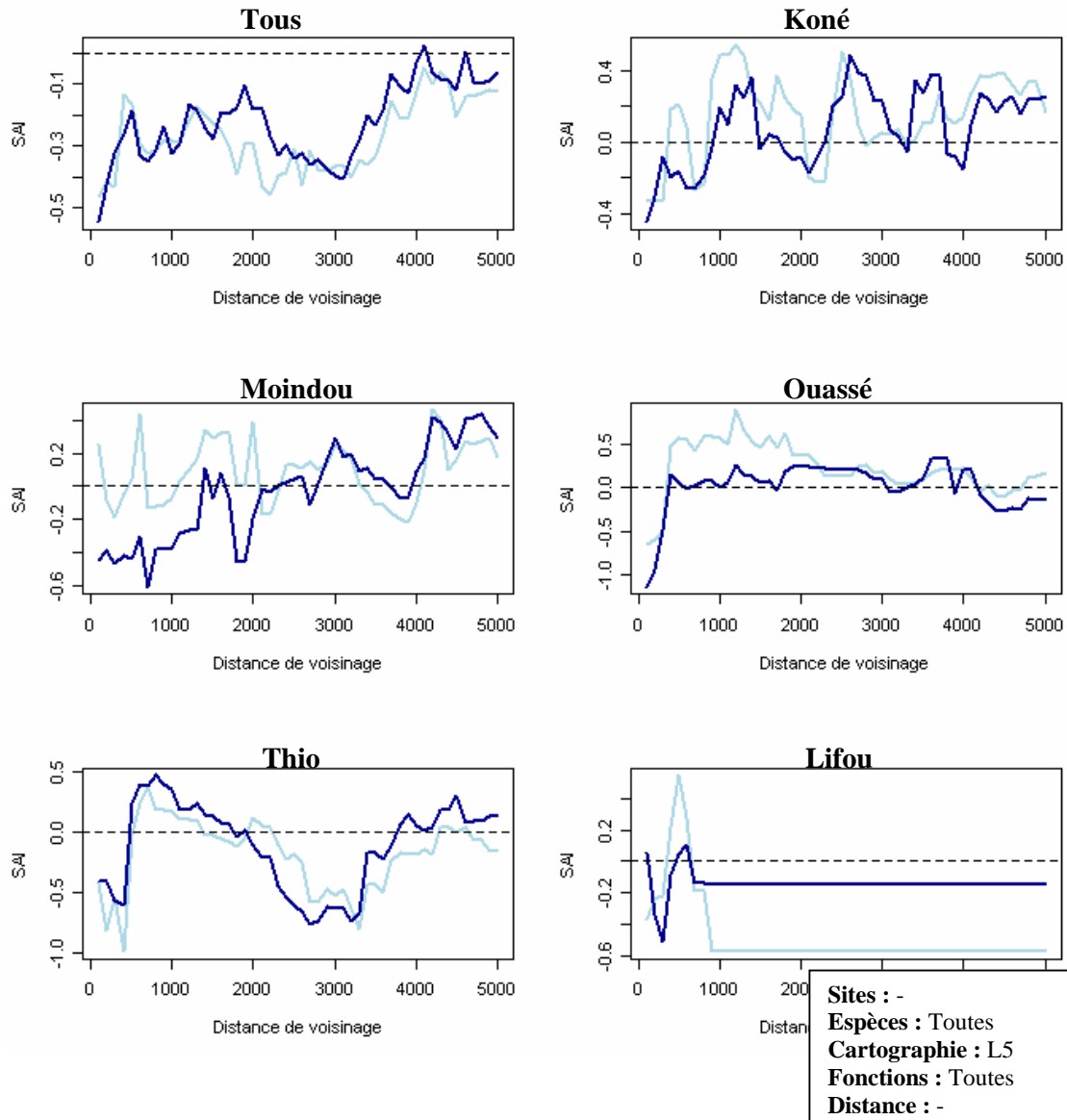


Figure 29 Représentation fonctionnelle pour les espèces à caractère commercial

### 5.6.2. Effet de la distance de voisinage

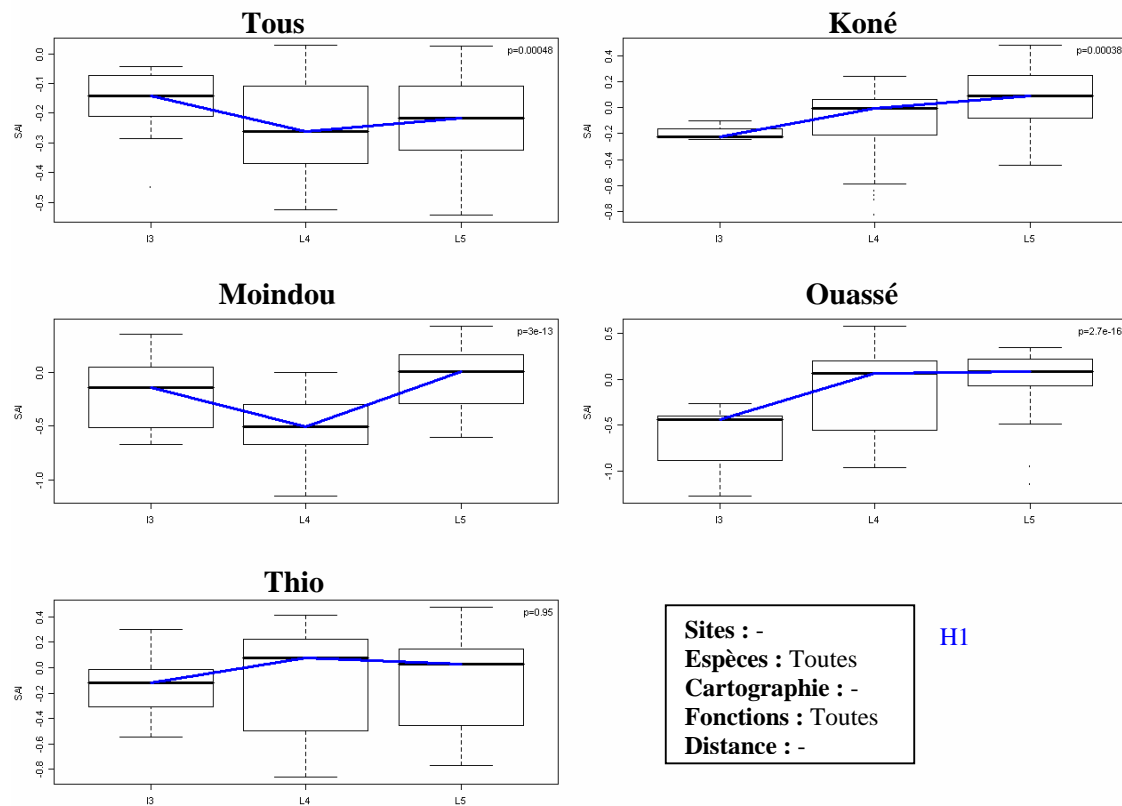
On s'intéresse maintenant à l'effet de la distance de voisinage (voir 4.3) sur la pertinence des scénarios de type 'Habitats'. On s'attend à ce que le SAI atteigne un pic qui soit la distance idéale. Cette distance est susceptible de dépendre à la fois de (1) la structure spatiale des habitats géomorphologiques, (2) la taille et la configuration de l'espace échantillonné et (3) l'adéquation entre ces deux derniers. Cependant, nous n'avons pas obtenu un tel optimum. En effet, les courbes fluctuent sans que l'on puisse observer d'optimum unique pour chacun des sites. Par conséquent, il n'existe pas non plus d'optimum commun pour tous les sites.



### 5.6.3. Cartographie utilisée

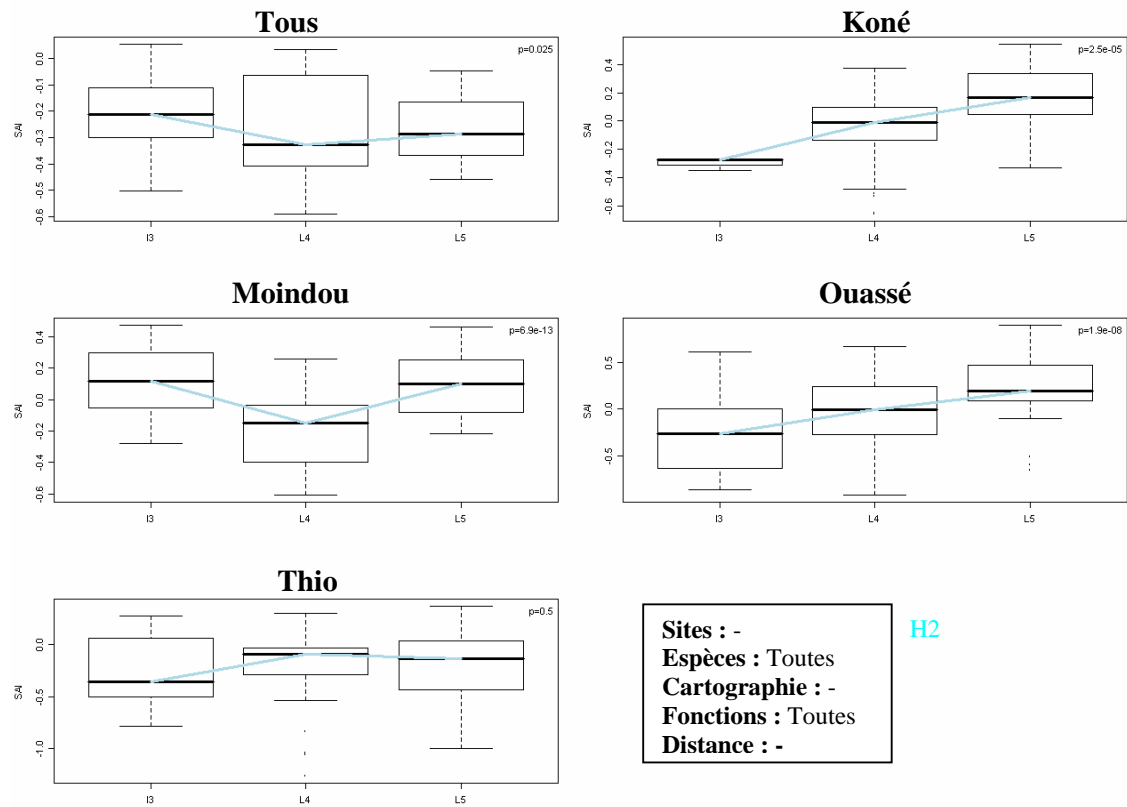
On s'est alors intéressé aux performances de chacune des cartographies (Figure 30 à Figure 33). Les résultats sont pour le moins intéressants. Pour les 2 algorithmes H1 et H2, les mêmes tendances sont observées. Pour les sites de Koné et Ouassé, on observe une augmentation du SAI médian avec la complexité de la carte utilisée. Pour les sites de Thio et Moindou, on observe une augmentation du SAI médian lorsque l'on utilise la cartographie L5 au lieu de la cartographie L3. En revanche, pour le site de Moindou, la cartographie L4 présente le plus petit SAI médian des trois cartographies. A l'inverse, pour le site de Thio, la cartographie L4 présente le plus grand SAI médian des trois cartographies. Le site de Lifou n'est pas représenté car il présente trop peu de variabilité lorsque l'on considère la cartographie L3.

En revanche, lorsque l'on considère la totalité des sites (Lifou compris). On observe une augmentation de L4 à L5. Mais c'est dans ces deux cas (H1 et H2), la cartographie L3 qui aboutit au meilleur SAI médian.

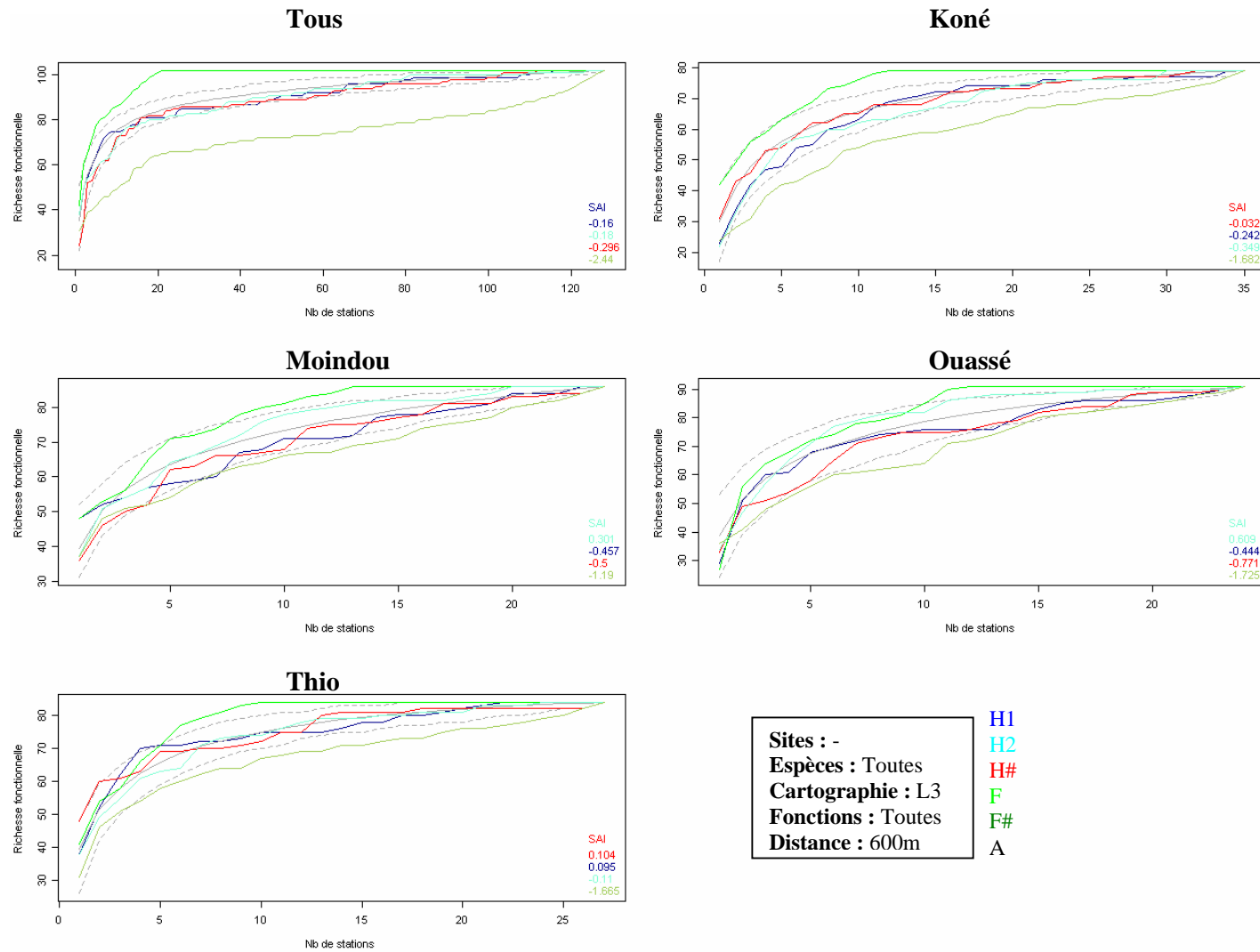


**Figure 30** Effet de la cartographie utilisée sur le SAI (Scénario H1). La variabilité est obtenue en faisant varier la distance de voisinage.





**Figure 31** Effet de la cartographie utilisée sur le SAI (Scénario H2). La variabilité est obtenue en faisant varier la distance de voisinage.



**Figure 32 Représentation fonctionnelle obtenue en utilisant la cartographie L3.** Le site de Lifou n'est pas représenté car il présente trop peu de variabilité géomorphologique pour cette cartographie.

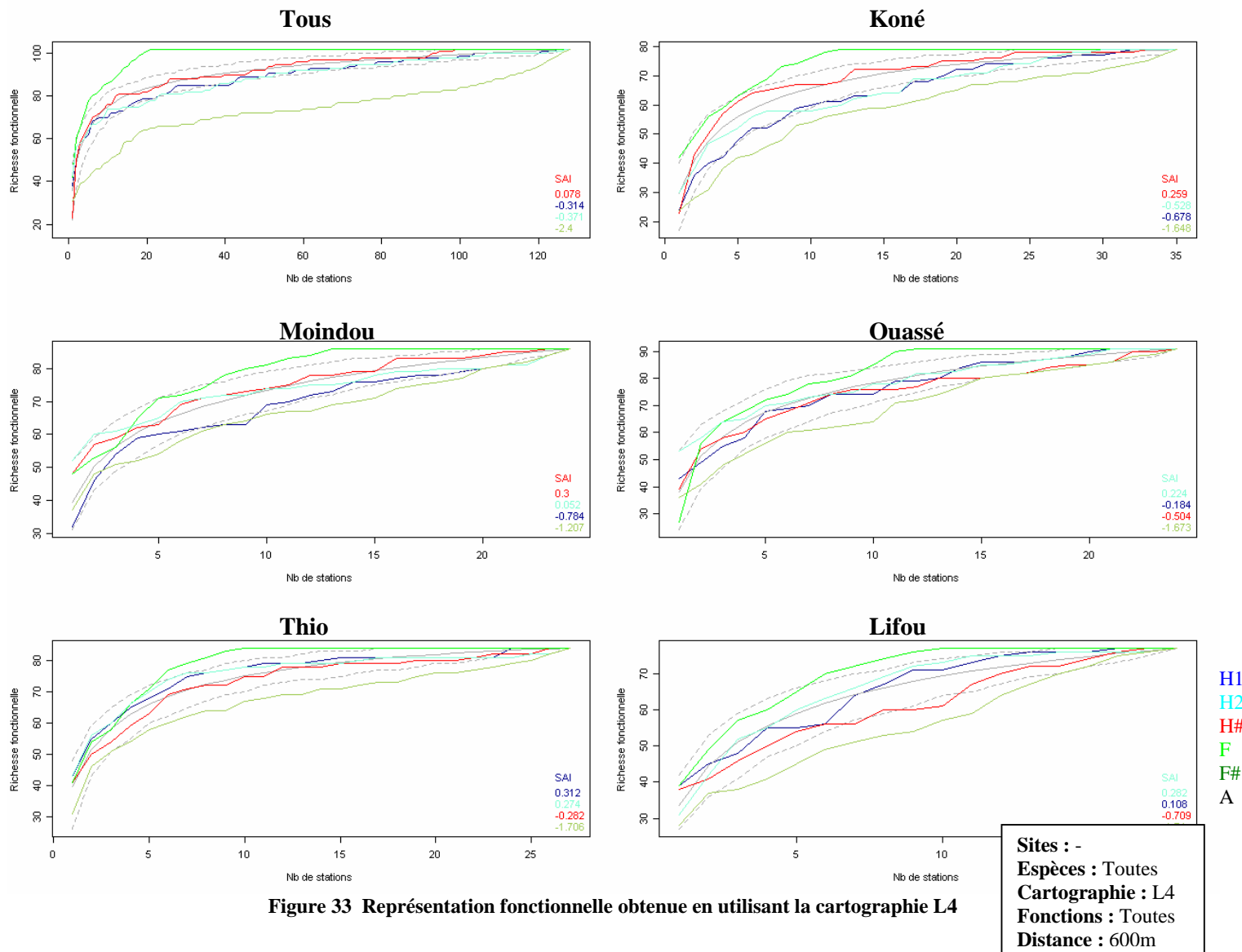


Figure 33 Représentation fonctionnelle obtenue en utilisant la cartographie L4

#### 5.6.4. Choix du premier site

Tous les scénarios aboutissent à la sélection de l'ensemble de sites. Par conséquent, tous les scénarios aboutissent à une même valeur de richesse fonctionnelle. Il en va de même pour la diversité fonctionnelle ou la diversité géomorphologique.

En revanche, la phase d'initialisation (i.e. sélection du premier site) est différente pour chacun des scénarios. Par conséquent, ce n'est pas toujours le même site qui est sélectionné. On s'intéresse alors à l'importance que peut avoir cette phase d'initialisation sur la représentation fonctionnelle globale, et donc le SAI. Sur la Figure 34 et la Figure 35, on peut observer, respectivement pour l'ensemble des sites et pour Koné seulement, la variabilité dans la représentation fonctionnelle, en fonction du premier site sélectionné. Les intervalles de variations sont obtenus en initialisant les scénarios avec l'ensemble des sites possibles, introduits à tour de rôle.

On observe que globalement la hiérarchie des courbes n'est pas remise en cause. Plus le nombre de sites total est grand, moins la variabilité dans la représentation fonctionnelle est forte. En effet, lorsque l'on considère un seul site (Figure 35), la variabilité est plus importante que lorsque l'ensemble des sites est sélectionné (Figure 34).

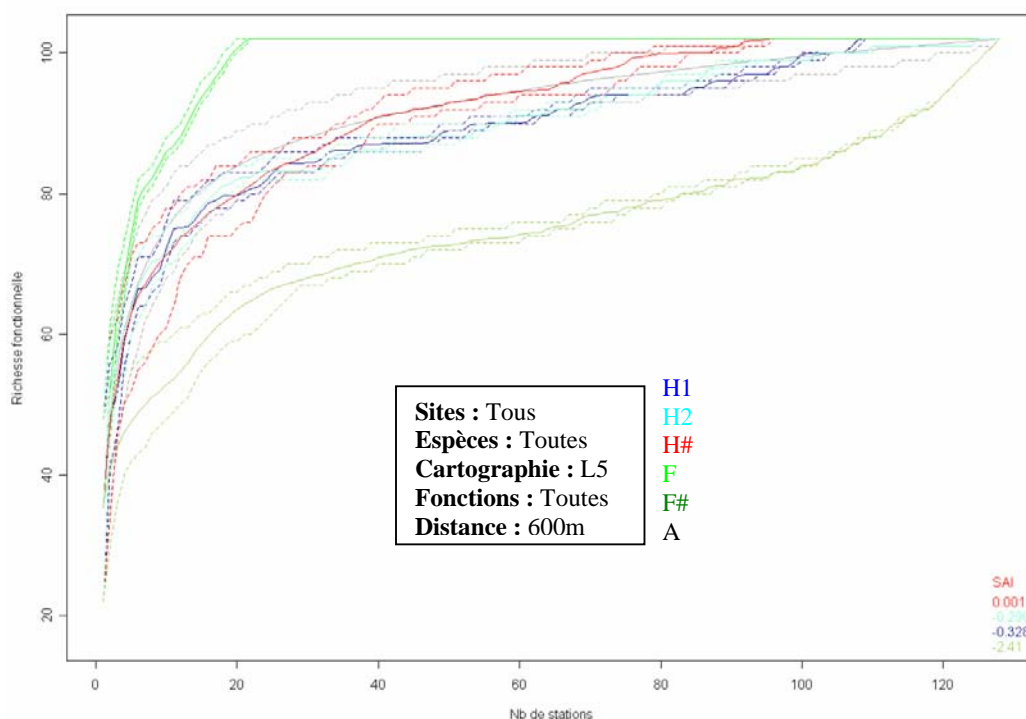
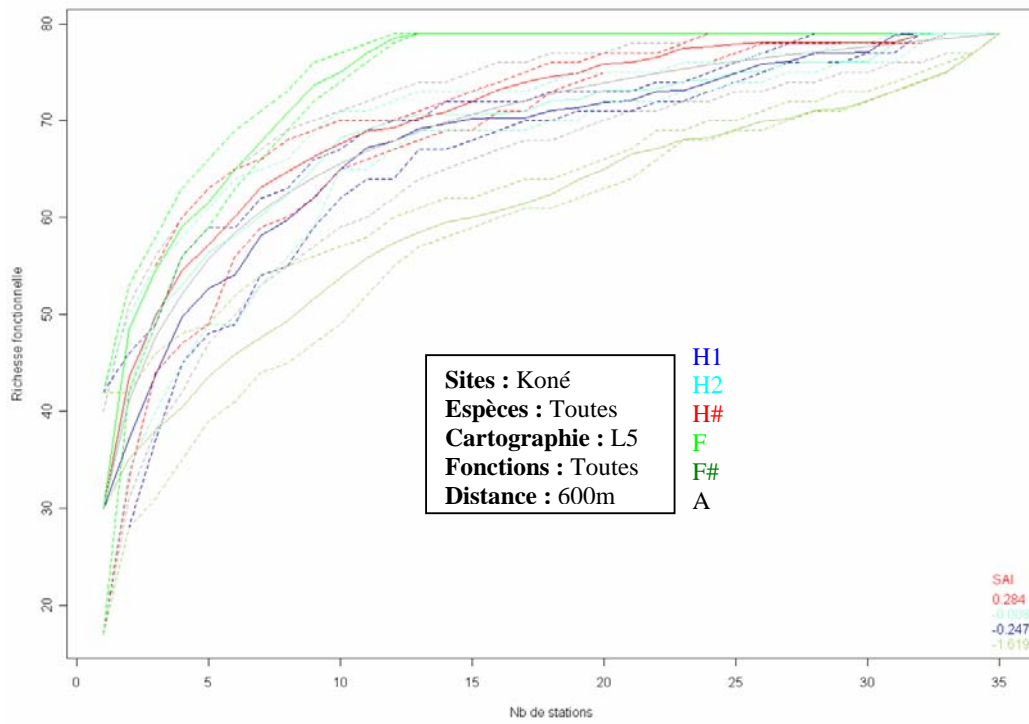


Figure 34 Influence du choix de la première station sélectionnée (Tous les sites)



**Figure 35 Influence du choix de la première station sélectionnée (Koné)**

## 6. Discussions

**La principale conclusion de notre étude est que les scénarios qui favorisent la diversité en habitats géomorphologiques n'ont pas montré de tendance nette à favoriser la représentation fonctionnelle.** Un tel constat peut avoir de multiples origines d'ordre méthodologiques ou biologiques.

### 6.1. Méthodologie

On distingue trois niveaux méthodologiques au niveau desquels il est possible d'agir : (1) stratégie d'échantillonnage sur le terrain, (2) définition des habitats récifo-lagonaires (3) et méthode d'analyse de la surrogacy.

#### 6.1.1. Stratégie d'échantillonnage sur le terrain

Une des possibles limitations de nos résultats réside dans la technique d'échantillonnage sur le terrain. Premièrement, il est évident que des analyses telles qu'effectuées ici, nécessite une rigueur exemplaire au niveau du stockage des données, comme par exemple, la position spatiale des stations qui ne doivent en aucun cas être décalée par rapport aux cartographies disponibles.

En second lieu, on peut se demander quelle serait la stratégie d'échantillonnage la plus adaptée à notre analyse. D'autres études de surrogacy utilisent un plan d'échantillonnage par grille dont chacune des cases de l'espace ainsi découpé fait l'objet d'un inventaire. Ce genre de stratégies est très coûteux en temps et en argent. Dans le cas particulier des habitats, on peut supposer qu'une stratégie pseudo-aléatoire structurée en fonction des habitats soit adaptée. L'idéal serait que l'effort d'échantillonnage soit le même pour chaque habitat. Bien sûr ces deux stratégies sont difficiles à mettre en œuvre.

De plus, pour caractériser les stations, nous nous sommes intéressés aux habitats situés dans leur voisinage. Nous avons supposé que les habitats des voisinages ont un effet sur les espèces qui sont observées. Or cette influence peut-être biologiquement valide, mais elle peut ne pas se répercuter dans les données car elle dépend, entre autres, de la taille de la zone échantillonnée. Plus la surface échantillonnée est petite, moins il est probable de déceler l'influence des habitats dans le voisinage de la station.

Finalement, l'information 'habitat' qui est prise en compte par notre étude est relativement restreinte en comparaison à l'ensemble des habitats qui ont été recensé en Nouvelle Calédonie. Pour la plus grande échelle de voisinage choisie (5000m), on ne compte que 54 habitats sur les 153 habitats de niveau L5 présents en Nouvelle Calédonie. Lorsque l'échelle est de 600m, seul 41 habitats sont pris en compte. Un échantillonnage plus exhaustif donnerait peut-être lieu à d'autres résultats.

L'un des buts de notre approche est aussi d'utiliser les données existantes. Mais il semble au vu de ces résultats que peut-être ce ne soit pas suffisant dans le cadre de la surrogacy.

#### 6.1.2. Définitions des habitats récifo-lagonaires

Il est difficile d'envisager de retravailler la définition des habitats récifo-lagonaires. En effet, les objectifs premiers de la cartographie de ces habitats ne sont pas de servir de critère en biologie de la conservation. De plus, ces cartographies font partie d'un projet visant à cartographier l'ensemble des récifs coralliens mondiaux. La majeure partie des cartographies sont déjà à l'état de produit fini.

Pour le cas de la Nouvelle Calédonie, et en particulier pour les 5 sites d'échantillonnages, il est envisageable d'établir des cartographies benthiques. Ces cartographies plus complexes que les cartographies géomorphologiques nécessitent une vérification sur le terrain. Elle recense le type de couverture benthique présente ainsi que les principales espèces structurantes de l'habitat. Il serait alors possible de refaire des analyses avec ces cartographies plus détaillées.

De plus, sans altérer ni la définition ni la façon dont les cartographies géomorphologiques sont obtenues, il peut être possible de les appréhender de manière différente. Par exemple, de regrouper des habitats similaires entre eux, d'identifier des habitats prioritaires... Une meilleure compréhension des patrons de diversité habitats et diversité espèces sont nécessaires pour cela.

### **6.1.3. Méthode d'analyse de la surrogacy**

La méthode d'analyse de la surrogacy constitue le troisième niveau qui peut expliquer que les habitats géomorphologiques ne permettent pas d'après cette étude de favoriser la diversité fonctionnelle des communautés de poissons. Peut-être que les cartographies d'habitats pourraient le permettre mais que la méthode d'analyse de la surrogacy que l'on utilise ne permet pas de détecter ces relations. Plusieurs idées, dont certaines pourront être mis en œuvre par la suite, sont présentées ci-après.

La première idée reprend l'approche évoquée en 5.2. On présente ici un premier jet de ce qui pourrait être fait. L'idée est de diminuer le nombre de paramètres à faire varier. La méthode proposée ci-après s'affranchit de choisir un algorithme de sélection et éventuellement aussi, d'une distance. Il s'agit en fait d'effectuer de nombreux tirages aléatoires parmi les sites potentiels de conservation (ex. les stations dans notre cas). On ne sélectionne par exemple que 20% des sites. Chaque site potentiel est associé à un unique habitat qui est l'habitat sur lequel il se trouve. Pour chaque tirage, on regarde combien d'habitats sont présents et combien d'espèces et de groupes fonctionnels sont représentés. Il est aussi possible de calculer un indice de diversité, comme l'indice de Shannon. On obtient ainsi un couple de valeurs pour chaque tirage. On regarde alors si l'on observe une corrélation entre ces deux valeurs sur l'ensemble des tirages que l'on a obtenu.

Une seconde idée découle de ce scénario. Une fois que l'on dispose de ce « pool » de tirages, il peut-être possible de mettre en évidence des caractéristiques pour chacun d'entre eux. Par exemple, on peut se demander quelques sont les caractéristiques en termes d'habitats des tirages pour lesquels on observe une forte diversité spécifique ou fonctionnelle, et inversement. De même il est possible de dégager des caractéristiques pour les tirages qui présentent à la fois une forte diversité en habitats et en espèces. Cette idée permettrait une meilleure compréhension sur la façon dont on pourrait utiliser les cartographies d'habitats récifo-lagonaires à des fins de conservation. Cela permettrait notamment de déterminer s'il existe des habitats plus primordiaux que d'autres.

Si on ne considère plus l'idée des scénarios et des algorithmes, on peut toujours avoir recours aux courbes d'accumulations, les stations étant ordonnées au hasard. A ce moment, il est possible de calculer un SAI sur le même modèle que celui utilisé ici. En revanche, ce nouveau SAI est construit de manière à donner une information sur la position des courbes vis-à-vis de l'intervalle de confiance à 5 ou 2.5% du hasard. On peut le nommer rSAI pour random SAI. Un  $rSAI > 1$  signifie que la courbe est située au dessus de l'intervalle de confiance. Et un  $rSAI < -1$  signifie que la courbe est située en dessous de l'intervalle de confiance.

## 6.2. Hypothèses biologiques

Pour expliquer le fait qu'un réseau d'AMPs basé sur les habitats géomorphologiques ne semble pas forcément permettre une meilleure représentation fonctionnelle ou spécifique pour les poissons, on peut émettre plusieurs hypothèses biologiques en fonction de l'échelle que l'on considère. La plupart d'entre elles découlent d'une même idée qui est **la dissimilitude des patrons de distribution et de diversité entre habitats et espèces**.

En d'autres termes cela signifie que les données sur les espèces (ou les groupes fonctionnels) ne se superposent pas avec l'information 'habitat'. Par la suite, on pourra déterminer quelle échelle participe le plus à ce décalage pour mieux comprendre les relations entre les patrons spécifiques et les patrons d'habitats. C'est à ce niveau que la problématique de surrogacy rejoint la problématique des études de biogéographie (voir axes d'études proposés en 3.1).

### 6.2.1. Echelle de l'habitat

A l'échelle intra-habitat, il est possible que pour un même habitat la composition spécifique observée dans chaque station soit fortement variable.

Inversement, à l'échelle inter-habitats, il est possible que pour deux stations situées sur deux habitats différents, on observe la même composition spécifique.

Il faudrait s'intéresser à étudier ces propositions individuellement pour chaque habitats.

### 6.2.2. Echelle du site

A l'échelle du site, il est possible que certaines zones du site présentent une richesse spécifique particulièrement élevés et que les habitats associés ne soient pas forcément plus diversifié. Par exemple, sur la barrière, on observe une redondance des habitats géomorphologique alors qu'à l'intérieur du lagon. Cela s'explique car la géomorphologie sur la barrière a souvent une origine identique. Cependant, on a vu que l'algorithme qui optimise la diversité fonctionnelle 'poisson' sélectionne de nombreux sites sur la barrière de Moindou (voir 5.5.1). Donc les zones de barrières sont redondantes en habitats géomorphologiques alors qu'elles peuvent être très diversifiées en termes de richesse fonctionnelle observée.

De plus, entre eux, les sites peuvent présenter une forte variabilité en termes de richesse spécifique (ou fonctionnelle) totale. Par exemple, si un site présente une forte richesse spécifique par rapport à un autre mais tous deux possèdent une diversité géomorphologique similaire.

### 6.2.3. Facteurs extérieurs

La dissimilitude entre patrons d'habitats et patrons spécifiques peut être la conséquence du fait que la structure des communautés de poisson dépende d'autres facteurs que la géomorphologie. Les exemples ne manquent pas : la température de l'eau, l'exposition aux vagues, la présence de courants particuliers, la présence de l'embouchure d'un fleuve, la dépendance saisonnière. D'autres facteurs relatifs à l'écologie des poissons peuvent notamment intervenir : ubiquité d'une large proportion d'espèces, mobilité importante de la plupart des espèces de ce groupe biologique.

De plus, les cartographies géomorphologiques ne tiennent pas compte de l'impact humain sur la communauté de poissons : effort de pêche, pollution. Ainsi, l'importance de l'impact



humain a de forte chance d'être inégalement répartis entre les sites. Il peut donc influencer les patrons de diversité de manière non négligeable sans que cela soit pris en compte par les cartographies d'habitats.

## **7. Conclusion**

Notre étude n'a pas permis de démontrer clairement que la sélection de sites prioritaires à intégrer au sein d'AMP basée sur les cartographies d'habitats géomorphologiques permette une représentation significative de la diversité fonctionnelle des communautés de poisson. Elle pose cependant une question importante qui n'a jamais été testée jusque là et dont les enjeux sont importants en terme d'applications.

Sur le plan méthodologique, l'étude a permis de progresser à nouveau. Les méthodes appliquées à la Nouvelle Calédonie sont beaucoup plus abouties que celles appliquées à Wallis. En revanche, il faut encore développer l'outil de manière (1) à définir un outil standardisé et réutilisable, (2) à mieux comprendre dans le détail les causes des résultats obtenus et (3) à diminuer le nombre de paramètres pris en compte. En ce sens, cette étude fournit quelques directives précises.

D'un point de vue écologique, il n'est pas possible de tirer de conclusions certaines à partir de ce seul jeu de données. On convient que tout jeu de données possède ses imperfections. De plus, des systèmes récifo-lagonaires différents de la Nouvelle Calédonie pourraient mener à des résultats sensiblement différents car (1) les espèces pourraient ne pas répondre aux mêmes facteurs et (2) la nature des cartographies d'habitats géomorphologiques peut varier sensiblement. Il apparaît donc comme nécessaire de continuer à appliquer ce type de méthodes à d'autres milieux récifo-lagonaires en utilisant d'autres jeux de données.

Enfin, à ce stade, il est nécessaire d'intégrer l'avis de spécialistes des groupes biologiques que l'on veut étudier. La compréhension des relations entre les espèces et les habitats géomorphologiques et benthiques est primordiale. Nous restons convaincus que les cartographies d'habitats récifo-lagonaires utilisées de manière adaptées fourniront un outil efficace pour la conservation de ces milieux.