

Etude comparative de différents indices de
diversité (indice de Shannon, indices
taxonomiques) sur les peuplements de poissons
lagunaires.



Par : Delphine ROCKLIN

Réalisé sous la direction de Madame Catherine ALIAUME

Les nouveaux indices de diversité taxonomique prennent non seulement en compte les données classiques (abondance des individus, nombre d'espèces) mais intègrent également une nouvelle donnée : les relations taxonomiques des individus entre eux. Il semble que ces indices sont insensibles à l'effort d'échantillonnage. Ces indices sont tout d'abord comparés aux indices de diversité classique, puis sont testés afin de prouver leur indépendance au nombre d'espèces présentes dans l'échantillon. Deux d'entre eux, Δ^+ et Λ^+ , travaillant en présence/absence, sont utilisés pour mieux comprendre leur évolution en fonction des changements taxonomiques, puis pour expliquer les grands cas de variation rencontrés.

On remarque que contrairement aux résultats attendus, un des indices, Δ , est sensible au nombre d'espèces dans l'échantillon. Par contre, Δ^+ et Λ^+ , analysés ensemble, sont de bons indicateurs des changements de la biodiversité. De plus, la nouvelle information apportée par ces indices peut jouer un rôle important dans les programmes de conservation.

Mots-clés : indices de diversité taxonomique ; indépendance au nombre d'espèces ; peuplement théorique total ; ANOVA ; simulations ; biodiversité ; perturbations environnementales.

Ce stage au sein du Laboratoire des Ecosystèmes Lagunaires de l'Université Montpellier II (Prof. T. DoChi) m'a offert la possibilité d'avoir une première approche de la recherche avec toute l'attention de chercheurs remarquables tant par leurs savoirs que par leur disponibilité et leur accueil.

Je tiens tout particulièrement à remercier Madame Catherine Aliaume pour ses précieux conseils, sa gentillesse, et pour sa patience, principalement lors des petites difficultés rencontrées au fur et à mesure des tests.

J'exprime également toute ma gratitude à Monsieur David Mouillot qui m'a été d'une aide très utile pour une meilleure compréhension des indices de diversité taxonomique.

Sommaire :

| | | |
|------|--|---|
| I. | INTRODUCTION : | 1 |
| II. | MATERIEL ET METHODE : | 2 |
| II1 | Site d'étude et présentation des données : | 2 |
| II2 | Description des indices : | 2 |
| II3 | Traitement des données : | 4 |
| II4 | Interprétation des variations : | 5 |
| 1) | <i>Simulation avec quelques exemples choisis :</i> | 5 |
| 2) | <i>Applications sur nos données :</i> | 5 |
| III. | RESULTATS : | 5 |
| III1 | Homogénéité des groupes dans les stations : | 5 |
| III2 | Etude comparative entre indices : | 6 |
| III3 | Relation entre Rs et les indices : | 6 |
| III4 | Effet des facteurs station et mois sur les indices $\Delta+$ et $\Lambda+$: | 6 |
| III5 | Interprétation des variations : | 7 |
| 1) | <i>Simulations d'exemples fictifs :</i> | 7 |
| 2) | <i>Applications sur nos données :</i> | 7 |
| IV. | DISCUSSION : | 7 |
| V. | CONCLUSION : | 9 |

I. INTRODUCTION :

L'écologie est une discipline assez récente, apparue au début du XX^{ème} siècle. Elle n'était au départ qu'un simple domaine descriptif. Puis les écologistes ont développé des techniques plus spécialisées pour décrire de manière quantitative la structure et la composition taxonomique des communautés d'organismes (Collier, 1973).

Des auteurs ont pu mettre en évidence par exemple que l'évolution et l'écologie des milieux ont généré un gradient de diversité au sein des communautés animales et végétales (Levinton, 1982). Plusieurs indices de mesure de diversité ont alors été créés : Rs, la richesse spécifique, qui donne tout simplement le nombre d'espèces présentes, E, l'équitabilité, qui traduit la qualité d'organisation d'une communauté (Pielou, 1966) et H, l'indice de Shannon, représentant la diversité spécifique du milieu (Shannon et Weaver, 1963).

Des indices toujours plus précis, apportant une quantité plus importante d'information, sont développés, pour permettre une meilleure compréhension de la structure des communautés, et ainsi une meilleure gestion des milieux et de leurs habitants. C'est ainsi qu'en 1995, Warwick et Clarke ont publié leur premier article présentant un nouveau type d'indice : les indices de diversité taxonomique. Ils ont au fur et à mesure développé cette nouvelle approche de la diversité et il existe maintenant plusieurs de ces indices, chacun s'adaptant à un cas particulier (avec effectifs, en présence/absence..).

Ces indices sont encore peu utilisés, car ils nécessitent la connaissance de la taxonomie complète et précise de chaque espèce étudiée. Ils sont donc plus compliqués d'utilisation que les indices classiques.

On se propose ici de comparer ces nouveaux indices avec les indices plus classiques afin de vérifier les affirmations des auteurs, selon qui les indices sont beaucoup moins sensibles à l'effort d'échantillonnage que les indices classiques, et par conséquent, permettent une meilleure interprétation de la structure des peuplements.

On utilisera les données de la thèse de Mme Catherine Aliaume (1990), dans laquelle était recensée les abondances des poissons dans les herbiers à *Thalassia* de Guadeloupe.

Les indices taxonomiques créés par Warwick et Clarke (1995, 2001) et Clarke et Warwick (2001) sont des indices de diversité intégrant une information nouvelle : la taxonomie des individus formant le peuplement étudié. On trouve plusieurs indices : Δ , indice de diversité taxonomique intégrant les effectifs des individus de chaque espèce, Δ^* , indice de distinction taxonomique : il est équivalent à Δ , mais ne prend pas en compte les relations entre individus d'une même espèce, cela limite les effets des espèces dominantes. Deux autres indices sont utilisés en présence/absence : $\Delta+$, l'indice calculant la distance moyenne entre toutes les espèces du peuplement, et $\Lambda+$, qui représente la variance de $\Delta+$, et que l'on pourrait nommer « équitabilité » de l'arbre taxonomique, de la répartition des espèces. D'après leurs auteurs, il semble que la moyenne de ces indices est insensible à la taille de l'échantillon (effort d'échantillonnage). Dans ce cas, leur utilisation se révèle particulièrement intéressante lorsque l'effort d'échantillonnage n'est pas standardisé.

Quelques chercheurs autres que Warwick et Clarke ont utilisé ces indices : Somerfield et al. (1997) ont testé ces indices sur des communautés de macrofaunes marines situées autour de gisements de pétrole. Ils n'ont pas trouvé de diminution de la distinction taxonomique avec le taux croissant de contamination (absence de variation environnementale). Mais cependant, ils argumentent que ces indices sont insensibles à l'effort d'échantillonnage. Hall et Greenstreet (1998) ont utilisé les indices Δ et Δ^* sur les communautés marines de poissons, à une seule station, au cours du temps. Ils trouvent que la variation temporelle des indices classiques et taxonomiques est égale dans les deux cas : Δ évolue de la même façon que H. Enfin, Rogers et Clarke (1999) s'en sont servis pour faire ressortir une structuration spatiale des communautés de poissons benthiques de l'Atlantique Nord-Est. Ils en ont cherché les causes dans les perturbations naturelles ou anthropiques.

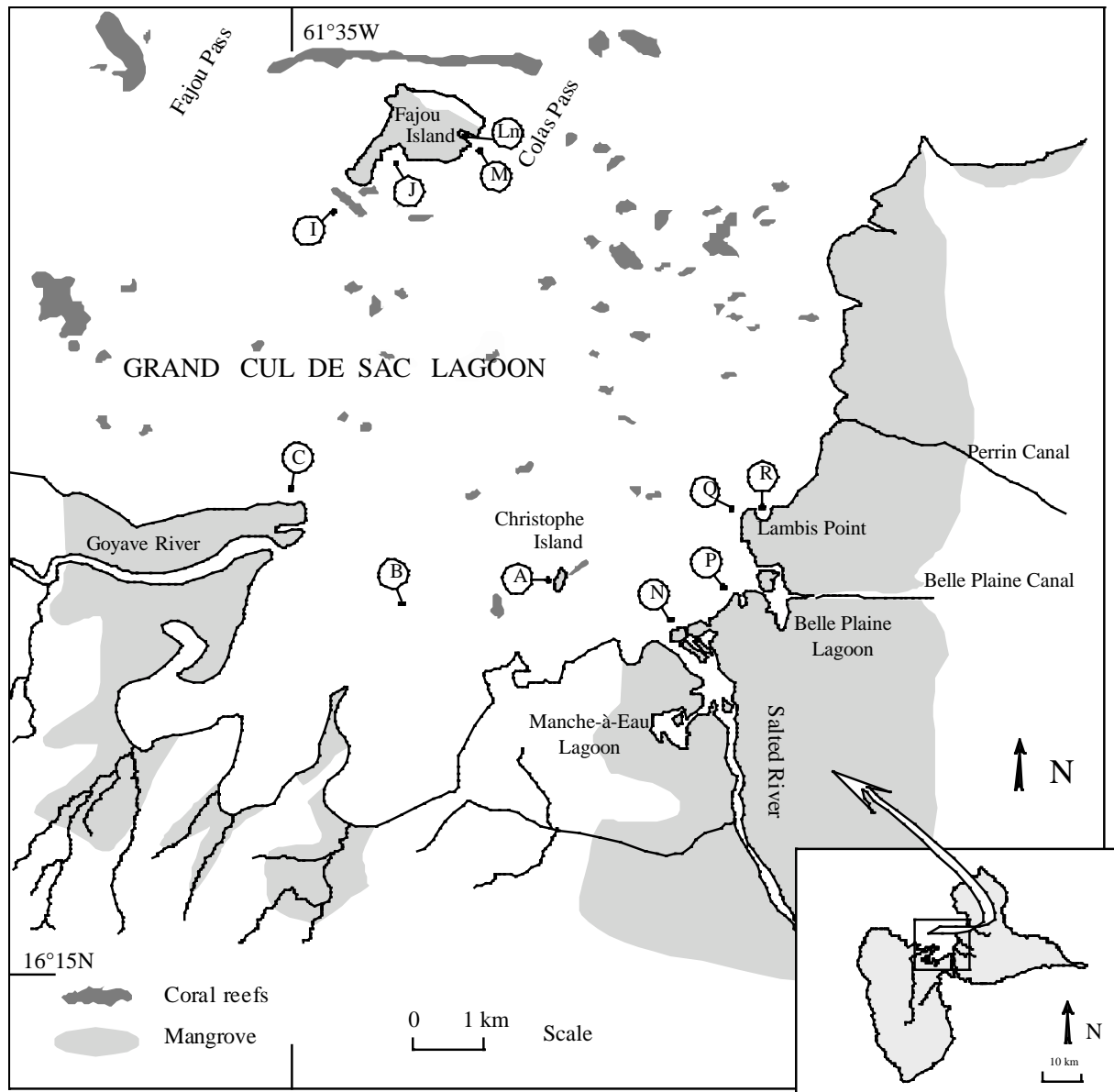


Figure 1 : Emplacement des différentes stations dans le Grand Cul-de-Sac Marin en Guadeloupe

| Super classe | Classe | Ordre | Famille | Genre | Espèce |
|--------------|------------------|----------------|-------------|---------------------|--------------------|
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Albuliformes | Albulidae | <i>Albula</i> | <i>vulpes</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Anguillidae | <i>Anguilla</i> | <i>rostrata</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Chlopsidae | <i>Kaupichthys</i> | <i>hyoprroides</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Congridae | <i>Conger</i> | <i>triporiceps</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Congridae | <i>Heteroconger</i> | <i>longissimus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Muraenidae | <i>Gymnothorax</i> | <i>funnebris</i> |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Figure 2 : organisation des données de classification

L'objectif de la présente étude est de comparer les indices classiques et taxonomiques sur les données d'effectifs de poisson de Guadeloupe, et d'en analyser les variations spatiales et temporelles.

II. MATERIEL ET METHODE :

II1 Site d'étude et présentation des données :

Les données utilisées pour cette étude ont été recueillies en 1987 et 1988 dans le lagon du Grand Cul-de Sac Marin en Guadeloupe (Aliaume, 1990). Il s'agit de la plus grande baie des deux îles formant la Guadeloupe : Basse Terre et Grande Terre (*Figure 1*). Cette baie est limitée au large par une barrière de récifs coralliens, et la côte est principalement formée de mangroves. Les fonds entre 0 et 5 mètres sont recouverts par des herbiers de *Thalassia testudinum*, espèce dominante.

Ces données concernent 100 espèces de poissons d'herbiers à *Thalassia*, réparties sur 11 stations au sein du lagon. Les herbiers ont certainement un rôle dans le ralentissement des courants et peuvent servir de frein à l'érosion, mais surtout, ils représentent une ressource très importante en oxygène favorable à la présence d'une faune riche et diversifiée.

Les poissons ont été pêchés à la senne : le filet faisait 2m de hauteur et était composé de deux « ailes » de 25m de long chacune. La maille se resserre vers le fond du filet. Cela permet un échappement minimum lors de la capture, mais aussi la capture de tous types de poissons, même ceux de petite taille. L'effort de pêche a été maintenu constant avec trois coups de senne par station. Il faut cependant noter la présence possible d'un léger biais, créé par évitement (avant de refermer la senne) et par échappement (les poissons sont peut-être sortis de la senne à travers les mailles ou par le fond). Mais ce biais reste raisonnable et constant tout au long de l'échantillonnage.

Tous les poissons présents en Guadeloupe forment ce que l'on appelle un peuplement théorique total. A chaque station, une partie de ce peuplement est présente. Ce peuplement entier est nécessaire pour tester l'hypothèse nulle H_0 : le peuplement présent à la station est un échantillon aléatoire du peuplement théorique total (random-test). Si H_0 n'est pas vérifiée, alors la composition du peuplement est due à des perturbations naturelles ou anthropiques (influence d'un facteur quelconque).

Pour reconstruire l'arbre de classification de la communauté théorique totale, j'ai tout d'abord recensé les espèces rencontrées dans les différents écosystèmes de Guadeloupe (les récifs coralliens, Bouchon-Navaro, 1997 ; les mangroves, Louis, 1983, et les herbiers, Aliaume, 1990), regroupant 245 espèces en tout. J'ai ensuite utilisé Fishbase comme référence taxonomique (Froese, www.fishbase.org).

La classification nécessite une mise en page spécifique : on a en colonne les différents niveaux de classification, en partant du plus commun (superclasse) au plus spécialisé (espèce), et en ligne tous les individus (donc ici 245 lignes). Il est nécessaire que le plus haut niveau obtenu soit commun à toutes les espèces. Ce sera ici la superclasse des gnathostomes (*exemple en Figure 2, le tout en Annexe 1*).

Une classification est également créée pour chaque station à chaque mois de l'année (187 classifications particulières aux sites). Ces classifications prennent en compte les effectifs de chaque espèce.

II2 Description des indices :

L'indice le plus simple représentant la diversité spécifique est la richesse taxonomique R_s qui représente le nombre total d'espèces sur un site. Il donne une idée de la variété des niches écologiques de la station.

L'indice de Shannon (1963) est l'indice de diversité le plus couramment utilisé. C'est celui qui a été utilisé pour étudier les données récoltées en 1987/88 (Aliaume, 1990). Il est défini par l'équation suivante :

$$H = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

où S est le nombre d'espèces et p_i la fréquence relative de la $i^{\text{ème}}$ espèce.

L'indice de régularité de Pielou (1966), appelé aussi équitabilité, traduit la qualité d'organisation d'une communauté : il vaut 0 quand une seule espèce est présente et 1 quand toutes les espèces ont la même abondance :

$$E = H / \log_2 S$$

On a calculé l'indice de diversité taxonomique Δ à l'aide du logiciel SGBiodiv créé par Sylvain Gaillard (2002). Cet indice a été calculé pour chaque station, à tous les mois, pour pouvoir illustrer son évolution au cours du temps.

$$\Delta = [\sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j] / [n(n-1)/2]$$

où x_i ($i=1$ à S) est l'abondance de la $i^{\text{ème}}$ espèce, $n (= \sum x_i)$ le nombre total d'individus de l'échantillon et ω_{ij} le « poids de distinction » (numéro de rang du niveau taxonomique considéré).

D'après Warwick et Clarke (1995), l'indice taxonomique Δ est équivalent d'un point de vue significatif à l'indice de Shannon H, mais il est cependant moins sensible à l'échantillonnage, et donc à la taille de l'échantillon étudié. Il a cependant une différence majeure avec l'indice H, car il intègre une nouvelle information : la taxonomie des individus de l'échantillon.

Un troisième indice utilisé est l'indice de relation taxonomique entre individus : Δ^*

$$\Delta^* = [\sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j] / [\sum_{i < j} x_i x_j]$$

Cela revient à diviser Δ par sa valeur prise lorsque toutes les espèces appartiennent à un unique genre. L'indice Δ^* est considéré comme un pur indice de distinction taxonomique, sans la contribution de la diversité spécifique : il est défini par la longueur moyenne du chemin entre les différentes paires d'individus, ignorant les chemins entre les individus d'une même espèce. Cet indice limite les effets dus aux espèces dominantes comme dans le cas de Δ .

Il existe un autre indice, qui n'est utilisé que dans les cas de données de présence/absence, qui représente la différence taxonomique moyenne entre tous les individus (relation taxonomique entre les individus) :

$$\Delta^+ = [\sum_{i < j} \omega_{ij}] / [S(S-1)/2]$$

Ici, ω_{ij} est le poids donné à la longueur du chemin reliant l'espèce i et j dans l'arbre taxonomique, et S le nombre d'espèces observées.

| Niveau, lien entre deux espèces | poids standard | poids en pourcentage |
|---------------------------------|----------------|----------------------|
| même genre, espèce diff. | 1 | 20 |
| même famille, genre diff. | 2 | 40 |
| même ordre, famille diff. | 3 | 60 |
| même classe, ordre diff. | 4 | 80 |
| même super-classe, classe diff. | 5 | 100 |

Tableau 1 : détail des « poids » ω_{ij} des chemins entre deux espèces, utilisés pour le calcul des indices de diversité taxonomique.

Cet indice nous informe sur la constitution taxonomique des peuplements rencontrés à chaque station. Un indice de 100 signifie que le peuplement est constitué d'individus appartenant tous à des taxons différents, et un indice de 0 que les individus appartiennent tous au même genre (individus taxonomiquement proches entre eux). Cet indice nous informe ainsi sur le type de station : une forte diversité spécifique n'est possible que lorsque le site est suffisamment hétérogène pour abriter des espèces aux exigences différentes, et les satisfaire. Si la diversité est faible, alors les individus proches ont les mêmes types d'exigences. Le site est homogène, composé de niches peu différentes.

Il semble que comme pour Δ , cet indice est insensible à l'effort d'échantillonnage.

Il faut noter que les trois indices Δ , Δ^* et Δ^+ peuvent être donnés en résultats bruts, ou en pourcentage. Le résultat brut est compris entre 0 et le nombre de niveaux taxonomique (on prend espèce = 0). Dans notre cas, ces indices prendront des valeurs entre 0 et 5. En pourcentage, on comptera ici 20 à chaque niveau (le poids ω_{ij} de 2 espèces ayant un genre commun sera de 1 ou 20, si la famille est commune, on comptera 2 ou 40, *Tableau 1*).

Enfin, il existe un dernier indice, qui représente la variance de Δ^+ :

$$\begin{aligned}\Lambda^+ &= [\sum \sum_{i<j} (\omega_{ij} - \omega_0)^2] / [S(S-1)/2] \\ &= [(\sum \sum_{i<j} \omega_{ij}^2) / (S(S-1)/2)] - \omega_0^2 \\ &\text{avec } \omega_0 = [\sum \sum_{i<j} \omega_{ij}] / [S(S-1)/2] = \Delta^+\end{aligned}$$

Λ^+ est un indice représentant la variation de la distinction taxonomique Δ^+ . Il représente l'équitabilité de la distribution des taxons au sein de l'arbre taxonomique. Ainsi, une distribution entièrement équitable serait représentée par la situation hypothétique où toutes les longueurs des branches sont égales, et une distribution inéquitable serait le cas où toutes les branches ont des longueurs très différentes (certains genres représentés par un nombre très important d'espèces et des espèces étant les seules représentatives de leur phylum). Il s'agit d'une variance par rapport à la moyenne des longueurs. Plus l'équitabilité est forte, plus l'indice est faible (Warwick et al., 2002). Il semble, selon Warwick et al. (2002), que cet indice présente les mêmes propriétés que tous les autres indices, c'est-à-dire l'indépendance de ses valeurs moyennes par rapport à la taille de l'échantillon.

II3 Traitement des données :

Aliaume (1990) avait défini des groupes de station dits homogènes, basés sur l'analyse de la composition ichtyologique (analyse en coordonnées principales et groupement hiérarchique). Nous allons, en étude préliminaire, tester ces groupes avec les nouveaux indices. Pour cela, on utilise l'indice Δ^+ sur chaque station, afin de savoir si les stations d'un même groupe représentent de la même manière le peuplement théorique total, donc si leur composition est équivalente. On procède alors à un random-test (10 000 randomisations), qui compare chaque échantillon au peuplement théorique total. A 10 000 reprises, il est effectué un tirage aléatoire, d'un nombre d'espèce égal à celui de l'échantillon testé, dans le peuplement théorique total. Ces tirages, qui représenteront plus ou moins bien le peuplement théorique total, donneront les valeurs de l'intervalle de confiance. La valeur de Δ^+ de l'échantillon testé est alors comparée avec les valeurs de cet intervalle.

Les indices Δ et H d'une part et Δ^+ et R_s d'autre part, seront comparés par l'étude de leurs coefficients de variations (en pourcentage).

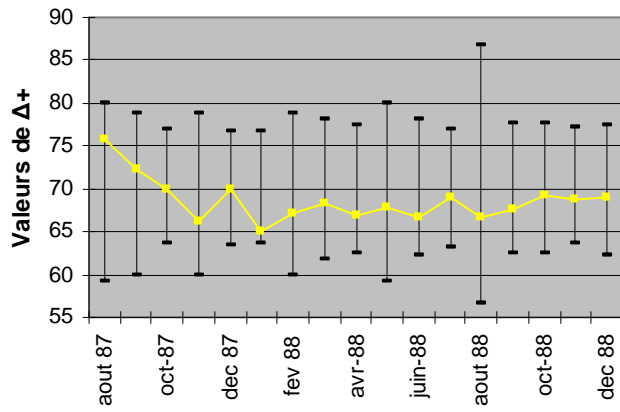


Figure 3 : Résultats du random-test effectué pour la station I

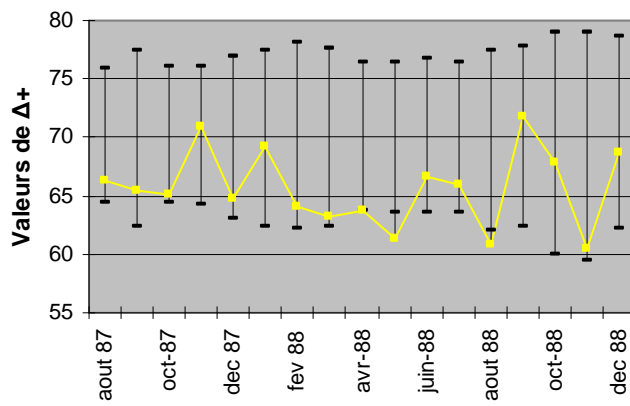


Figure 4 : Résultats du random-test effectué pour la station J

Pour tester l'indépendance des indices à l'effort d'échantillonnage (et donc aux espèces récoltées), on étudie la corrélation entre le nombre d'espèces et la valeur des indices pour chaque échantillon. Le coefficient de corrélation sera testé avec le test de signification du r de Pearson afin de savoir si celui-ci est significativement différent de 0 ou non. On passe par une variable auxiliaire :

$$t_r = \frac{r \sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

qui suit une loi de Student à $n-2$ ddl. On pourra tester cette nouvelle variable, avec pour hypothèse nulle H_0 : les deux variables sont linéairement indépendantes, le coefficient de corrélation est significativement égal à 0. Elle sera acceptée si la valeur observée $|t_r| < t_{\alpha/2}$ (défini dans le tableau de la distribution de Student), avec un risque $\alpha = 0.05$. Le test est bilatéral (Scherrer, 1984).

Enfin, on procédera à une ANOVA 2 facteurs sans répétitions, afin de déterminer s'il existe une différence spatiale et/ou temporelle significative dans les indices $\Delta+$ et $\Lambda+$.

II4 Interprétation des variations :

1) Simulation avec quelques exemples choisis :

Après avoir étudié les caractéristiques principales des différents indices classiques et taxonomiques, on s'intéresse maintenant au fonctionnement intrinsèque des nouveaux indices. Pour interpréter correctement les variations observées, il est nécessaire de comprendre l'impact de chaque élément entrant en jeu. Selon Warwick et Clarke (2002), $\Delta+$ et $\Lambda+$ sont de bons indicateurs des changements de la biodiversité. On se propose donc de limiter notre étude à ces indices. On simule alors différents cas de changements de composition des peuplements afin de bien interpréter l'évolution des indices $\Delta+$ et $\Lambda+$.

2) Applications sur nos données :

On pourra ensuite tenter d'étudier les grands principes des variations des deux indices $\Delta+$ et $\Lambda+$. Ces indices étudiés ensembles semblent être de bons indicateurs de l'évolution de la biodiversité (Warwick et al., 2002). On analysera quelques grands modèles d'évolution de ces deux indices, et nous les mettrons en relation avec les arbres taxonomiques correspondants pour mieux visualiser les changements.

III. Résultats :

III1 Homogénéité des groupes dans les stations :

Tous les résultats du random-test sont représentés en *Annexe 2*, selon les groupes de stations formés lors de la thèse (A,N,P ; B,C,Q,R ; I,J,M ; Lm). Mais si on compare par exemple l'évolution de $\Delta+$ aux stations I et J (Figures 3 et 4), on observe que la station I a toujours des valeurs proches du centre de l'intervalle de confiance tandis que la station J semble être une mauvaise représentation du peuplement total car les valeurs de $\Delta+$ sont très souvent à la limite inférieure de l'intervalle ou en dessous. Si on compare toutes les stations

Figure 5 : Evolution de H et Δ à la station I

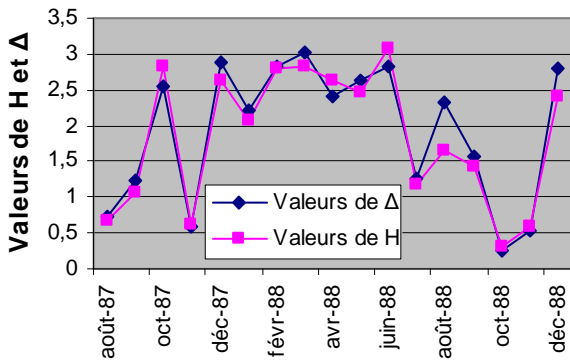


Figure 6 : Pourcentage de variation de H et Δ en moyenne au cours de l'étude à chaque station

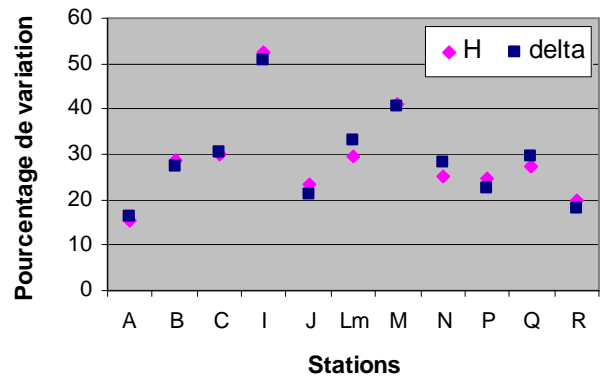


Figure 7 : Evolution de Rs et $\Delta+$ à la station B

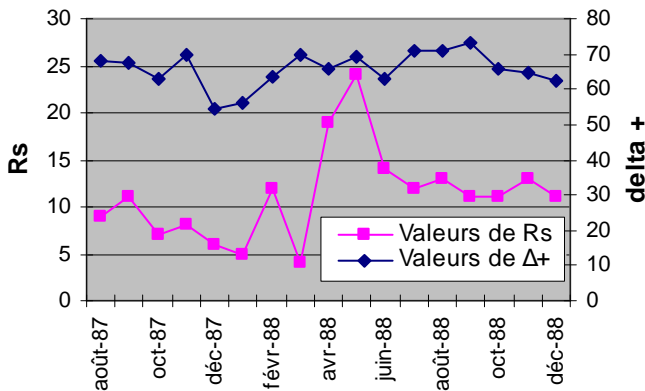


Figure 8 : Pourcentage de variation de Rs et $\Delta+$ en moyenne au cours de l'étude à chaque station

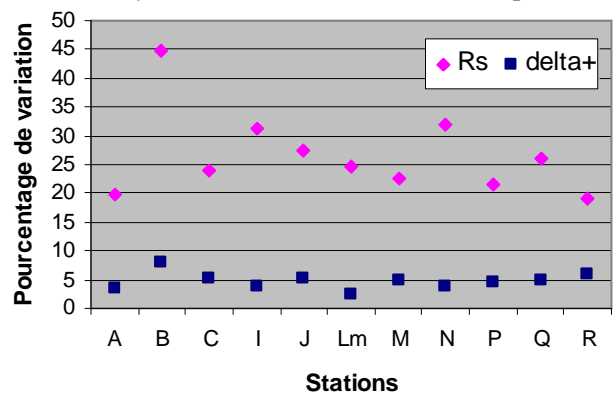


Figure 9 : Résultats des analyses de variance ANOVA sur $\Delta+$ et $\Lambda+$

| ANALYSE DE VARIANCE sur $\Delta+$ - 2 facteurs sans répétitions | | | | | | |
|---|------------------|------------------|--------------------|-------|-------------|------------------------|
| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F | Probabilité | Valeur critique pour F |
| Lignes (mois) | 295,939 | 16 | 18,496 | 1,997 | 0,016131 | 1,707 |
| Colonnes (stations) | 400,801 | 10 | 40,080 | 4,328 | 0,000023 | 1,890 |
| Erreur | 1481,685 | 160 | 9,261 | | | |
| Total | 2178,425 | 186 | | | | |

| ANALYSE DE VARIANCE sur $\Lambda+$ - 2 facteurs sans répétitions | | | | | | |
|--|------------------|------------------|--------------------|-------|-------------|------------------------|
| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F | Probabilité | Valeur critique pour F |
| Lignes (mois) | 44645,701 | 16 | 2790,356 | 1,295 | 0,206394 | 1,707 |
| Colonnes (stations) | 124040,639 | 10 | 12404,064 | 5,755 | 0,0000002 | 1,890 |
| Erreur | 344858,209 | 160 | 2155,364 | | | |
| Total | 513544,549 | 186 | | | | |

d'un même groupe, alors on remarque qu'elles ont des évolutions très différentes. Aussi les stations seront analysées séparément dans la suite de l'étude.

III2 Etude comparative entre indices :

Les graphiques en *Annexe 3* montrent une évolution parallèle pratiquement parfaite des deux indices H et Δ tout au long de l'étude. Un exemple typique est donné dans la *Figure 5*, à la station I.

Ces résultats sont confirmés par les valeurs du pourcentage de variation, calculé sur l'ensemble de l'étude, pour chaque station. Les pourcentages de variation des indices H et Δ est indiqué *Figure 6*: ils sont égaux en moyenne sur toutes les stations.

On remarque en *Annexe 4 (exemple typique en Figure 7)* que $\Delta+$ semble être beaucoup plus stable au cours du temps que Rs.

En effet, les moyennes des pourcentages de variation sont très claires (*Figure 8*): pour $\Delta+$, les valeurs sont déjà en moyenne beaucoup plus faibles mais surtout très stables à chaque station: l'indice Rs a une variation de 20 à 45 %. Il oscille beaucoup au fur et à mesure du temps, selon les mois. L'indice $\Delta+$ a une variation beaucoup plus faible (en moyenne 5%) et très stable.

III3 Relation entre Rs et les indices :

On teste maintenant la corrélation entre les valeurs des différents indices et le nombre d'espèces présentes dans l'échantillon. On teste l'hypothèse nulle: le coefficient de corrélation n'est pas significativement différent de 0.

En test bilatéral, pour $n=187$, on obtient un $t_{(5\%)} = 1.973$. Selon le test de signification du r de Pearson, on a :

| Coefficient de corrélation r entre les indices et le nombre d'espèces dans les échantillons | H | Δ | Δ^* | $\Delta+$ | $\Lambda+$ | E |
|---|--------|----------|------------|-----------|------------|--------|
| | 0,365* | 0,216* | -0,0094 | 0,035 | 0,090 | -0,021 |
| Valeurs calculées de t_r | 5,3324 | 3,0082 | 0,128 | 0,4763 | 1,229 | 0,285 |

* : *significativement différent de 0*

L'indice ayant le plus faible coefficient de corrélation entre ses valeurs moyennes et le nombre d'espèces présentes dans l'échantillon est Δ^* , avec un coefficient de -0.0094, significativement non différent de 0. Par contre, les indices H et Δ sont significativement différents de 0. Cependant, le coefficient de corrélation calculé pour l'indice Δ est plus faible que celui calculé pour l'indice de Shannon. Les graphiques des corrélations sont représentés en *Annexe 5*.

III4 Effet des facteurs station et mois sur les indices $\Lambda+$ et $\Delta+$:

Suite à l'ANOVA, on obtient les résultats présentés à la *Figure 9*. Pour $\Delta+$, les deux effets sont significatifs : ($p = 1.6\%$). Cependant, l'effet mois est assez faible ($p = 0.016$) tandis que l'effet station est beaucoup plus fort ($p = 2.3 \cdot 10^{-5}$).

Pour $\Lambda+$, il n'y a pas d'effet mois, mais il y a un fort effet station ($p = 2.3 \cdot 10^{-7}$) agissant sur les peuplements de poissons de Guadeloupe.

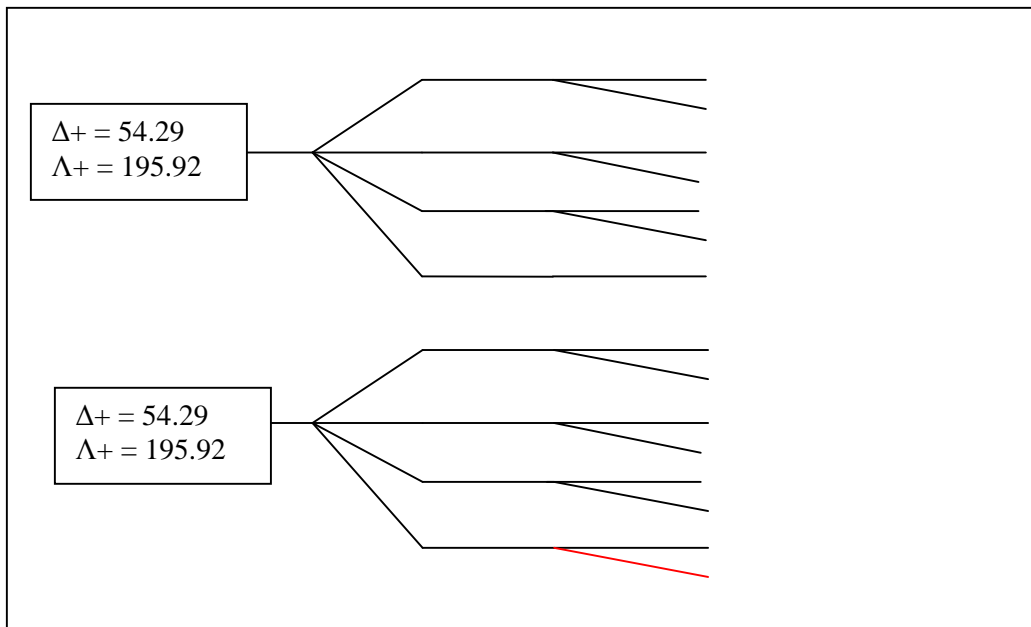


Figure 9 : Cas particulier : l'arbre devient symétrique, la variance reste élevée.

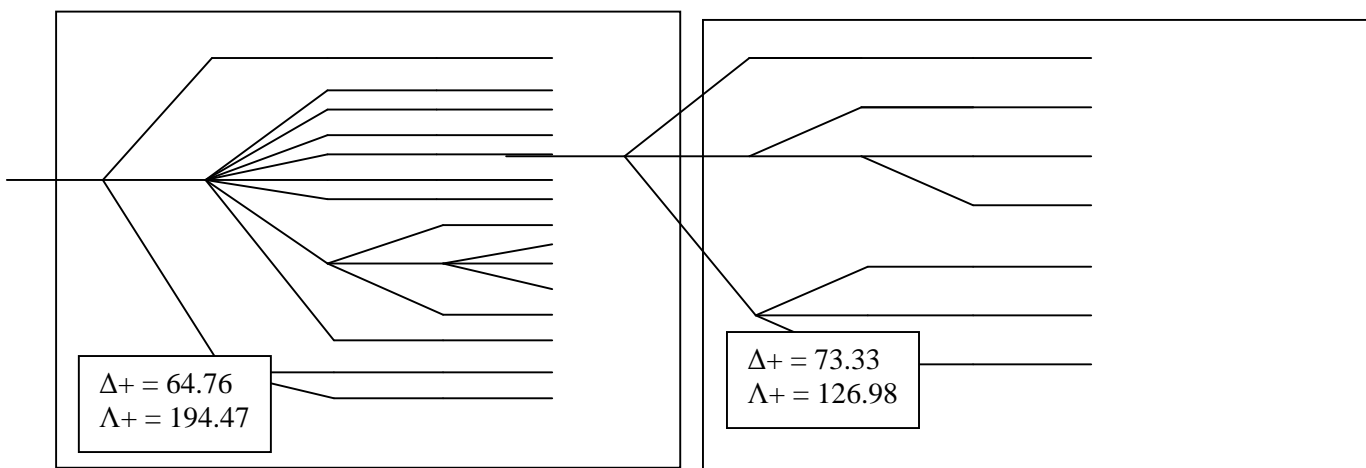


Figure 10 : Evolution des indices $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station M, entre octobre et novembre 1988.

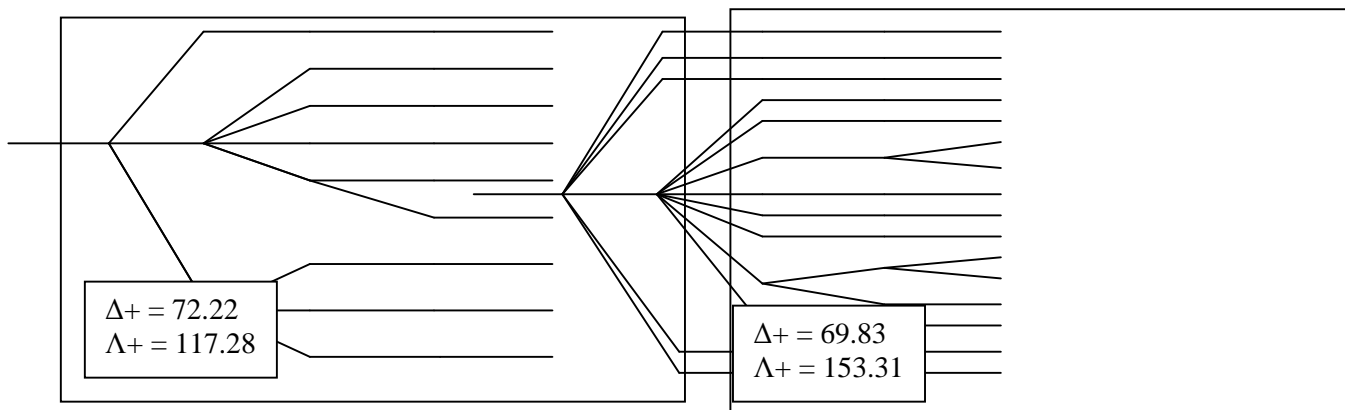


Figure 11 : Evolution des indices $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station I, entre septembre et octobre 1987.

III5 Interprétation des variations :

1) Simulations d'exemples fictifs :

Nous sommes partis d'exemples concrets sur lesquels nous avons fait varier la structure de l'arbre pour voir comment les indices évoluent.

L'indice de distance taxonomique moyenne $\Delta+$ augmente quand il y a un maximum de lignées se différenciant au plus haut niveau taxonomique (*Annexe 6*). On voit également que cet indice augmente lorsque l'on supprime des espèces appartenant à un même genre, donc de niveau taxonomique très bas, pour qu'ainsi chaque lignée soit représentée par une unique espèce (*Annexe 7*).

La variance $\Lambda+$ augmente lorsque une espèce est ajoutée, avec une longueur de chemin très différente des autres (*Annexe 8*) ou quand on fait baisser le niveau taxonomique commun de plusieurs espèces (*Annexe 6*).

On observe un cas particulier : dans le cas représenté en *Figure 10*, l'ajout d'une espèce rend l'arbre parfaitement symétrique. Pourtant la variance ne diminue pas. En fait, l'ajout de cette espèce ne change pas les proportions des chemins : on a toujours 1 chemin court pour 6 chemins longs. Cela nous prouve que l'indice $\Lambda+$ ne représente pas l'équitabilité au sens symétrie de l'arbre, mais en fait l'équitabilité des chemins entre eux (si on ajoute une espèce qui agrandit l'étendue de la moyenne de la longueur des chemins, alors $\Lambda+$ augmentera, Clarke, 2003, communication personnelle).

2) Applications sur nos données :

On travaille sur différents cas : tout d'abord, quand $\Delta+$ augmente tandis que $\Lambda+$ diminue (*Figure 11*, station M, oct./nov. 1988), on remarque qu'il n'y a plus de groupe surreprésenté. Il y a moins d'espèces, mais elles représentent chacune un haut niveau taxonomique différent. Donc l'augmentation du nombre d'espèces ne fait pas forcément augmenter l'indice. Dans le cas contraire, où $\Delta+$ diminue tandis que $\Lambda+$ augmente (*Figure 12*, station I, sept./oct. 1987), on observe le phénomène inverse. On passe d'un arbre simple, avec une espèce par famille (sauf un cas), à un arbre plus complexe, où certains groupes sont dominants. Quand les deux indices augmentent (*Annexe 9*, station R, sept./oct. 1987), on remarque qu'il y a plus de hauts niveaux taxonomiques représentés, mais également qu'un des genre est très représenté, avec 4 espèces. C'est ce qui fait augmenter la variance $\Lambda+$. Enfin, quand les deux indices diminuent (*Annexe 10*, station A, mai/juin 1988), il y a plus de hauts niveaux taxonomiques représentés, et il n'y a pas de groupe dominant, tous les chemins sont de longueur équivalente (donc $\Lambda+$ faible).

IV. Discussion :

Bien que les stations appartenant à un groupe défini par Aliaume (1990) semblaient avoir les mêmes caractéristiques d'emplacement : bord de côte, position intermédiaire ou proximité des récifs coralliens, elles sont en fait très différentes entre elles car elles ne présentent pas les même motifs d'évolution de $\Delta+$. On peut penser que toutes ces stations sont soumises à des facteurs biotiques ou abiotiques particuliers et y répondent chacune de manière spécifique.

Dans le cadre de cette étude, l'indice Δ n'est pas forcément meilleur que l'ancien indice H. Ceci est certainement dû au fait que l'échantillonnage était très bon et bien représentatif des peuplements présents à chaque station. En effet, dans la thèse, il est bien précisé que tout a

été fait pour optimiser l'étude des peuplements : la lune ayant une influence non négligeable sur les peuplements de poissons, les prises ont toujours été effectuées au même moment du cycle lunaire, c'est-à-dire lors du dernier quart, car les poissons sont plus vulnérables à cette période (Stoner et Lopez, 1985 ; Stoner, 1986). De plus, l'effort de pêche était constant : même surface, même vitesse, et même opérateur, afin de le fixer quelle que soit la position spatio-temporelle de la station étudiée. Donc, la variabilité observée entre les échantillons ne provient que de la variation du peuplement présent.

Par contre, il lui reste un inconvénient, car tout comme l'indice de Shannon, il est très sensible aux effectifs, et de plus, la nouvelle information qu'il intègre peut biaiser le résultat. En effet, il prend en compte les relations taxonomiques entre tous les individus d'une même espèce. Il est peut-être alors trop sensible car cela pose problème dans le cas d'un banc de poissons de passage sur le site, qui ferait fortement diminuer la valeur de la diversité taxonomique Δ .

Cependant, il est intéressant de remarquer que ces deux indices sont sensibles à l'effort d'échantillonnage, ce qui va à l'encontre de ce que Warwick et Clarke (1995) prétendent pour Δ . On peut se demander pourquoi cet indice était insensible sur les données de Warwick et Clarke (1995), alors que dans notre cas, ses valeurs moyennes sont corrélées significativement au nombre d'espèces présentes dans l'échantillon. Hall et Greenstreet (1998) ont trouvé un résultat similaire lors de l'étude de la réponse des indices de diversité taxonomique sur les communautés marines de poissons de la mer du Nord : ils ont posé les hypothèses que les changements taxonomiques révélés par les indices Δ ont lieu à de faibles niveaux de perturbations, où les indices conventionnels (H) sont insensibles aux changements. Une autre explication serait que les communautés de poissons ont un nombre restreint de taxons, et donc cela peut limiter les possibilités qu'a l'indice Δ de se différencier des mesures conventionnelles.

Dans ce cas particulier, il est certainement préférable d'employer l'indice de Shannon car il est beaucoup plus simple d'utilisation, il ne nécessite pas la recherche de la taxonomie de tous les individus.

Lorsque l'on travaille avec des effectifs, il semble intéressant d'utiliser plus particulièrement l'indice Δ^* , car il est totalement indépendant du nombre d'espèces présentes dans l'échantillon. Il s'agit alors d'un très bon indice relatant des relations purement taxonomiques entre les espèces de l'échantillon. On peut se fier à un tel indice dans le cas où l'effort d'échantillonnage n'est pas constant. Il est principalement appréciable dans le cas de sites présentant des espèces dominantes.

L'indice Δ^+ ne donne pas seulement une idée de richesse spécifique mais aussi des relations des espèces entre elles. L'utilisation de Δ^+ , insensible au nombre d'espèces, se révèle alors très intéressante, principalement lorsque l'effort d'échantillonnage n'est pas standardisé. Il apporte une information nouvelle particulièrement attrayante, qui nous en apprendra certainement un peu plus sur l'écologie des peuplements de poissons et de leur environnement. Analysé avec Δ^+ , ces indices semblent être de bons indicateurs des changements dans la biodiversité (Warwick et al., 2002).

D'ailleurs, la comparaison des moyennes de ces deux indices (en fonction des mois et des stations, ANOVA) nous montre qu'il existe bien un très fort effet station. Elles sont donc différentes les unes des autres : les peuplements de chacune d'entre elles ne représentent pas du tout de la même manière le peuplement théorique total, il y a certainement des facteurs spécifiques agissant à chaque station.

On trouve de plus un effet mois dans le cas de Δ^+ : la composition taxonomique des peuplements est donc sensible aux variations temporelles. Ceci est très intéressant car l'ANOVA testant le facteur mois effectuée sur Rs dans la thèse (Aliaume, 1990) est non significatif. Donc le nombre d'espèces ne varie pas dans le temps. Il y a des remaniements de peuplement, des espèces sont remplacées. L'indice Δ^+ apporte donc une information

Figure 13 : Evolution de $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station M. $\Delta+$ augmente et $\Lambda+$ diminue. Sept/oct 1988.

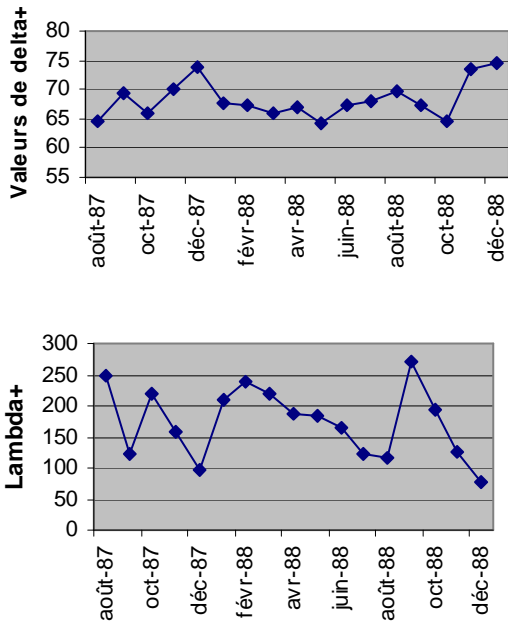


Figure 14 : Evolution de $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station I. $\Delta+$ diminue et $\Lambda+$ augmente. Sept/oct 1987.

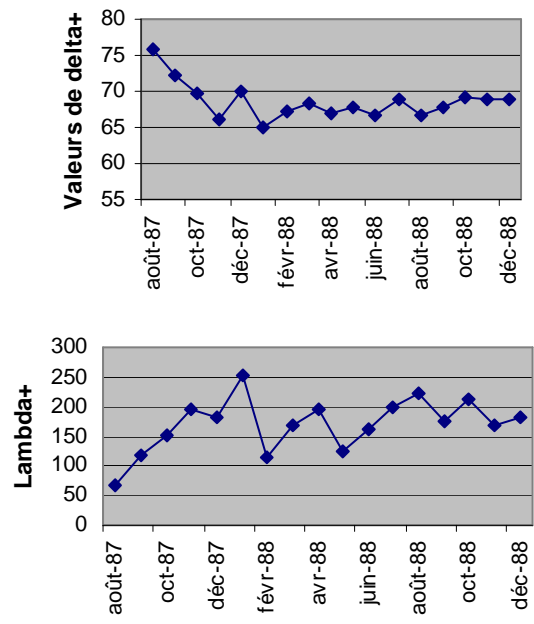


Figure 15 : Evolution de $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station R. $\Delta+$ et $\Lambda+$ augmentent. Sept/oct 1987.

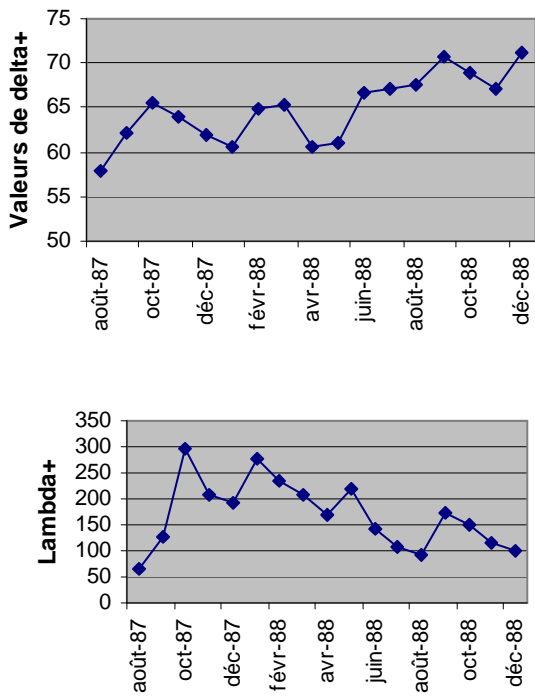
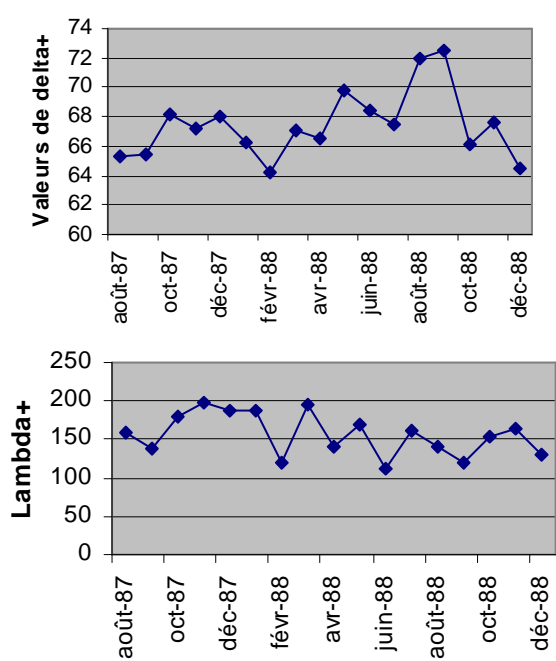


Figure 16 : Evolution de $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station A. $\Delta+$ et $\Lambda+$ diminuent. Mai/juin 1988.



supplémentaire importante, par rapport à l'indice R_s , concernant les compositions taxonomiques des peuplements.

Cependant, il n'y a pas de différence temporelle significative pour $\Delta+$. Il n'y a pas de mois présentant une variation par exemple plus importante dans la représentation taxonomique du peuplement théorique total. Ces variations sont aléatoires dans le temps.

Les variations des indices $\Delta+$ et $\Lambda+$ prennent en compte un grand nombre de facteurs. Ils intègrent en effet beaucoup d'informations et chaque élément est susceptible de faire varier ces indices. Analysés ensembles, ils permettent de mieux comprendre les changements dans la biodiversité. On trouve principalement 4 grandes situations : si les deux indices augmentent en même temps, cela signifie que la station est devenue plus hétérogène car elle accueille des individus plus différents, aux exigences particulières. Par contre, il semblerait que certains groupes sont plus représentés que d'autres. Si les deux indices diminuent, il y a eu une perturbation limitant l'hétérogénéité des individus mais ceux qui restent ne présentent pas de groupes dominants. Lorsque $\Delta+$ augmente et $\Lambda+$ diminue, la station devient très hétérogène et stable. Il s'agirait d'un cas parfait. Il y a une majorité d'espèces représentant des taxons différents, mais sans effet de dominance. Par contre, le cas inverse, où $\Delta+$ diminue et $\Lambda+$ augmente, est la conséquence d'une forte perturbation au sein de la station : Les espèces présentes sont très proches entre elles, et il y a certainement un effet de dominance d'un groupe particulier. La station offre alors peu de possibilité aux poissons de s'installer. Il reste alors à déterminer la ou les causes de cette perturbation : naturelle ou anthropique.

V. Conclusion :

Il semblerait après ces études que les indices de diversité définis par Warwick et Clarke sont moins sensibles à l'effort d'échantillonnage que les indices de diversité plus classiques (indice de Shannon H et richesse spécifique R_s). Cependant, ceci n'est pas très clair pour H et Δ car dans cette étude, l'effort d'échantillonnage a été constant et fait de telle manière qu'il y ait le moins possible de variabilité et qu'il soit extrêmement bien représentatif du peuplement. Dans ce cas, H est un très bon estimateur de la diversité spécifique, aussi précis que Δ . Par contre, comme Δ est quand même légèrement moins sensible à l'effort d'échantillonnage que H , son utilisation peut être particulièrement intéressante lorsque le protocole d'échantillonnage n'est pas standardisé.

Par contre, $\Delta+$ est un nouvel indice très intéressant car non seulement il est très peu sensible à l'effort d'échantillonnage, mais en plus, il apporte une nouvelle information quant aux relations taxonomiques des peuplements. Ceci est particulièrement utile pour comprendre l'écologie des peuplements étudiés, leurs comportements face aux variations environnementales, le mode de fonctionnement des écosystèmes à ces sites...L'avantage de l'utilisation de cet indice est qu'il ne nécessite pas les données d'effectifs. Ainsi, il est particulièrement simple d'utilisation, et apporte cependant une grande quantité d'information.

D'autres études plus approfondies peuvent être effectuées à partir de ces données. On peut par exemple étudier la relation entre l'évolution du nombre d'espèces à un site au cours du temps, et l'évolution de l'indice de diversité Δ observé au même moment. Les deux variables évoluent parfois de manière antiparallèle. Ceci est très intéressant d'un point de vue écologique car il permettrait de mieux mesurer l'impact des variations environnementales ou des perturbations de type naturelles ou anthropiques.

De telles études sont nécessaires lors des programmes de conservation des milieux car elles permettent de visualiser facilement les stations ayant des fortes diversités phylogénétiques. Les stations prioritaires dans les programmes de conservation sont celles ayant une plus longue histoire évolutive.

Cependant, il serait intéressant de comprendre d'où viennent ces variations. On remarque que selon les stations, les chutes de la variation taxonomique n'ont pas lieu au même moment de l'année : on ne peut donc pas généraliser à un phénomène particulier pour toutes les stations tels que l'arrivée de courants froids ou chauds, une salinité plus faible suite à de fortes précipitations.....Chaque station est située dans un site particulier, et donc certainement soumises à différents facteurs. Il faudrait étudier chaque station séparément afin d'en tirer des conclusions sur l'évolution des peuplements à chaque station.

On peut également mettre en relation les variations d'effectifs observés ou encore la composition des peuplements avec les variations de différents facteurs étudiés lors de la thèse : température, %age d'oxygène dissout, pH, salinité, concentration en sels nutritifs, concentration en chlorophylle, ou encore densité de copépodes.

Il serait également intéressant lors d'une prochaine étude de travailler sur les biomasses et non sur les effectifs, afin de vérifier si les indices ont le même type de variation. En effet, les biomasses peuvent être de bons indicateurs de l'impact des espèces au sein de leur peuplement. Une espèce à forte biomasse aura certainement un impact plus important sur le milieu et sur d'autres espèces que beaucoup de petites espèces. Malheureusement, les indices ne sont applicables que sur les effectifs et non sur les biomasses. Il faudrait donc définir de nouveaux indices, utilisant les biomasses pour avoir une étude complète.

Références :

- Aliaume C. (1990) Ichtyofaune des herbiers à Thalassia du Grand Cul-de-Sac Marin en Guadeloupe : organisation spatio-temporelle du recrutement Liaisons avec les variables de l'environnement. Thèse de Doctorat, université Paris VII : 226p.
- Bouchon-Navaro Y. (1997) Les peuplements ichtyologiques récifaux des Antilles. Distribution spatiale et dynamique temporelle. Thèse de Doctorat, Univ. Des Antilles et de la Guyane : 242p.
- Clarke (2003). *Communication personnelle*.
- Clarke K.R., Warwick R.M. (2001) A further biodiversity index applicable to species lists : variation in taxonomic distinctness. *Mar Ecol Prog Ser* 216 : 265-278
- Collier (1973).
- Froese R., Pauly D. (2003) Fishbase World Wide Web electronic publication: www.fishbase.org
- Gaillard S. (2002) Mise en place et évaluation de nouveaux indices de diversité taxinomique : application à des communautés de macrophytes lagunaires méditerranéennes. Mémoire de maîtrise, Univ. Sc. et Tech. Languedoc, Montpellier II : 10p.
- Levinton J.S. (1982) *Marine ecology*. Prentice-Hall Inc. 526p.
- Louis M. (1983) Biologie, écologie et dynamique des populations de poissons dans les mangroves de Guadeloupe (Antilles Françaises). Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Sc. et Tech. Languedoc, Montpellier II : 275p.
- Shannon, Weaver (1963)
- Scherrer B. (1984) *Biostatistique*. Gaëtan Morin éditeur, 850p.
- Stoner (1988)
- Stoner, Lopez (1985)
- Pielou (1966)
- Rogers S.I., Clarke K.R., Reynolds J.D. (1999) The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the North-east Atlantic. *Journal of Animal Ecology* 68: 769-782.
- Warwick R.M., Ashman C.M., Brown A.R. (2002) Inter-annual changes in the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Tees Bay and the Tees estuary, UK, associated with local and regional environmental events. *Mar Ecol Prog Ser* 234: 1-13
- Warwick R.M., Clarke K.R. (2001) Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology* 39: 207-231.
- Warwick R.M., Clarke K.R. (1995) New "biodiversity" measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Mar Ecol Prog Ser* 129: 301-305.

Annexes :

Annexe 1 : Classification des 245 espèces de poissons de Guadeloupe (mangroves, récifs coralliens, herbiers).

Annexe 2 : Random-test : comparaison de tous les échantillons (à chaque station) avec le peuplement théorique total.

Annexe 3 : Comparaison de l'évolution temporelle des deux indices de diversité H et Δ par station.

Annexe 4 : Comparaison de l'évolution temporelle de R_s et Δ_+ par station.

Annexe 5 : Corrélation entre les différents indices et R_s .

Annexe 6 : Simulations de changement de structure (variation du niveau commun). Impact sur les indices Δ_+ et Λ_+ .

Annexe 7 : Simulations de changement de structure : diminution du nombre d'espèces appartenant à un même genre. Impact sur les indices Δ_+ et Λ_+ .

Annexe 8 : Simulations de changement de structure : ajout d'une espèce à un niveau taxonomique élevé. Impact sur les indices Δ_+ et Λ_+ .

Annexe 9 : Evolution des indices Δ_+ et Λ_+ à la station R, entre septembre et octobre 1987. Cas où les deux indices augmentent.

Annexe 10 : Evolution des indices Δ_+ et Λ_+ à la station A, entre mai et juin 1988. Cas où les deux indices diminuent.

Annexe 1 : Classification des 245 espèces de Guadeloupe (mangroves, récifs coralliens, herbiers)

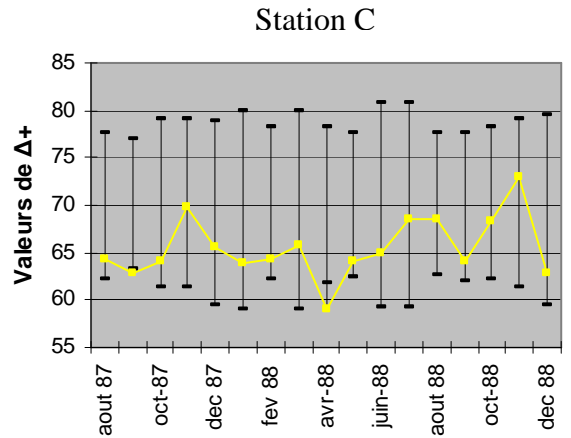
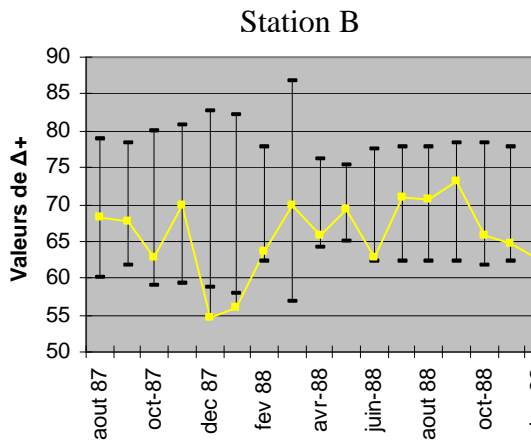
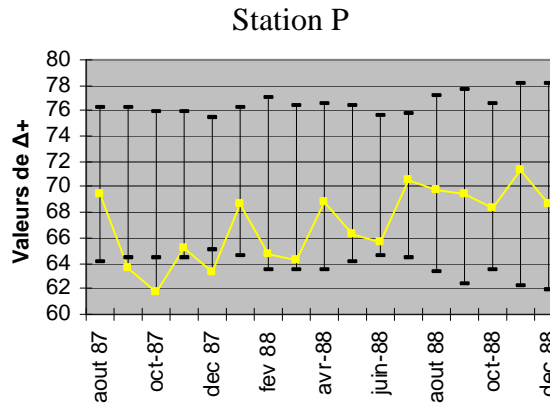
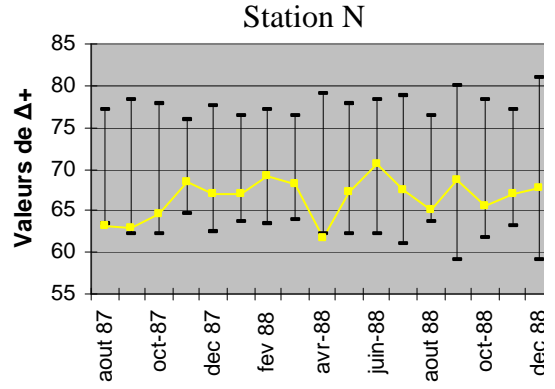
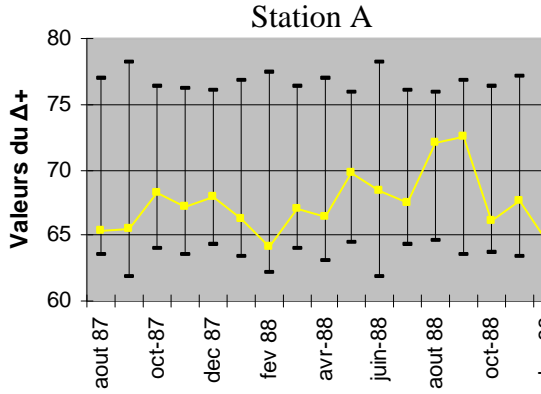
| Super classe | Classe | Ordre | Famille | Genre | Espèce |
|---------------------|------------------|--------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Albuliformes | Albulidae | <i>Albula</i> | <i>vulpes</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Anguillidae | <i>Anguilla</i> | <i>rostrata</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Chlopsidae | <i>Kaupichthys</i> | <i>hyoproroïdes</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Congridae | <i>Conger</i> | <i>triporiceps</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Congridae | <i>Heteroconger</i> | <i>longissimus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Muraenidae | <i>Gymnothorax</i> | <i>funnebris</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Muraenidae | <i>Gymnothorax</i> | <i>miliaris</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Muraenidae | <i>Gymnothorax</i> | <i>moringa</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Ophichthidae | <i>Myrichthys</i> | <i>ocellatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Ophichthidae | <i>Myrophis</i> | <i>punctatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Anguilliformes | Ophichthidae | <i>Ophichthus</i> | <i>ophis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Athériniformes | Athérinidés | <i>Atherinomorus</i> | <i>stipes</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Aulopiformes | Synodontidés | <i>Synodus</i> | <i>intermedius</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beloniformes | Belonidés | <i>Tylosurus</i> | <i>acus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beloniformes | Belonidés | <i>Tylosurus</i> | <i>crocodilus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beloniformes | Hémiramphidés | <i>Hemiramphus</i> | <i>brasiliensis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beloniformes | Hémiramphidés | <i>Hyporamphus</i> | <i>unifasciatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beryciformes | Holocentridés | <i>Holocentrus</i> | <i>coruscus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beryciformes | Holocentridés | <i>Holocentrus</i> | <i>ascensionis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beryciformes | Holocentridés | <i>Holocentrus</i> | <i>rufus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beryciformes | Holocentridés | <i>Myripristis</i> | <i>jacobus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beryciformes | Holocentridés | <i>Neoniphon</i> | <i>marianus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beryciformes | Holocentridés | <i>Plectrypops</i> | <i>retrospinis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Beryciformes | Holocentridés | <i>Sargocentron</i> | <i>vexillarium</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Clupéiformes | Clupéidés | <i>Harengula</i> | <i>clupeola</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Clupéiformes | Clupéidés | <i>Harengula</i> | <i>humeralis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Clupéiformes | Clupéidés | <i>Harengula</i> | <i>jaguana</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Clupéiformes | Clupéidés | <i>Jenkinsia</i> | <i>lamprotaenia</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Clupéiformes | Clupéidés | <i>Opisthonema</i> | <i>oglinum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Clupéiformes | Engraulidés | <i>Anchoa</i> | <i>lyolepis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Clupéiformes | Engraulidés | <i>Anchovia</i> | <i>clupeoides</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Cyprinodontiformes | Poeciliidae | <i>Poecilia</i> | <i>vivipara</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Cyprinodontiformes | Rivulidae | <i>Rivulus</i> | <i>marmoratus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Elopiformes | Elopidés | <i>Elops</i> | <i>saurus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Elopiformes | Mégalopidés | <i>Megalops</i> | <i>atlanticus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Ophidiiformes | Bythitidae | <i>Ogilbia</i> | <i>sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Ophidiiformes | Carapidae | <i>Carapus</i> | <i>bermudensis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Acanthuridés | <i>Acanthurus</i> | <i>bahianus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Acanthuridés | <i>Acanthurus</i> | <i>chirurgus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Acanthuridés | <i>Acanthurus</i> | <i>coeruleus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Apogonidae | <i>Apogon</i> | <i>maculatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Apogonidae | <i>Apogon</i> | <i>quadrisquamatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Apogonidae | <i>Apogon</i> | <i>townsendi</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Apogonidae | <i>Astrapogon</i> | <i>stellatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Apogonidae | <i>Phaeoptyx</i> | <i>conklini</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Blenniidae | <i>Ophioblennius</i> | <i>atlanticus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Callionymidae | <i>Diplogrammus</i> | <i>pauciradiatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Callionymidae | <i>Paradiplogrammus</i> | <i>bairdi</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Carangoides</i> | <i>bartholomaei</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Caranx</i> | <i>latus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Caranx</i> | <i>ruber</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Chloroscombrus</i> | <i>chrysurus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Decapterus</i> | <i>punctatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Oligoplites</i> | <i>saurus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Selar</i> | <i>crumenophthalmus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Carangidés | <i>Selene</i> | <i>vomer</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Centropomidae | <i>Centropomus</i> | <i>ensiferus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Centropomidae | <i>Centropomus</i> | <i>pectinatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Centropomidae | <i>Centropomus</i> | <i>undecimalis</i> |

| | | | | | |
|--------------|------------------|-------------|----------------|-------------------------|----------------------|
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Chaenopsidés | <i>Acanthemblemaria</i> | <i>sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Chaenopsidés | <i>Chaenopsis</i> | <i>limbaughi</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i> | <i>aculeatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i> | <i>capistratus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i> | <i>ocellatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i> | <i>sedentarius</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i> | <i>striatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Cichlidae | <i>Tilapia</i> | <i>sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Cirrhitidae | <i>Amblycirrhitus</i> | <i>pinos</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Echeneidae | <i>Echeneis</i> | <i>naucrates</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Eleotridae | <i>Dormitator</i> | <i>maculatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Eleotridae | <i>Eleotris</i> | <i>pisonis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Eleotridae | <i>Erotelis</i> | <i>smaragdus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Eleotridae | <i>Philypnus</i> | <i>dormitor (sp)</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Ephippidae | <i>Chaetodipterus</i> | <i>faber</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gerreidae | <i>Diapterus</i> | <i>rhombeus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gerreidae | <i>Eucinostomus</i> | <i>argenteus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gerreidae | <i>Eucinostomus</i> | <i>gula</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gerreidae | <i>Eugerres</i> | <i>brasilianus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gerreidae | <i>Gerres</i> | <i>cinereus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Bathygobius</i> | <i>soporator</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Coryphopterus</i> | <i>dicrus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Coryphopterus</i> | <i>eidolon</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Coryphopterus</i> | <i>glaucofraenum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Coryphopterus</i> | <i>lipernes</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Coryphopterus</i> | <i>personatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Gnatholepis</i> | <i>thompsoni</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Gobionellus</i> | <i>oceanicus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Gobionellus</i> | <i>saepellens</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Gobionellus</i> | <i>sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Gobiosoma</i> | <i>evelynae</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Gobiidae | <i>Lophogobius</i> | <i>cyprinoides</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Grammatidae | <i>Gramma</i> | <i>loreto</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidae | <i>Anisotremus</i> | <i>surinamensis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidae | <i>Anisotremus</i> | <i>virginicus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>aurolineatum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>bonariense</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>carbonarium</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>chrysargyreum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>flavolineatum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>macrostoma</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>parra</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>plumieri</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Haemulon</i> | <i>sciurus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Haemulidés | <i>Pomadasys</i> | <i>crocro</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Inermiidae | <i>Inermia</i> | <i>vittata</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Kyphosidae | <i>Kyphosus</i> | <i>sectatrix</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Bodianus</i> | <i>rufus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Clepticus</i> | <i>parrae</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Halichoeres</i> | <i>bivittatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Halichoeres</i> | <i>garnoti</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Halichoeres</i> | <i>maculipinna</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Halichoeres</i> | <i>pictus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Halichoeres</i> | <i>poeyi</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Halichoeres</i> | <i>radiatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Lachnolaimus</i> | <i>maximus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Thalassoma</i> | <i>bifasciatum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Xyrichtys</i> | <i>martinicensis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Xyrichtys</i> | <i>novacula</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labridés | <i>Xyrichtys</i> | <i>splendens</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labrisomidés | <i>Labrisomus</i> | <i>gobio</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labrisomidés | <i>Labrisomus</i> | <i>nuchipinnis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labrisomidés | <i>Malacoctenus</i> | <i>macropus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labrisomidés | <i>Malacoctenus</i> | <i>sp1</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labrisomidés | <i>Malacoctenus</i> | <i>sp2</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Labrisomidés | <i>Paraclinus</i> | <i>sp</i> |

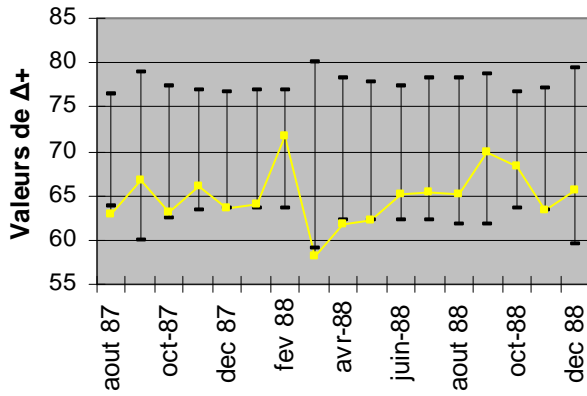
| | | | | | |
|--------------|------------------|-------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Lutjanus</i> | <i> analis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Lutjanus</i> | <i> apodus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Lutjanus</i> | <i> buccanella</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Lutjanus</i> | <i> griseus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Lutjanus</i> | <i> jocu</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Lutjanus</i> | <i> mahogoni</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Lutjanus</i> | <i> synagris</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Ocyurus</i> | <i> chrysurus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Lutjanidés | <i>Rhomboplites</i> | <i> sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Malacanthidae | <i>Malacanthus</i> | <i> plumieri</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Microdesmidae | <i>loglossus</i> | <i> helenae</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Mugilidae | <i>Mugil</i> | <i> curema</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Mugilidae | <i>Mugil</i> | <i> liza</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Mullidés | <i>Mulloidichthys</i> | <i> martinicus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Mullidés | <i>Pseudupeneus</i> | <i> maculatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Opistognathidae | <i>Opistognathus</i> | <i> aurifrons</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pempheridae | <i>Pempheris</i> | <i> schomburgkii</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacanthidae | <i>Holacanthus</i> | <i> ciliaris</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacanthidae | <i>Holacanthus</i> | <i> tricolor</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacanthidae | <i>Pomacanthus</i> | <i> paru</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Abudefduf</i> | <i> saxatilis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Chromis</i> | <i> cyanea</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Chromis</i> | <i> insolata</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Chromis</i> | <i> multilineata</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Microspathodon</i> | <i> chrysurus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Stegastes</i> | <i> diencaeus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Stegastes</i> | <i> dorsopunicans</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Stegastes</i> | <i> fuscus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Stegastes</i> | <i> leucostictus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Stegastes</i> | <i> partitus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Stegastes</i> | <i> planifrons</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Pomacentridés | <i>Stegastes</i> | <i> variabilis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Priacanthidae | <i>Heteropriacanthus</i> | <i> cruentatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Cryptotomus</i> | <i> roseus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Scarus</i> | <i> guacamaia</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Scarus</i> | <i> iseri</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Scarus</i> | <i> taeniopterus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Scarus</i> | <i> vetula</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Sparisoma</i> | <i> atomarium</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Sparisoma</i> | <i> aurofrenatum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Sparisoma</i> | <i> chrysopterum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Sparisoma</i> | <i> radians</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Sparisoma</i> | <i> rubripinne</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scaridés | <i>Sparisoma</i> | <i> viride</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sciaenidés | <i>Bairdiella</i> | <i> ronchus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sciaenidés | <i>Bairdiella</i> | <i> sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sciaenidés | <i>Equetus</i> | <i> acuminatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sciaenidés | <i>Equetus</i> | <i> punctatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sciaenidés | <i>Odontoscion</i> | <i> dentex</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sciaenidés | <i>Stellifer</i> | <i> microps</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Scombridae | <i>Scomberomorus</i> | <i> regalis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Alphestes</i> | <i> afer</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Cephalopholis</i> | <i> cruentata</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Cephalopholis</i> | <i> fulva</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Epinephelus</i> | <i> adscensionis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Epinephelus</i> | <i> guttatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Epinephelus</i> | <i> itajara</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Epinephelus</i> | <i> striatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Hypoplectrus</i> | <i> chlorurus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Hypoplectrus</i> | <i> guttavarius</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Hypoplectrus</i> | <i> nigricans</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Hypoplectrus</i> | <i> puella</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Liopropoma</i> | <i> rubre</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Mycteroperca</i> | <i> interstitialis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Mycteroperca</i> | <i> tigris</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Paranthias</i> | <i> furcifer</i> |

| | | | | | |
|--------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Rypticus</i> | <i>randalli</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Rypticus</i> | <i>saponaceus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Serranus</i> | <i>baldwini</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Serranus</i> | <i>flaviventris</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Serranus</i> | <i>tabacarius</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Serranus</i> | <i>tigrinus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Serranidés | <i>Serranus</i> | <i>tortugarum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sparidés | <i>Archosargus</i> | <i>rhomboidalis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sparidés | <i>Calamus</i> | <i>bajonado</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sphyaenidés | <i>Sphyaena</i> | <i>calamus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Perciformes | Sphyaenidés | <i>Sphyaena</i> | <i>barracuda</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Pleuronectiformes | Achiridés | <i>Achirus</i> | <i>guachancho</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Pleuronectiformes | Achiridés | <i>Achirus</i> | <i>sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Pleuronectiformes | Bothidés | <i>Bothus</i> | <i>lineatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Pleuronectiformes | Bothidés | <i>Bothus</i> | <i>lunatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Pleuronectiformes | Paralichthyidés | <i>Citharichthys</i> | <i>ocellatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Pleuronectiformes | Paralichthyidés | <i>Citharichthys</i> | <i>sp</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Scorpaeniformes | Dactyloptéridés | <i>Dactylopterus</i> | <i>spilopterus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Scorpaeniformes | Scorpaenidés | <i>Scorpaena</i> | <i>volitans</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Scorpaeniformes | Scorpaenidés | <i>Scorpaena</i> | <i>grandicornis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Syngnathiformes | Aulostomidés | <i>Aulostomus</i> | <i>plumieri</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Syngnathiformes | Fistulariidés | <i>Fistularia</i> | <i>maculatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Syngnathiformes | Syngnathidés | <i>Cosmocampus</i> | <i>tabacaria</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Syngnathiformes | Syngnathidés | <i>Cosmocampus</i> | <i>brachycephalus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Syngnathiformes | Syngnathidés | <i>Hippocampus</i> | <i>elucens</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Syngnathiformes | Syngnathidés | <i>Acentronura</i> | <i>reidi</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Balistidae | <i>Balistes</i> | <i>dendritica</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Balistidae | <i>Melichthys</i> | <i>vetula</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Diodontidés | <i>Chilomycterus</i> | <i>niger</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Diodontidés | <i>Cyclichthys</i> | <i>antennatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Diodontidés | <i>Cyclichthys</i> | <i>antennatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Diodontidés | <i>Diodon</i> | <i>antillarum</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Diodontidés | <i>Diodon</i> | <i>holocanthus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Monacanthidés | <i>Aluterus</i> | <i>hystrix</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Monacanthidés | <i>Aluterus</i> | <i>monoceros</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Monacanthidés | <i>Aluterus</i> | <i>schoepfii</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Monacanthidés | <i>Cantherhines</i> | <i>scriptus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Monacanthidés | <i>Cantherhines</i> | <i>macrocerus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Monacanthidés | <i>Monacanthus</i> | <i>pullus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Monacanthidés | <i>Monacanthus</i> | <i>ciliatus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Ostraciidés | <i>Acanthostracion</i> | <i>stetifer</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Ostraciidés | <i>Acanthostracion</i> | <i>polygonius</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Ostraciidés | <i>Lactophrys</i> | <i>quadricornis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Ostraciidés | <i>Lactophrys</i> | <i>bicaudalis</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Ostraciidés | <i>Lactophrys</i> | <i>trigonus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Tétraodontidés | <i>Canthigaster</i> | <i>triqueter</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Tétraodontidés | <i>Sphoeroides</i> | <i>rostrata</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Tétraodontidés | <i>Sphoeroides</i> | <i>greeleyi</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Tétraodontidés | <i>Sphoeroides</i> | <i>nephelus</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Tétraodontidés | <i>Sphoeroides</i> | <i>spengleri</i> |
| Gnathostomes | Actinoptérygiens | Tétraodontiformes | Tétraodontidés | <i>Sphoeroides</i> | <i>testudineus</i> |
| Gnathostomes | Elasmobranches | Rajiformes | Dasyatidae | <i>Dasyatis</i> | <i>americana</i> |
| Gnathostomes | Elasmobranches | Torpediniformes | Narcinidae | <i>Narcine</i> | <i>brasiliensis</i> |
| Gnathostomes | Elasmobranches | Torpediniformes | Torpedinidae | <i>Torpedo</i> | <i>sp</i> |

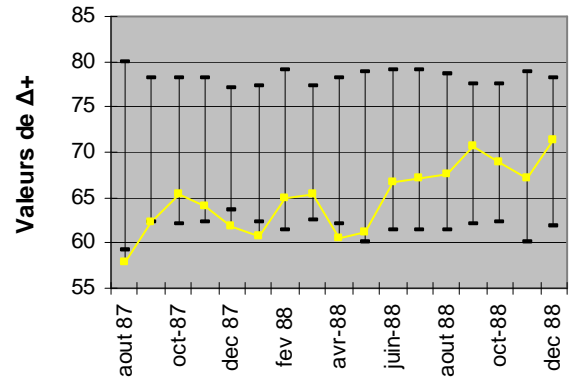
Annexe 2 : Random test : Comparaison de tous les échantillons (à chaque station) avec la population théorique totale.



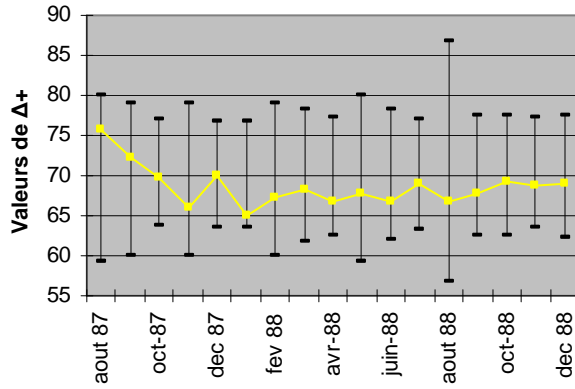
Station Q



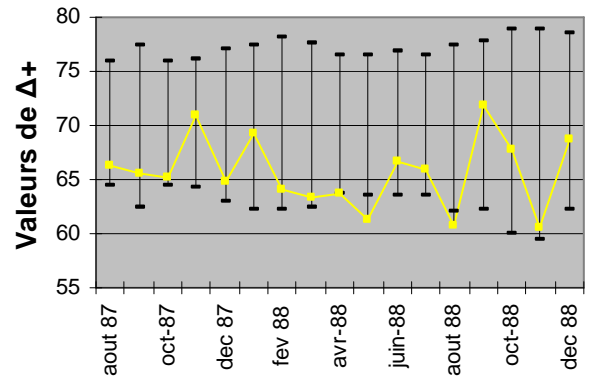
Station R



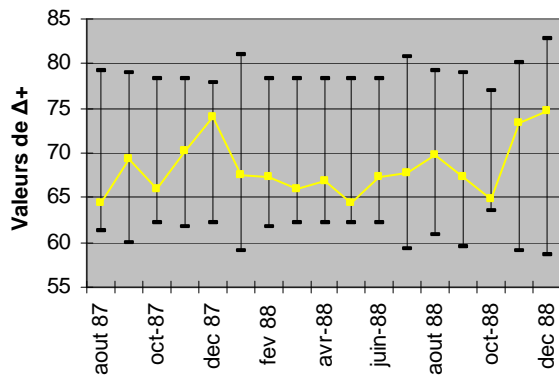
Station I



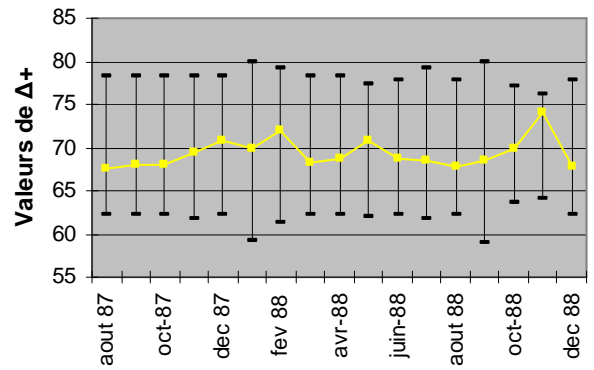
Station J



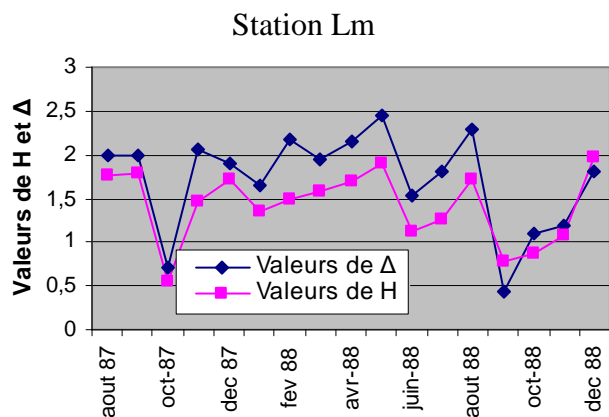
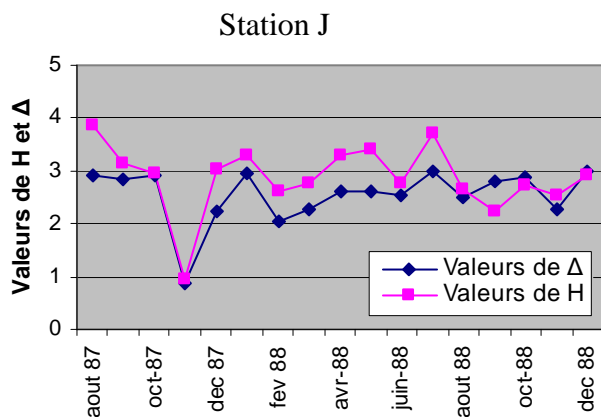
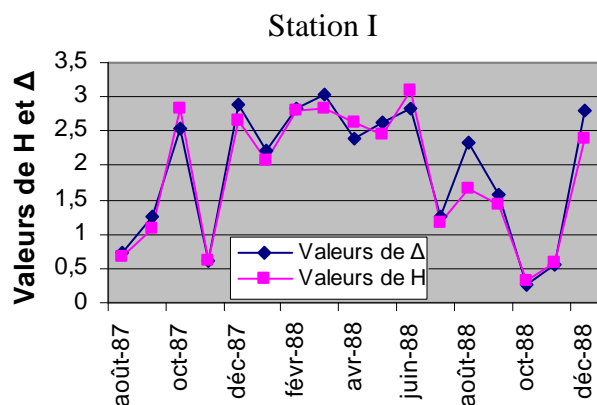
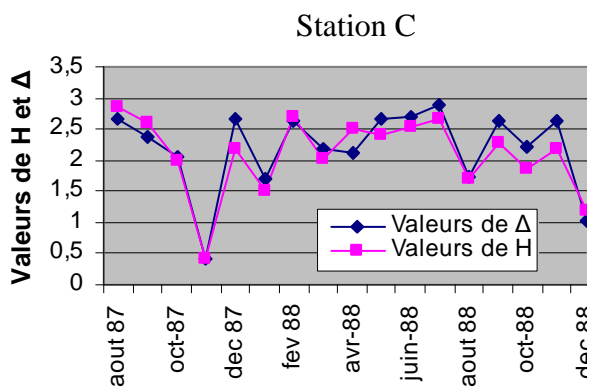
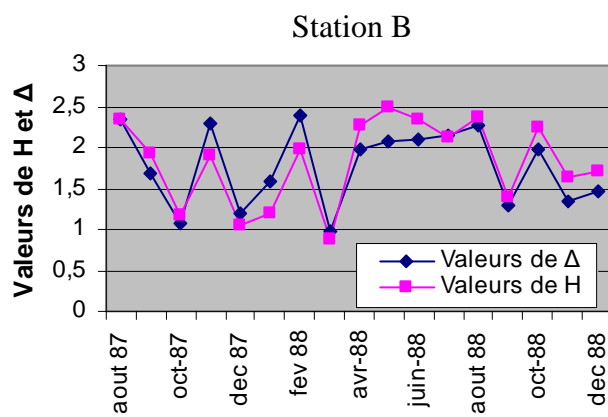
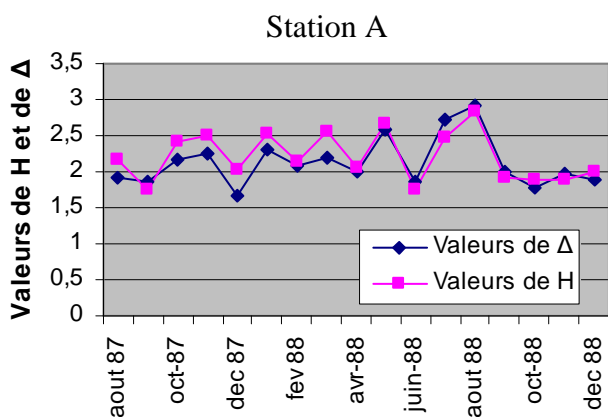
Station M



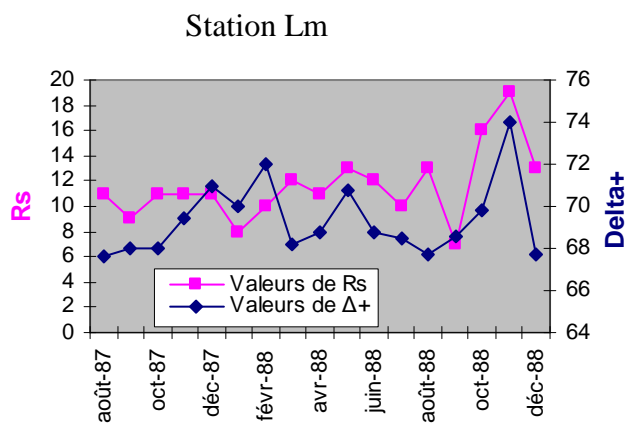
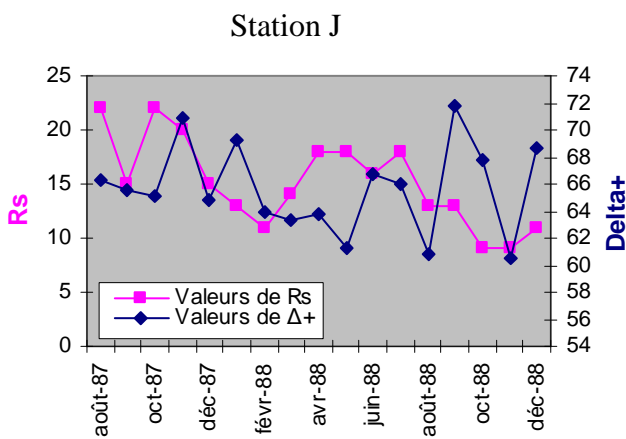
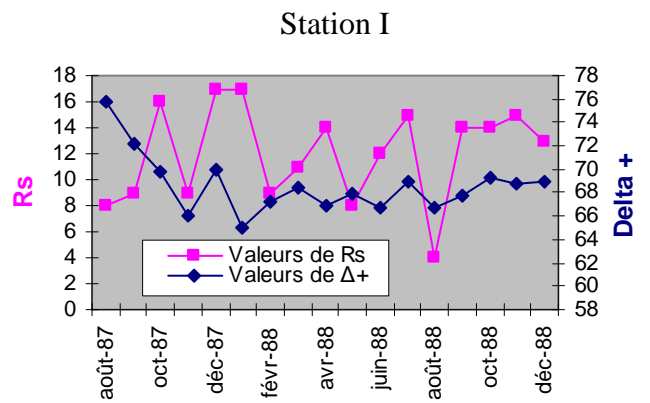
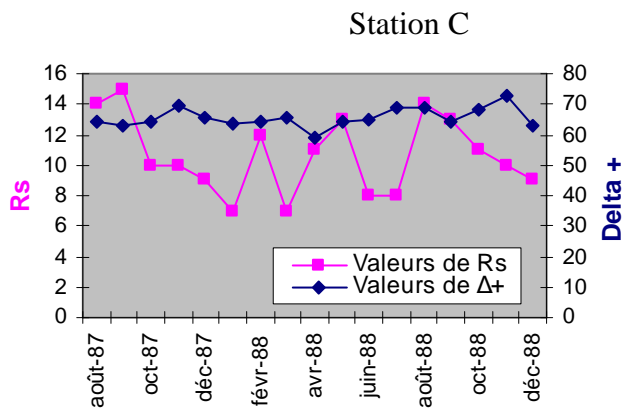
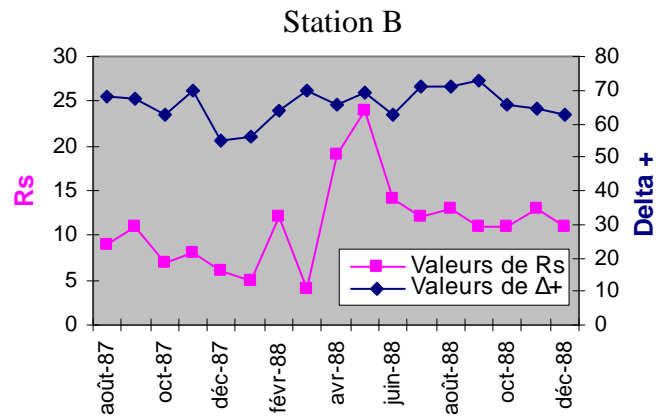
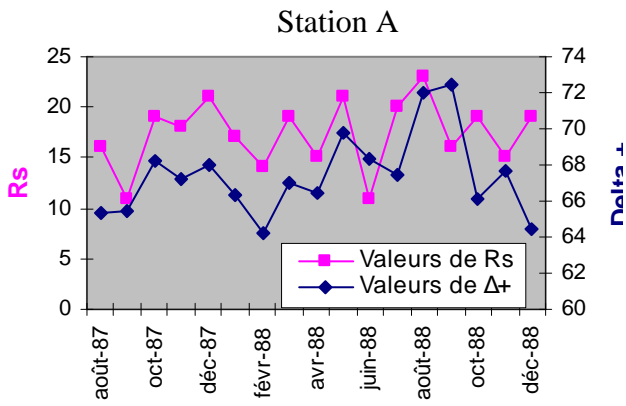
Station Lm



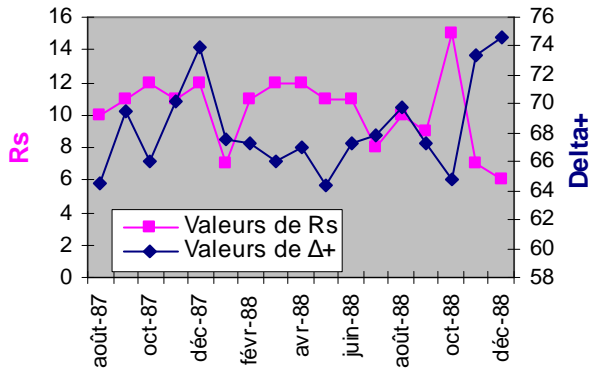
Annexe 3 : Comparaison de l'évolution temporelle des deux indices de diversité H et Δ par station



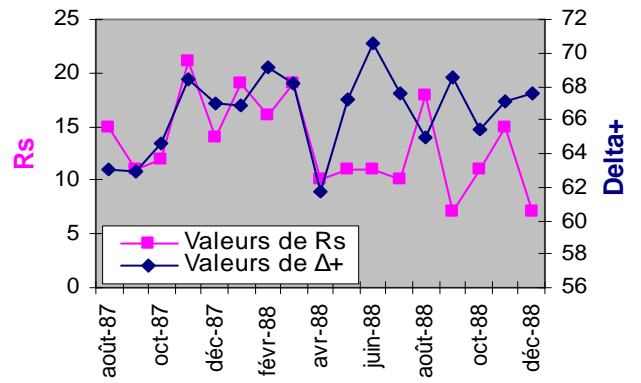
Annexe 4 : Comparaison de l'évolution temporelle de Rs et $\Delta+$ par station



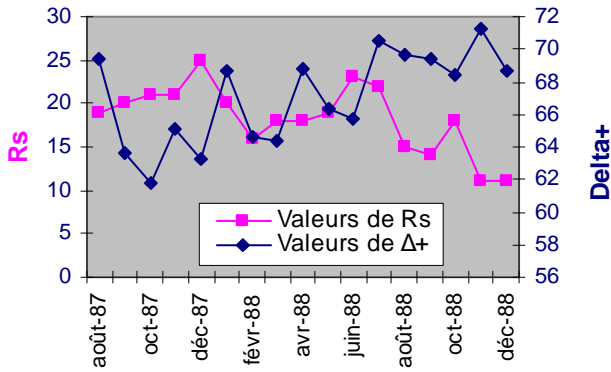
Station M



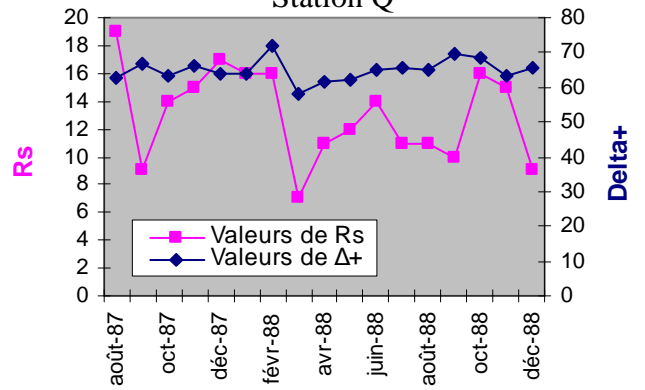
Station N



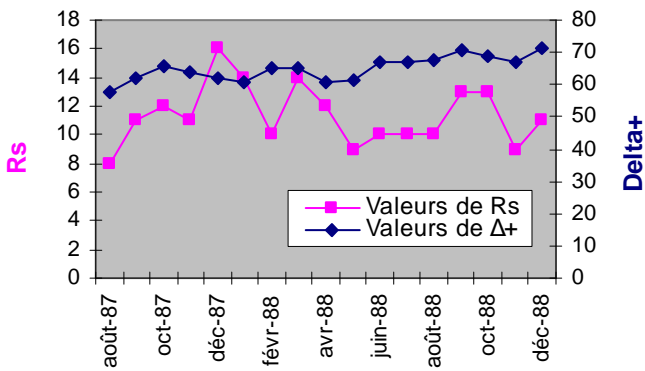
Station P



Station Q

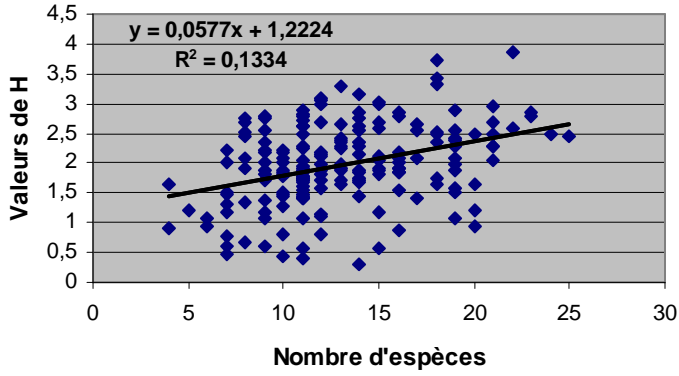


Station R

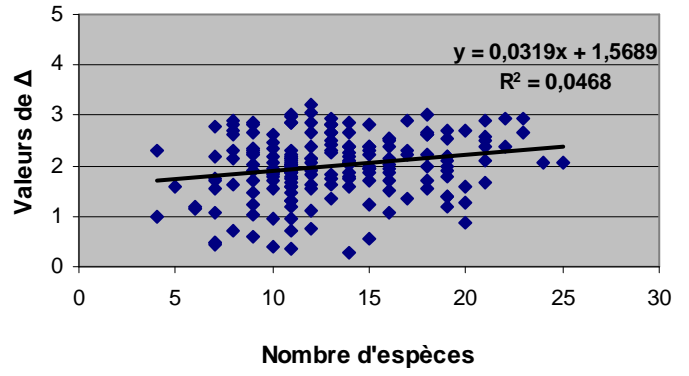


Annexe 5 : Corrélation entre les différents indices et Rs

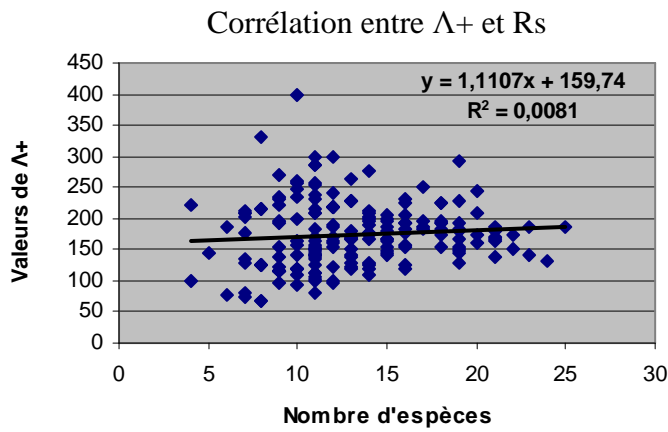
Corrélation entre H et Rs



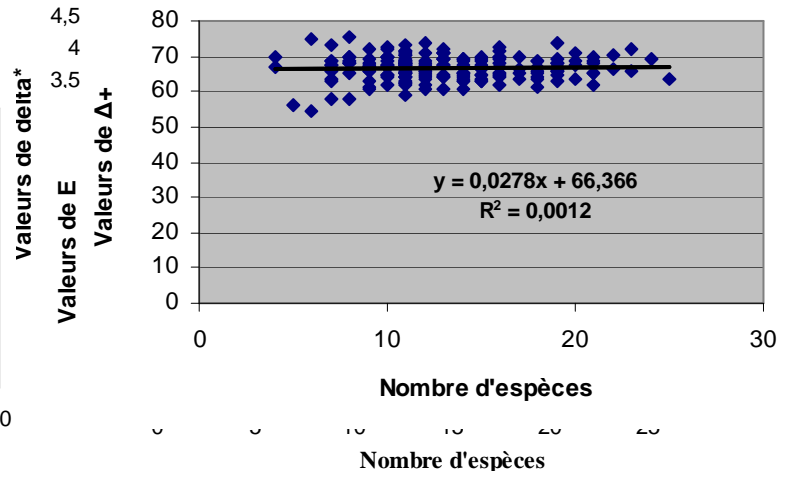
Corrélation entre Δ et Rs



Corrélation entre Δ^* et Rs



Corrélation entre Δ^* et Rs



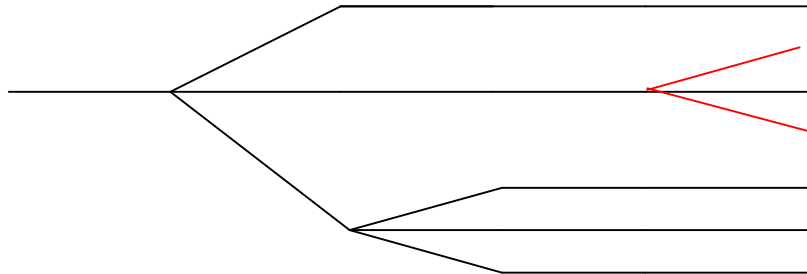
Annexe 6 : Simulations de changement de structure (variation du niveau commun). Impact sur les indices $\Delta+$ et $\Lambda+$

(Station M, novembre 1988)

Même nombre d'espèces, 3 espèces différentes dans un même genre :

$\Delta+$: 68.57

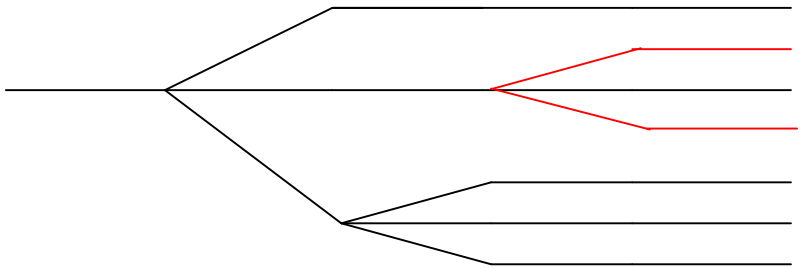
$\Lambda+$: 440.82



Même nombre d'espèces, 3 genres différents :

$\Delta+$: 71.43

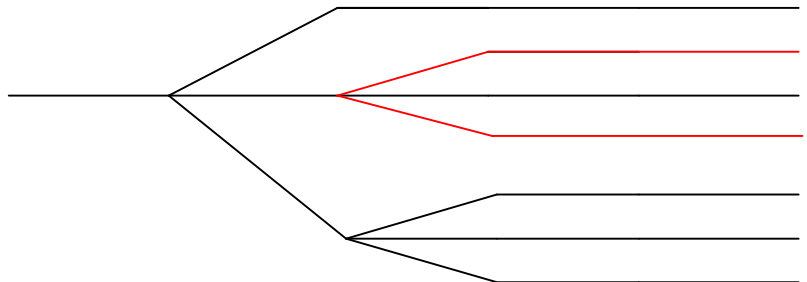
$\Lambda+$: 212.24



Même nombre d'espèces, 3 familles différentes :

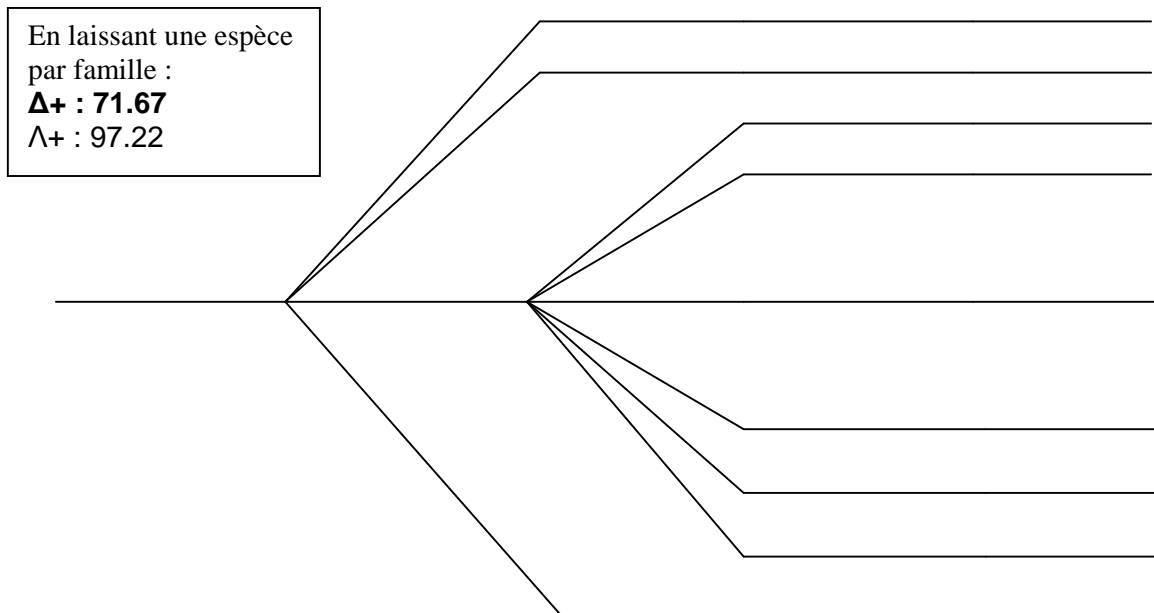
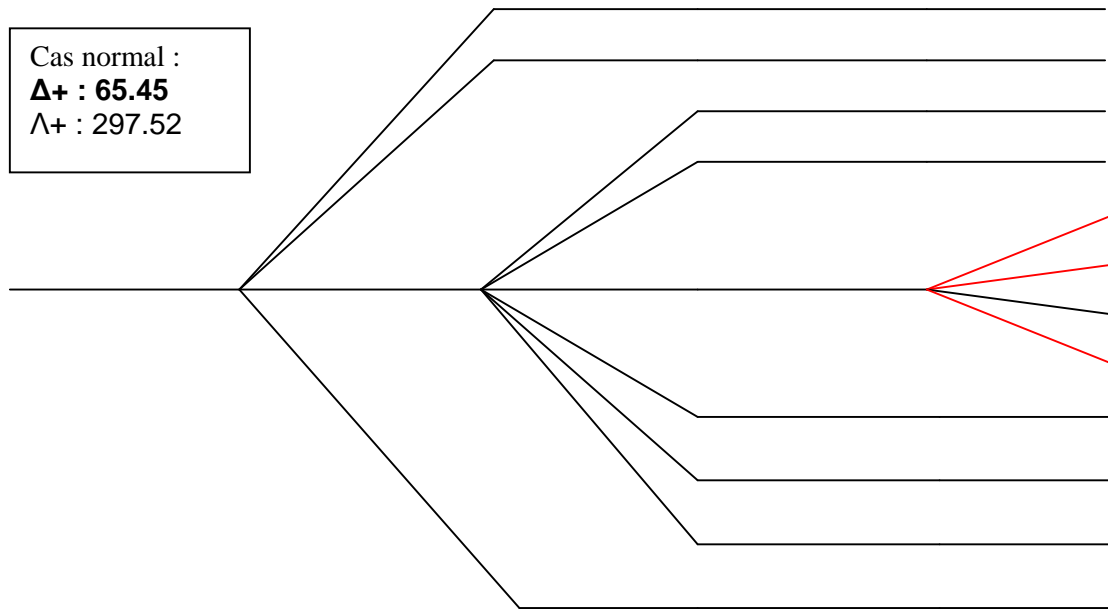
$\Delta+$: 74.29

$\Lambda+$: 81.63



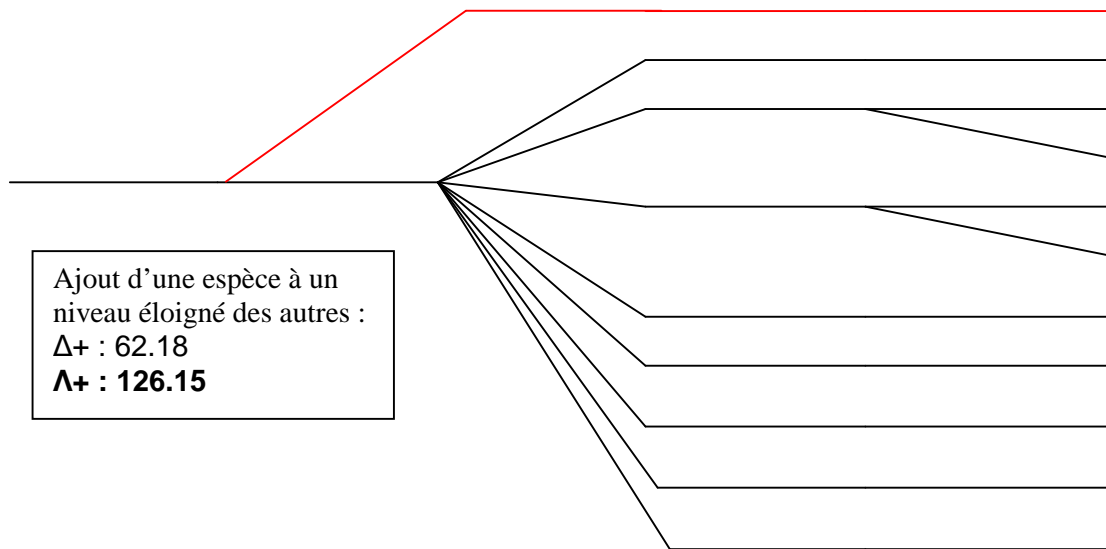
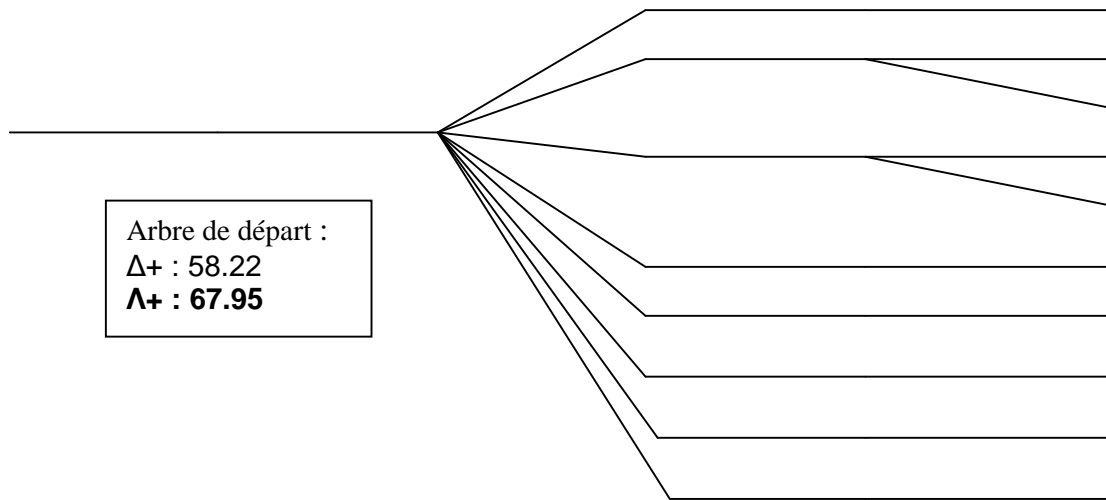
Annexe 7 : Simulation de changement de structure : diminution du nombre d'espèces appartenant à un même genre. Impact sur les indices $\Delta+$ et $\Lambda+$

(Station R, octobre 1987)

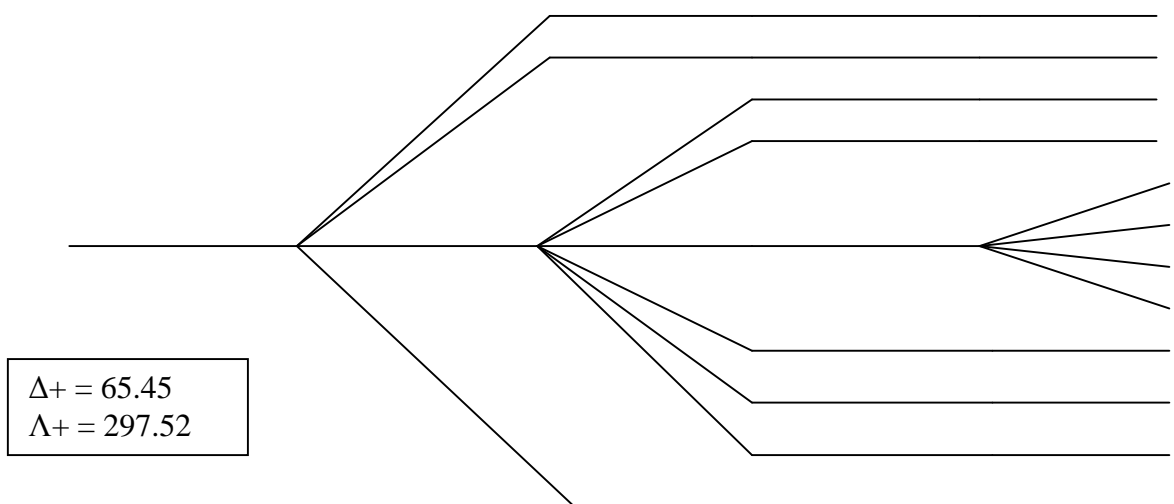
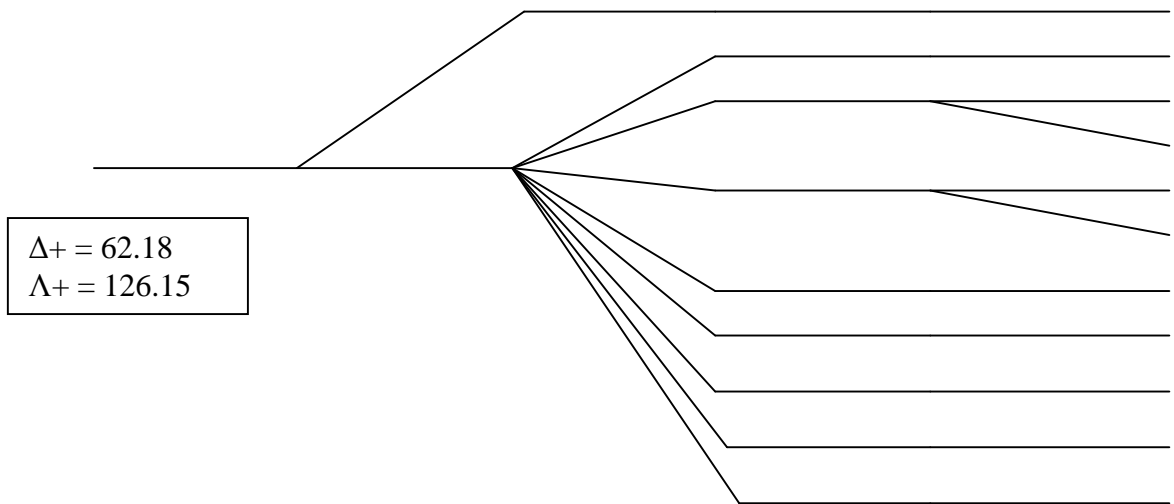


Annexe 8 : Simulation de changement de structure : ajout d'une espèce à un niveau éloigné. Impact sur les indices $\Delta+$ et $\Lambda+$

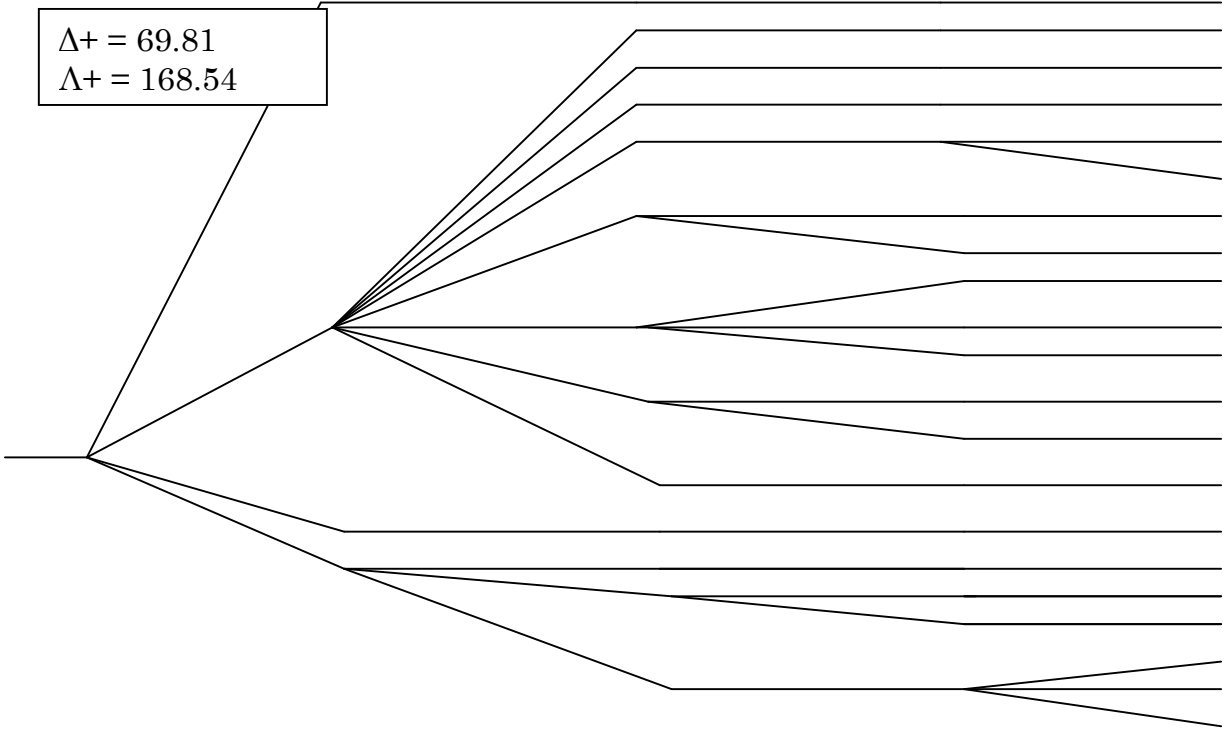
(Station R, septembre 1987)



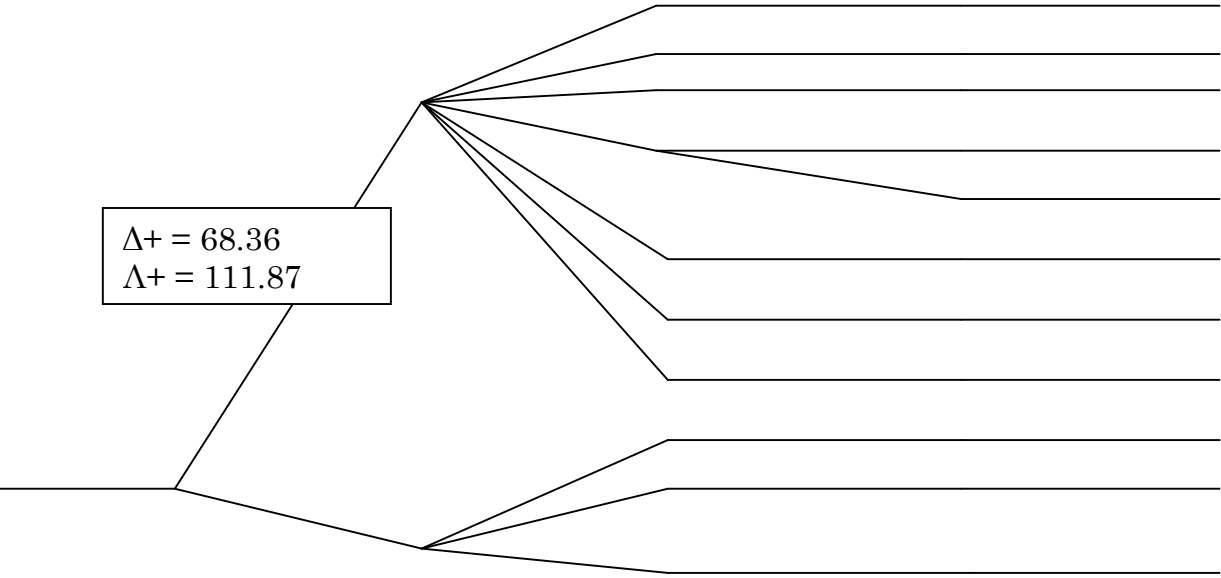
Annexe 9 : Evolution des indices $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station R, entre septembre et octobre 1987. Cas où les deux indices augmentent.



Annexe 10 : Evolution des indices $\Delta+$ et $\Lambda+$ à la station A, entre mai et juin 1988.
Cas où les deux indices diminuent.



$\Delta+ = 68.36$
 $\Lambda+ = 111.87$



Les nouveaux indices de diversité taxonomique prennent non seulement en compte les données classiques (abondance des individus, nombre d'espèces) mais intègrent également une nouvelle donnée : les relations taxonomiques des individus entre eux. Il semble que ces indices sont insensibles à l'effort d'échantillonnage. Ces indices sont tout d'abord comparés aux indices de diversité classique, puis sont testés afin de prouver leur indépendance au nombre d'espèces présentes dans l'échantillon. Deux d'entre eux, Δ^+ et Λ^+ , travaillant en présence/absence, sont utilisés pour mieux comprendre leur évolution en fonction des changements taxonomiques, puis pour expliquer les grands cas de variation rencontrés.

On remarque que contrairement aux résultats attendus, un des indices, Δ , est sensible au nombre d'espèces dans l'échantillon. Par contre, Δ^+ et Λ^+ , analysés ensemble, sont de bons indicateurs des changements de la biodiversité. De plus, la nouvelle information apportée par ces indices peut jouer un rôle important dans les programmes de conservation.

Mots-clés : indices de diversité taxonomique ; indépendance au nombre d'espèces ; peuplement théorique total ; ANOVA ; simulations ; biodiversité ; perturbations environnementales.