



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Mesurer la Biodiversité

Eric Marcon

17 novembre 2025



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Théorie



Entropie

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Expérience à plusieurs résultats possibles : espèce à laquelle appartient un individu : $\{r_1, r_2, \dots, r_s, \dots, r_S\}$

Probabilités associées $\{p_1, p_2, \dots, p_s, \dots, p_S\}$

Information $I(p_s)$, décroissante, $I(1) = 0$

Entropie = Information moyenne apportée par un individu:
$$\sum_s p_s I(p_s)$$



Exemples

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Le fondateur : [Shannon \(1948\)](#)

- $I(p_s) = \ln \frac{1}{p_s}$
- $H = \sum_s p_s \ln \frac{1}{p_s}$

Les généralisations :

- [Rényi \(1961\)](#) :

- ${}^\alpha R = \frac{1}{1-\alpha} \ln \sum_s p_s^\alpha$

- [Tsallis \(1998\)](#) :

- ${}^q H = \frac{1}{q-1} (1 - \sum_s p_s^q)$.

- Appelée aussi HCDT ([Havrdá and Charvát, 1967](#); [Daróczy, 1970](#); [Tsallis, 1998](#))



Axiomatique

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Les trois entropies respectent ([Patil and Tailie, 1982](#); [Grabchak et al., 2017](#)) :

- Symétrie
- Continuité par rapport aux probabilités
- Principe des transferts, qui contient:
 - L'ajout d'une espèce augmente la diversité
 - Maximisation si toutes les probabilités sont égales



Propriétés

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

0H est le nombre d'espèces -1

1H est l'entropie de Shannon

2H est l'entropie de Simpson : $1 - \sum_s p_s^2$

q paramétrise l'importance des espèces rares.

Application à la relation diversité-productivité en forêt [Liang et al. \(2016\)](#) : $q = 2$.



Logarithmes déformés

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Tsallis (1994):

- $\ln_q x = \frac{x^{1-q} - 1}{1-q}$
- $e_q^x = [1 + (1-q)x]^{\frac{1}{q-1}}$

Simplifie l'écriture de l'entropie HCDT ([Marcon et al., 2014](#)) :

$${}^qH = \sum_s p_s \ln_q \frac{1}{p_s}$$



Logarithmes déformés

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

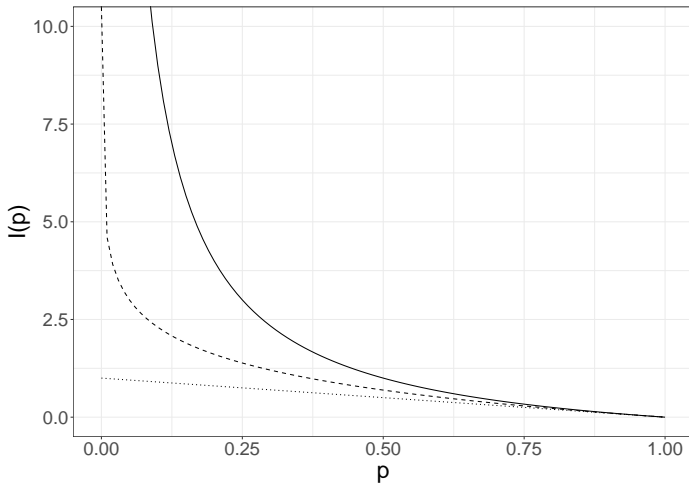
Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References





Résumé / Définitions

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

La rareté est l'inverse de la probabilité : $\frac{1}{p_s}$

L'information est le logarithme (déformé) de la rareté : $\ln_q \frac{1}{p_s}$

L'entropie est l'espérance de l'information :

$${}^qH = \sum_s p_s \ln_q \frac{1}{p_s}$$



Nombres de Hill

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Hill (1973) : Nombre d'espèces équiprobables ayant l'entropie des données. Nombre effectif ([Wright, 1931](#), ; [Gregorius, 1991](#)).

Résume la diversité à un seul nombre : diversité au sens strict ([Jost, 2006](#))

La diversité est l'exponentielle de l'entropie ([Marcon et al., 2014](#)) :

$${}^qD = e_q^H$$



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Pratique



Barro Colorado Island

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

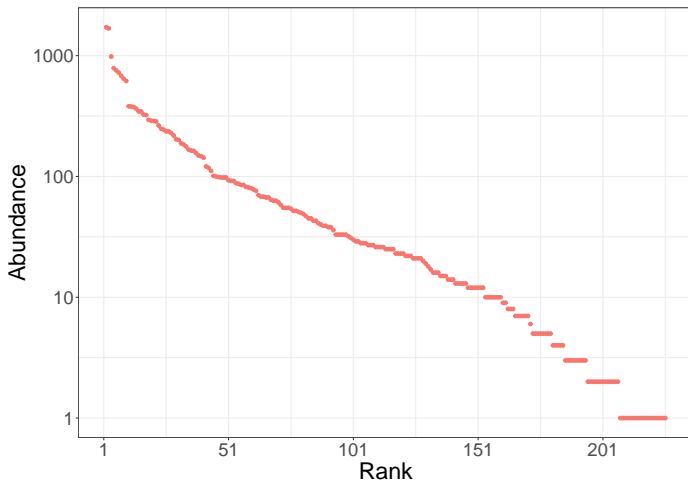
Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Diagramme rang-abondance ([Whittaker, 1965](#))





Courbe d'accumulation

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

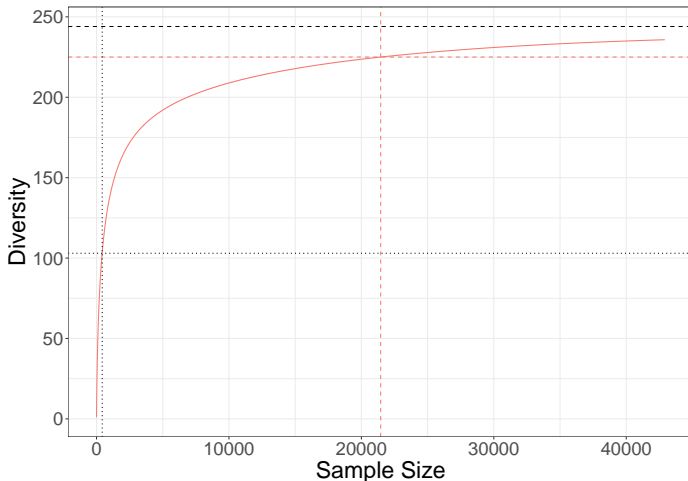
Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Diversité de l'échantillon, asymptotique ou standardisée





Diversité asymptotique

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Il existe des estimateurs :

- Richesse : Chao ([Chao, 1984](#)) ou Jackknife ([Burnham and Overton, 1978](#))

```
library("divent")  
div_richness(BCI_50ha)
```

estimator	order	diversity
Jackknife 1	0	244

- Entropie HCDT :
 - Réduction du biais d'estimation ([Chao and Jost, 2015](#))
 - Estimation de la distribution réelle ([Chao et al., 2015](#))

```
div_hill(BCI_50ha, q = 1)
```

estimator	order	diversity
UnveilJ	1	71.95748



Profil de diversité

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

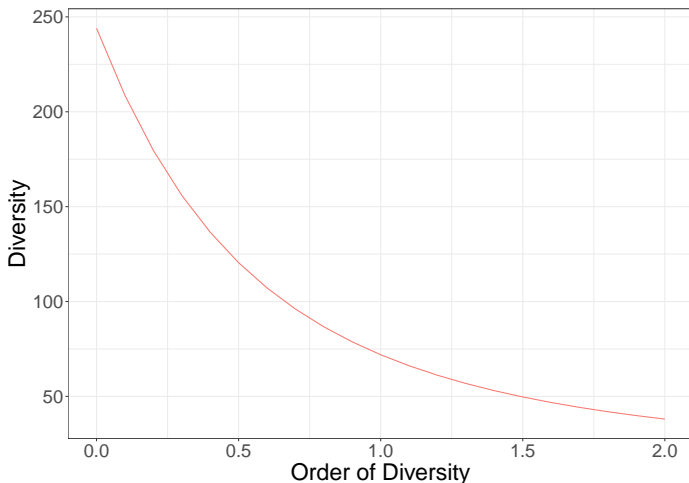
Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Diversité en fonction de son ordre ([Tothmeresz, 1995](#))





Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Diversité phylogénétique



Dendrogramme

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

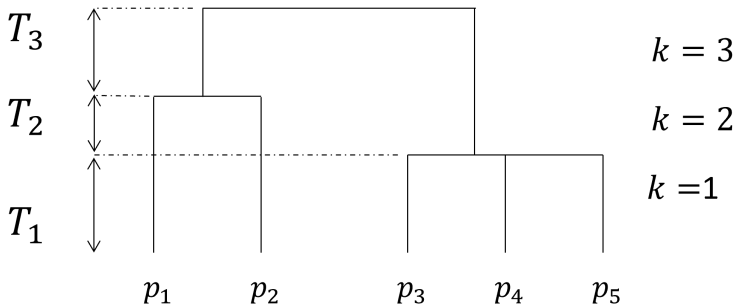
Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Phylogénie dans l'idéal, taxonomie possible ([Ricotta et al., 2012](#)).





Définition

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

L'entropie est l'information moyenne au cours du temps
([Pavoine and Bonsall, 2011](#)).

$${}^q\bar{H}(T) = \sum_k \frac{T_k}{T} {}^qH_k$$

La diversité est son exponentielle ([Marcon and Hérault, 2015](#)).



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Décomposition de la diversité



Définitions

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Whittaker (1960) : plusieurs communautés regroupées dans une métacommunauté dont les communautés sont des échantillons. La diversité est la richesse (entropie et diversité).

- Diversité α : diversité moyenne des communautés (nombre moyen d'espèces)
- Diversité γ : de la métacommunauté (nombre total d'espèces)
- Diversité β : entre les communautés. Ratio γ/α ou différence $\gamma - \alpha$ (**Lande, 1996**)



Définitions

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Précisément :

- L'entropie α est la moyenne des entropies locales :
quantité d'information
- La diversité est l'exponentielle de l'entropie
- La diversité β est le rapport des diversités, l'entropie β la
différence des entropies
- La diversité β est un nombre effectif de communautés :
communautés de même poids, sans aucune espèce
commune ([Jost, 2007](#))



Exemple simple

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

3 Communautés avec respectivement 6, 4 et 5 espèces ; 10 espèces au total :

- Diversité α : 5 espèces par communauté
- Diversité γ : 10 espèces
- Diversité β : 2 communautés effectives

10 espèces = 5 espèces par communauté X 2 communautés



BCI

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

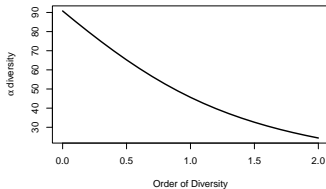
Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

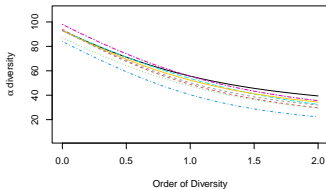
Conclusion

References

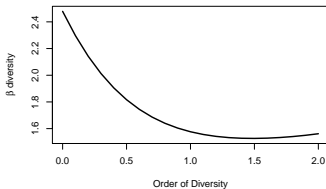
Total Alpha Diversity



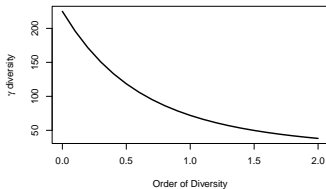
Alpha Diversity of Communities



Beta Diversity



Gamma Diversity





Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Conclusion



Messages à emporter

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

L'entropie permet de caractériser la diversité : c'est l'espérance de l'information apportée par un individu

L'entropie est une quantité d'information

La diversité au sens strict est un nombre effectif (d'espèces, de communautés...)

Pas d'indices de diversité ici : seulement des mesures



Messages à emporter

Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

La rareté est l'inverse de la probabilité : $\frac{1}{p_s}$

L'information est le logarithme (déformé) de la rareté : $\ln_q \frac{1}{p_s}$

L'entropie est l'espérance de l'information :

$${}^qH = \sum_s p_s \ln_q \frac{1}{p_s}$$

La diversité est son exponentielle :

$${}^qD = e_q^{{}^qH}$$

En pratique : package [divent](#) et de la lecture ([écran](#) ou [PDF](#)).



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Burnham, K. P. and W. S. Overton (1978). Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biometrika* 65(3), 625–633.

Chao, A. (1984). Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11(4), 265–270.

Chao, A., T. C. Hsieh, R. L. Chazdon, R. K. Colwell, and N. J. Gotelli (2015). Unveiling the species-rank abundance distribution by generalizing good-turing sample coverage theory. *Ecology* 96(5), 1189–1201.

Chao, A. and L. Jost (2015). Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species. *Methods in Ecology and Evolution* 6(8), 873–882.



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Daróczy, Z. (1970). Generalized information functions.
Information and Control 16(1), 36–51.

Grabchak, M., E. Marcon, G. Lang, and Z. Zhang (2017). The
generalized simpson's entropy is a measure of biodiversity.
Plos One 12(3), e0173305.

Gregorius, H.-R. (1991). On the concept of effective number.
Theoretical population biology 40(2), 269–83.

Havrda, J. and F. Charvát (1967). Quantification method of
classification processes. concept of structural alpha-entropy.
Kybernetika 3(1), 30–35.

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation
and its consequences. *Ecology* 54(2), 427–432.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113(2), 363–375.



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Jost, L. (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88(10), 2427–2439.

Lande, R. (1996). Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos* 76(1), 5–13.

Liang, J., T. W. Crowther, N. Picard, S. Wiser, M. Zhou, G. Alberti, E.-D. Schulze, A. D. McGuire, F. Bozzato, H. Pretzsch, and et al. (2016, Oct). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science* 354(6309), aaf8957.

Marcon, E. and B. Hérault (2015). Decomposing phylodiversity. *Methods in Ecology and Evolution* 6(3), 333–339.



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Marcon, E., I. Scotti, B. Hérault, V. Rossi, and G. Lang (2014). Generalization of the partitioning of shannon diversity. *Plos One* 9(3), e90289.

Patil, G. P. and C. Taillie (1982). Diversity as a concept and its measurement. *Journal of the American Statistical Association* 77(379), 548–561.

Pavoine, S. and M. B. Bonsall (2011). Measuring biodiversity to explain community assembly: a unified approach. *Biological Reviews* 86(4), 792–812.

Ricotta, C., G. Bacaro, M. Marignani, S. Godefroid, and S. Mazzoleni (2012). Computing diversity from dated phylogenies and taxonomic hierarchies: Does it make a difference to the conclusions? *Oecologia* 170(2), 501–506.



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Rényi, A. (1961). On measures of entropy and information. In J. Neyman (Ed.), *4th berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, Volume 1, pp. 547–561. University of California Press.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27(3), 379–423, 623–656.

Tothmeresz, B. (1995). Comparison of different methods for diversity ordering. *Journal of Vegetation Science* 6(2), 283–290.

Tsallis, C. (1994). What are the numbers that experiments provide? *Química Nova* 17(6), 468–471.

Tsallis, C. (1998). Generalized entropy-based criterion for consistent testing. *Physical Review E* 58(2), 1442–1445.



Mesurer la
Biodiversité

Eric Marcon

Théorie

Pratique

Diversité phy-
logénétique

Décomposition
de la diversité

Conclusion

References

Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the siskiyou mountains, oregon and california. *Ecological Monographs* 30(3), 279–338.

Whittaker, R. H. (1965). Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147(3655), 250–260.

Wright, S. (1931). Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16(2), 97–159.