

# L'indice de biochangement : un nouvel outil pour quantifier les changements dans les communautés biologiques

Par [Jean-Daniel Sylvain](#), M. Sc., [Guillaume Drolet](#), ing. f., M. Sc., et [Nelson Thiffault](#), ing. f., Ph. D.



Territoires où les résultats s'appliquent.

Nous avons développé un nouvel outil, l'indice de biochangement ( $D_{BCI}$ ), qui estime simultanément l'amplitude et la direction des changements au sein des communautés biologiques dans l'espace et dans le temps. Dans cet avis de recherche, le deuxième d'une série de trois, nous présentons les composantes de cet indice et la façon dont il se démarque des indices usuels.

Le diagramme de Venn illustre le degré de similarité entre deux communautés biologiques : l'ensemble A représente la communauté avant perturbation ( $t_0$ ) et l'ensemble B désigne la communauté après perturbation ( $t_1$ ).

L'interaction entre les ensembles A et B se décompose en sept sous-ensembles :

- la **richesse spécifique commune (RSC)** représente le nombre X d'espèces appartenant aux ensembles A et B;
- la **richesse spécifique totale (RST)** représente toutes les espèces présentes;
- la **richesse spécifique unique à A (RSA)** représente le nombre d'espèces présentes uniquement à  $t_0$ ;
- la **richesse spécifique unique à B (RSB)** représente le nombre d'espèces présentes uniquement à  $t_1$ ;
- la **richesse spécifique non commune (RSNC)** est la somme de RSA et de RSB.

Enfin, la **richesse spécifique potentielle non observée (RSP)** désigne des espèces qui ne se retrouvent dans aucun des deux ensembles. La **différence de richesse spécifique ( $\Delta RSNC$ )** est la différence entre RSA et RSB.

## Quantifier le changement : de la similarité à la dissimilarité

L'indice  $D_{BCI}$  combine les probabilités de changement en composition et en richesse spécifiques avec la directionnalité du changement en richesse spécifique (les gains ou les pertes en espèces), afin de quantifier la probabilité d'observer un changement complet entre deux observations faites à des temps distincts, sur un même territoire.

La probabilité de **changement en composition spécifique (SCI)** est déterminée en utilisant le ratio entre la RSC et la RST (Équation 1). La probabilité de **changement en richesse spécifique (SRI)** est calculée en utilisant l'inverse du ratio entre la  $\Delta RSNC$  et la RST (Équation 2). La combinaison de ces deux termes permet de calculer quatre probabilités de changement (Figure 1). La probabilité d'observer un changement complet dans une communauté biologique peut être évaluée en mesurant simultanément les probabilités conditionnelles de changement

en composition ( $1 - SCI$ ) et en richesse spécifiques ( $1 - SRI$ ). Lorsque l'une ou l'autre de ces probabilités augmente, la probabilité d'observer un changement complet augmente aussi. Enfin, la **directionnalité du changement (SSR)** est déterminée en utilisant le signe (positif ou négatif) de la  $\Delta RSNC$  (Équation 3).

$$\begin{array}{ccc} \text{Équation 1} & \text{Équation 2} & \text{Équation 3} \\ \hline SCI = \left( \frac{RSC}{RST} \right) & SRI = \left( 1 - \frac{|\Delta RSNC|}{RST} \right) & SSR = \left( \frac{\Delta RSNC}{|\Delta RSNC|} \right) \end{array}$$

Pour calculer le  $D_{BCI}$ , il faut procéder en deux étapes. Dans un premier temps, il faut estimer le niveau de similarité entre deux ensembles en combinant mathématiquement le SSR, le SCI et la SRI (Équation 4\*) :

$$\text{Équation 4} \quad BCI = \left( \frac{\Delta RSNC}{|\Delta RSNC|} \right) \times \left( \frac{RSC}{RST} \right) \times \left( 1 - \frac{\Delta RSNC}{RST} \right)$$

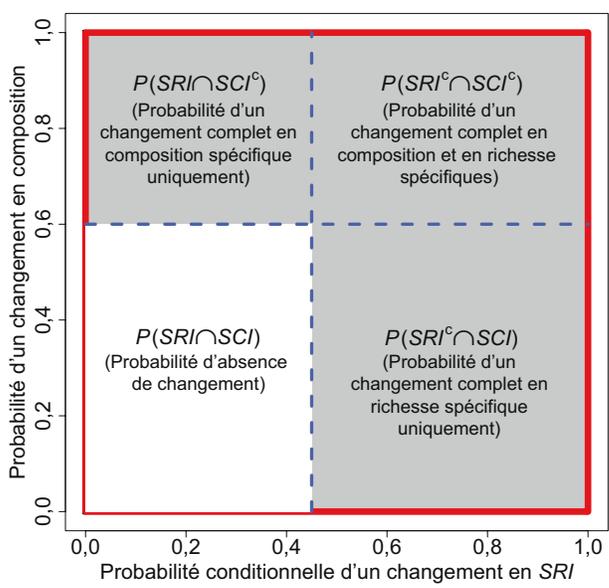


Figure 1. Illustration des quatre scénarios de changement en fonction des probabilités conditionnelles de changement de la richesse et de la composition spécifique.

Puis, il faut convertir le  $BCI$  en indice de dissimilarité ( $D_{BCI}$ , Équation 5). Cette conversion permettra d'assurer que les valeurs observées concordent bien avec la notion de changement. Ainsi, une valeur de  $D_{BCI} = 1$  indique un changement complet avec une augmentation de la diversité (toutes les espèces présentes à  $t_0$  sont disparues à  $t_1$ , mais le nombre d'espèces à  $t_1$  est supérieur à celui mesuré à  $t_0$ ) alors qu'une valeur de  $D_{BCI} = -0,99$  indique un changement complet avec une réduction de la diversité (toutes les espèces présentes à  $t_0$  sont disparues à  $t_1$  et le nombre d'espèces à  $t_1$  est inférieur à celui mesuré à  $t_0$ ). Enfin, une valeur de  $D_{BCI} = 0$  indique l'absence de changement :

$$\text{Équation 5}$$

$$D_{BCI} \begin{cases} -1 - BCI & \text{si } BCI \leq 0 \\ 1 - BCI & \text{si } BCI > 0 \end{cases}$$

Le  $D_{BCI}$  présente trois propriétés mathématiques utiles pour l'étude du changement; il est :

- **directionnel**, parce qu'il identifie les gains et les pertes;
- **symétrique**, car sa valeur n'est pas affectée par l'ordre de comparaison et les valeurs de même amplitude présentent le même degré de dissimilarité;
- **normalisé**, car il n'est pas affecté par la richesse spécifique totale des deux communautés.

### Un indice qui se démarque des autres

Afin d'illustrer la capacité du  $D_{BCI}$  à capturer l'amplitude et la directionnalité des changements, nous avons simulé un ensemble de scénarios de changements en composition et en richesse spécifiques. Nous avons évalué comment divers indices couramment utilisés étaient en mesure de bien capter l'effet des changements simulés (Figure 2). Dans l'exemple présenté, l'échelle de couleurs permet d'apprécier la valeur des indices pour les scénarios où la richesse spécifique totale ( $RST$ ) est égale à 5. Les parties blanches dans les graphiques en damier représentent les cas pour lesquels la  $RST$  est différente de 5 (cas non présentés). Le maximum de similarité est toujours observé à la coordonnée (5, 0), alors que le maximum de dissimilarité est observé aux coordonnées (0, 5 ou 0, -5).

Tel qu'il est attendu, les indices non directionnels (Figure 3a et 3b) présentent des valeurs symétriques systématiquement positives et ne détectent pas la directionnalité du changement. À l'inverse, les indices directionnels (Figure 3c et 3d) permettent d'obtenir une information supplémentaire sur l'état de la richesse spécifique : ils présentent des valeurs positives lorsque  $\Delta RSN C > 0$  (gains d'espèces entre  $t_0$  et  $t_1$ ) et négatives lorsque  $\Delta RSN C < 0$  (pertes d'espèces entre  $t_0$  et  $t_1$ ).

\*L'équation 4 a été simplifiée pour des fins de vulgarisation. Veuillez-vous référer à Sylvain et al, 2017 pour obtenir l'équation originale.

Note : Les résultats de ce projet sont présentés dans les avis de recherche n° 98 à n° 100.

### Pour en savoir plus

Sylvain, J.-D., G. Drolet, N. Thiffault, J. Beguin et F. Hébert, 2017. A conditional probability index to quantify the amplitude and the direction of spatiotemporal changes in communities. *Ecosphere* 8(4): 1-17.

Les liens Internet de ce document étaient fonctionnels au moment de son édition.

L'indice de Jaccard ( $D_{Jac}$ ) présente une diminution de la dissimilarité, à mesure que la  $RSC$  augmente; il n'est pas influencé par les variations de la  $\Delta RSN C$ . On note aussi que pour les valeurs extrêmes de  $\Delta RSN C$ , il est mathématiquement impossible de calculer une valeur pour l'indice  $\beta_{nes}$ . Ce type de scénario est pourtant susceptible de survenir lorsque des changements importants sont observés. Dans certains cas, les valeurs de  $\beta_{nes}$  et de  $CDD$  sont incohérentes, puisqu'elles indiquent une parfaite similarité quand la  $\Delta RSN C$  est égale à 0 et que la  $RSC$  est égale ou supérieure à 0.

Notons, à l'inverse, que les valeurs de dissimilarité fournies par le  $D_{BCI}$  sont cohérentes avec les scénarios observés : plus la valeur de  $RSC$  est élevée, plus la valeur absolue de  $D_{BCI}$  diminue (la similarité augmente). À l'inverse, plus la valeur absolue de la  $\Delta RSN C$  est élevée, plus la valeur absolue de  $D_{BCI}$  augmente (la similarité diminue). Enfin, notons également que seuls le  $D_{BCI}$  et le  $CDD$  permettent d'intégrer la directionnalité du changement, c'est-à-dire que les valeurs sont négatives ou positives en fonction de la différence de richesse spécifique. Notons toutefois les disparités du  $CDD$ , qui indique systématiquement une similarité parfaite lorsque  $\Delta RSN C$  est égale à 0.

Un troisième avis de recherche illustre une utilisation possible du  $D_{BCI}$  pour quantifier les changements découlant d'une perturbation climatique simulée.

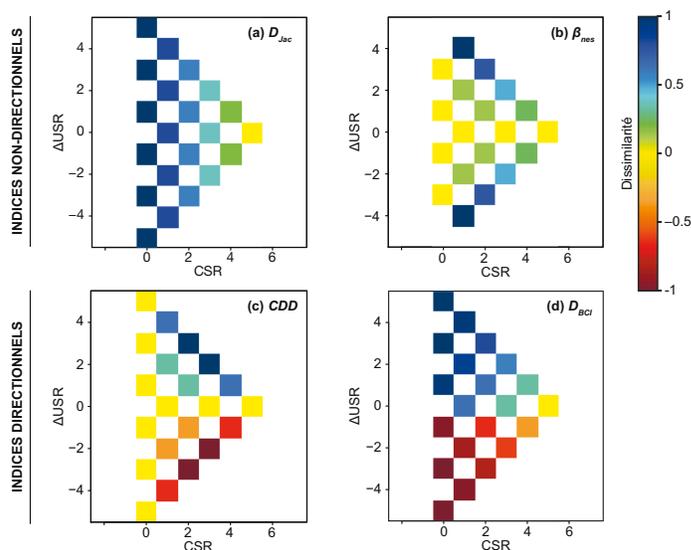


Figure 2. Effet des variations de la richesse spécifique commune ( $RSC$ ) et de la différence de richesse spécifique ( $\Delta RSN C$ ) sur les indices de dissimilarité : (a) Indice de Jaccard ( $D_{Jac}$ ), (b) Coefficient d'inclusion beta ( $\beta$ -nestedness,  $\beta_{nes}$ ), (c) Coefficient directionnel de dispersion ( $CDD$ ) et (d) Indice de biochangement ( $D_{BCI}$ ).

Pour plus de renseignements, veuillez communiquer avec :

Direction de la recherche forestière  
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs  
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-7994  
Télocopieur : 418 643-2165

Courriel : [recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca)  
Internet : [www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche](http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche)

ISSN : 1715-0795

Forêts, Faune  
et Parcs

Québec