

1. Indice de Shannon-Weaver

L'indice de diversité le plus couramment employé est l'indice de Shannon. Il est aussi appelé indice de Shannon-Wiener, bien que ces deux mathématiciens n'aient pas travaillé conjointement dessus. Historiquement, Claude Shannon était un mathématicien cryptographe qui cherchait à décrire l'entropie de caractères dans un texte (entropie de Shannon). Sa formule prend en compte la probabilité de rencontrer un caractère précis compris dans un ensemble de caractères utilisés. En écologie, le caractère est remplacé par une espèce présente et le texte étudié par le peuplement.

1.1. Formulation

H' correspond à l'indice de Shannon, selon la formulation suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2(p_i)$$

p_i = l'abondance proportionnelle ou pourcentage d'abondance d'une espèce présente ($p_i = n_i/N$).
 n_i = le nombre d'individus dénombrés pour une espèce présente.

N = le nombre total d'individus dénombrés, toute espèce confondue.

S = le nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes.

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité spécifique d'un peuplement étudié. Pour rappel, la diversité spécifique caractérise le nombre plus ou moins grand d'espèces présentes dans un peuplement. S'il est homogène (constitué d'une seule et même espèce), alors l'indice $H' = 0$.

Plus nous sommes en présence d'espèces différentes, plus sa valeur augmente de façon logarithmique. Il est ainsi fréquent de voir des valeurs H' comprises entre 1 et 5 pour tenir compte de la diversité spécifique. Ceci est lié au fait que l'indice de Shannon est forcément lié à la taille de l'échantillon. Mais la comparaison de ces valeurs nécessite quelque prudence. Enfin, la valeur $H_{\max} = \log_2(S)$ correspond à un peuplement hétérogène pour lequel tous les individus de toutes les espèces sont répartis d'une façon égale. L'indice H' varie donc entre ces deux limites.

Whilm (1967) a montré que pour une communauté marine du macro-invertébré :

$3 < H' < 5$ correspond à un milieu non pollué,

$1 < H' < 3$ à un milieu modérément pollué et

$H' < 1$ à un milieu sensiblement pollué.

D'après Cairns (1977), H' est insensible aux espèces rares, qui jouent un rôle important dans un écosystème.

Mais c'est un rôle fonctionnel alors que H' est un indicateur de la structure de la communauté.

1.2. Indice d'équitabilité de Pielou (1966)

Pour mieux discuter cet indice de Shannon, il s'accompagne souvent de l'indice d'équitabilité de Pielou (J), ou indice d'équirépartition (E). Sa formule correspond au rapport entre H' et H_{\max} : $E = H'/H_{\max}$. Cet indice varie donc entre 0 et 1. S'il tend vers $E = 1$, alors les espèces présentes dans le peuplement ont des abondances identiques. S'il tend vers $E = 0$, alors nous sommes en présence d'un déséquilibre où une seule espèce domine tout le peuplement.

Ces deux indices permettent notamment de suivre les changements temporels d'un peuplement (c'est-à-dire l'ensemble des espèces d'un territoire donné partageant une écologie semblable). L'apparition d'une espèce invasive

ou les pics d'opportunistes entraînent une baisse significative conjointe de H' et E. A l'inverse, un écotone (zone de transition écologique entre deux écosystèmes) ou un peuplement à l'équilibre présente des indices élevés. C'est pourquoi il faut prendre en compte ces deux indices de manière concomitante afin d'apprécier l'état d'un écosystème.

2. Indice de Simpson

Cet indice proposé par le statisticien Edward H. Simpson mesure la probabilité que deux individus pris au hasard appartiennent au même groupe.

2.1. Formulation

Appliqué à l'écologie, l'indice de Simpson est la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce dans un peuplement. Plusieurs formes de l'indice existent dans la littérature scientifique, ce qui peut compliquer l'interprétation des valeurs.

Dans ce cas, nous nous appuyerons sur la probabilité que deux individus appartiennent à la même espèce selon la formule originelle de Simpson (1949) : $P(\omega) = \sum (p_i)^2$. Il en découle deux formules, suivant que l'échantillon est infini (tirage avec remise, indice λ) ou fini (tirage sans remise, indice L). Par exemple, dans le cas d'un peuplement de phytoplancton par m³ d'eau de mer, on préférera l'indice λ . Pour suivre une population d'oiseaux forestiers par hectare, nous utiliserons l'indice L.

$$\lambda = \sum_{i=1}^S (p_i)^2$$

$$L = \frac{\sum_{i=1}^S n_i \cdot (n_i - 1)}{N \cdot (N - 1)}$$

p_i = proportion d'individus de l'espèce i ($p_i = n_i/N$).

n_i = nombre d'individus de l'espèce i

N = nombre total d'individus.

S = le nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes.

Plus cet indice est proche de 1, plus le peuplement est homogène. Aussi utilise-t-on fréquemment un second indice, ou indice de diversité, correspondant à l'indice de Simpson retranché à 1.

2.2. Indice de diversité

Cet indice de diversité est tout d'abord plus intuitif de lecture que l'indice de Simpson. Sa formule correspond à $D = 1/\lambda$ ou $D = 1 - L$ (selon la taille de l'échantillon étudié). Lorsque $D = 0$, alors une seule espèce est présente dans le peuplement. Si toutes les espèces ont la même probabilité $p_i = 1/S$ de présence, alors $D = 1 - (1/S)$. Enfin, la valeur $D = 1$ apparaîtrait dans le cas de figure où un nombre infini d'espèces sont présentes, mais toutes de probabilité quasi-nulle.

Indice de Hill

Cet indice propose une mesure de l'abondance proportionnelle, en comparant entre-eux les indices de Shannon et de Simpson. L'indice de diversité de Hill ainsi obtenu a pour objectif d'apprécier le rapport entre d'un côté la prise en compte des espèces abondantes (Simpson) et de l'autre l'influence des espèces rares (Shannon). L'indice de Hill apparaît donc comme un indice synthétique.

- Il s'agit d'une mesure de l'abondance proportionnelle, permettant d'associer les indices de Shannon et de Simpson. Sa formule est la suivante :

$$\text{Hill} = (1/D)/e^{H'}$$

Lorsque Hill tend vers 0, alors la biodiversité est plus importante. Il est également possible de convertir cette valeur en $(1 - \text{Hill})$ afin que l'indice soit croissant avec la biodiversité présente. Cet indice peut sembler plus pertinent dans une synthèse de résultats terrain, cependant il peut être intéressant de comparer les trois indices simultanément pour mieux apprécier la structure des communautés.

1/D : c'est l'inverse de l'indice de Simpson.

$e^{H'}$: c'est l'exponentiel de l'indice de Shannon.

- L'indice de Hill permet d'obtenir une vue encore plus précise de la diversité observée.
- 1/D va permettre la mesure du nombre effectif d'individus très abondants.
- $e^{H'}$ va en revanche de mesurer le nombre d'individu abondants mais surtout des espèces rares.
- Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1, et plus la diversité est faible.
- C'est comme l'indice de Simpson et pour faciliter l'interprétation, il est alors possible d'utiliser l'indice 1-Hill ou la diversité maximale sera représentée par la valeur 1, et la diversité minimale par la valeur 0.

Indice de diversité de Menhinick :

L'indice de diversité de Menhinick est une mesure statistique utilisée pour évaluer la diversité d'une communauté biologique, en particulier dans le domaine de l'écologie. Il a été développé par le biologiste américain John W. Menhinick et est principalement utilisé pour évaluer la diversité des espèces végétales ou animales dans un échantillon ou un site spécifique. Cet indice se concentre sur la richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces différentes présentes dans une zone donnée par rapport au nombre total d'individus dans cette zone.

La formule de l'indice de diversité de Menhinick est la suivante :

$$\text{DMN} = S / \sqrt{N}$$

Où :

- DMN est l'indice de diversité de Menhinick.
- S représente le nombre d'espèces différentes dans l'échantillon ou la zone étudiée.
- \sqrt{N} est la racine carrée du nombre total d'individus dans l'échantillon ou la zone.

L'indice de diversité de Menhinick permet de prendre en compte à la fois la **richesse spécifique** et la **taille** de l'échantillon. Plus la valeur de l'indice est **élevée**, plus la diversité spécifique est **grande**, indiquant ainsi une plus grande variété d'espèces dans la zone étudiée. Cependant, il ne tient pas compte de la répartition des individus entre les espèces, ce qui signifie qu'une espèce dominante peut avoir le même poids qu'une espèce rare dans le calcul de l'indice.

En résumé, l'indice de diversité de Menhinick est un outil simple mais utile pour évaluer la diversité biologique en se basant sur le nombre d'espèces différentes présentes dans un échantillon ou un site, en prenant en compte la taille de l'échantillon. Il peut être utilisé pour comparer la diversité entre différentes zones ou pour suivre les changements dans le temps au sein d'une même zone.

N.B. Cet indice s'avère être très efficace pour évaluer l'eutrophisation

1. L'indice de Jaccard :

Pour identifier le degré de similarité, d'association entre des groupes ou la diversité de différenciation des espèces entre différents habitats, on utilise le coefficient ou indice de similarité ou de similitude. Le choix adéquat d'un indice de similarité, n'est pas évident et la question à se poser est de savoir si le fait qu'une espèce soit absente ou non contribue à augmenter la dissimilarité. Il existe plusieurs indices de similarité qui s'appliquent sur des données de présence-absence comme l'**indice de Jaccard** que nous allons vous présenter ici.

Cet indice permet une comparaison entre deux sites car il évalue la ressemblance en calculant le rapport entre les espèces communes aux deux sites et celles propre à chaque relevé. La formule est la suivante :

$$I = \frac{Nc}{N1 + N2 - Nc}$$

Où :

- Nc : correspond au nombre de taxon commun entre les deux sites
- N1 et N2 : le nombre de taxons présents sur le site 1 et 2, respectivement

Les valeurs de l'indice varient entre 0 lorsque les deux sites n'ont aucune espèce en commun, et 1 quand les deux sites ont toutes leurs espèces en commun. Dès lors plus la valeur est proche de 1, plus les sites sont similaires.

Dans R, l'indice de Jaccard est un indice de dissimilarité. L'indice de similarité est complémentaire à l'indice de dissimilarité et se calcule comme suit :

$$\text{Similarité} = 1 - \text{dissimilarité}$$

2. L'indice de similarité de SÖRENSEN :

$S = (2c / (a + b)) \times 100$ est utilisé pour comparer les différentes stations entre elles ;

Où a = nombre d'espèces présentes dans la première station,

b = nombre d'espèces présentes dans la seconde station et

c = nombre d'espèces communes aux deux stations

Comment interpréter l'indice de Sorensen ?

Il donne un poids deux fois plus élevé à la double présence. L'indice de Sørensen est une mesure très simple de la biodiversité bêta (β), variant de 0 quand il n'y a pas d'espèces communes entre deux communautés, à la valeur 1 lorsque les mêmes espèces existent dans les deux communautés.