

Indice de connectivité

Concepts et mode de calcul

Mathieu Chailloux – INRAE – UMR TETIS

Estelle Dumas – IMBE

26 avril 2022 – version 1.1

Citation

Dumas E., Chailloux M. (2022) Connectivity index, a landscape metric to characterize species potential distribution

Table des matières

Citation	1
1. Notions	2
2. Définition des indices	3
2.1. Indice de connectivité	3
2.2. Indices redistribués	4
2.2.1. Indice de surface.....	4
2.2.2. Indice de connectivité simplifié	4
3. Calculer l'indice de connectivité avec BioDispersal.....	6
3.1. Chaînes de traitements	6
3.2. Premières étapes dans BioDispersal	7
3.3. Calcul des indices.....	8

1. Notions

La fragmentation et la perte d'habitats restent la première menace vis-à-vis de la persistance des espèces. Elles se manifestent par la réduction d'une surface continue et la formation de fragments. Le **morcellement** et l'**isolement** modifient les propriétés écologiques d'un habitat : ces changements entraînent souvent une réduction des effectifs, une modification de leur répartition spatiale et une perturbation des flux de gènes intra- et inter- fragments. Ceci se traduit fréquemment par une baisse de la viabilité des populations fragmentées et ainsi une augmentation de leurs risques d'extinction

L'**indice de connectivité** appliqué au paysage permet de mesurer le niveau de présence potentielle d'une espèce en fonction de la favorabilité et du morcellement des milieux environnants.

La **favorabilité** d'un milieu exprime la capacité de l'espèce cible à effectuer tout ou partie de son cycle de vie en son sein. Les types de milieu sont classifiés à dire d'expert en fonction de ce critère, allant d'un milieu répulsif à un milieu habitat. Des classes intermédiaires permettent d'affiner la classification en considérant des milieux neutres ou permettant d'effectuer une partie plus ou moins conséquente du cycle de vie. La Figure 1 montre l'exemple d'une classification en 5 classes de favorabilité.

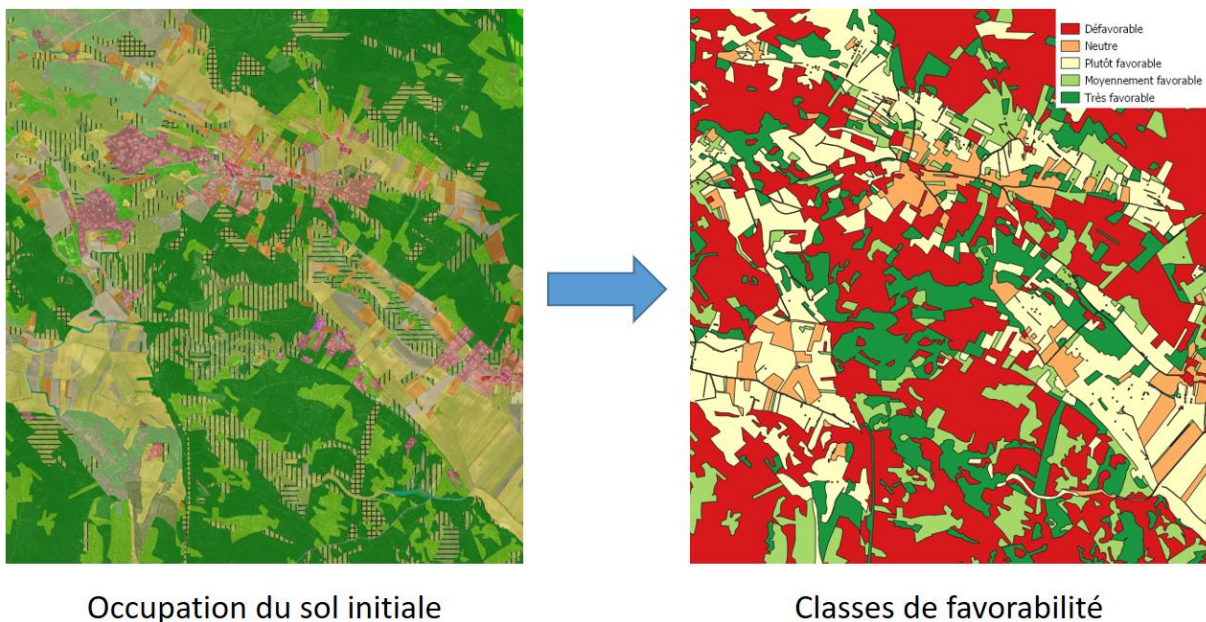


Figure 1: Classification d'une occupation du sol en 5 classes de favorabilité

La carte de favorabilité est transformée au format **raster** si besoin (maillage régulier de points qui permet d'opérer les calculs sur des tableaux à 2 dimensions). Les valeurs d'indices sont alors calculées pour tout point/pixel du maillage. La distance entre 2 points est appelée **résolution spatiale**.

Un **patch** est une surface continue et homogène (valeur identique en tout point du patch, par exemple même poste d'occupation sol ou même classe de favorabilité).

L'environnement considéré pour tout point/pixel est borné par la **capacité de dispersion** de l'espèce selon le principe d'une **fenêtre glissante**, centrée sur l'élément considéré et de rayon égal à cette capacité de dispersion. Pour les patches possédant une partie à l'intérieur de la fenêtre glissante mais continuant au-delà, seule la partie intérieure est considérée.

La Figure 2 illustre un exemple de maillage régulier et l'environnement d'analyse d'une fenêtre glissante pour un point et une capacité de dispersion donnés.

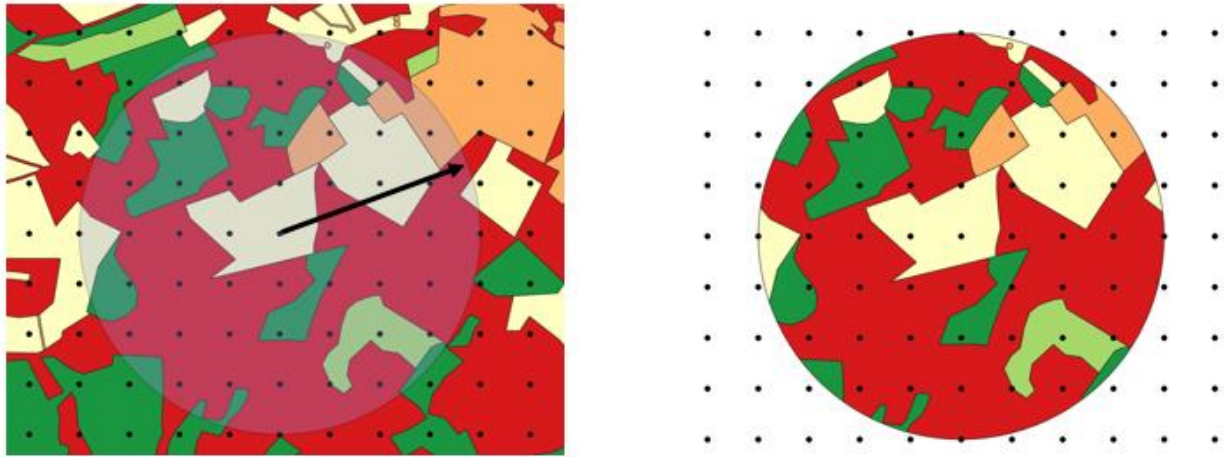


Figure 2 : Couche de favorabilité, résolution spatiale de 100m, fenêtre glissante de 400m centrée en un point

La résolution spatiale et l'étendue spatiale du territoire étudié déterminent le volume de données traité et l'échelle d'analyse. Plus la résolution est petite, plus l'analyse sera fine mais plus les calculs seront longs et demanderont de la mémoire vive.

2. Définition des indices

Les indices proposés sont inspirés de l'Incidence Function Model (IFM)¹ qui définit un indice d'isolement S_i en tout point i du paysage qui dépend de la taille des patches d'habitat, pondérée par leur distance au point i

$$S_i = \sum_j o_j A_j^b \exp(-\alpha d_{ij})$$

avec A_j la taille du patch j , d_{ij} la distance entre le point i et le patch j , α une constante calibrant l'impact de la distance, o_j une valeur entre 0 et 1 correspondant au taux d'occupation du patch

Plusieurs indices intermédiaires ont été développés avant d'arriver à l'indice de connectivité :

- L'**indice d'isolement** « originel » tel que défini par Hanski, basé sur la taille des patches d'habitat, et adapté au format raster
- L'**indice de surface** qui représente la quantité et la qualité du patch immédiatement accessible
- L'**indice de connectivité**, basé sur la favorabilité, qui permet de prendre en compte la qualité et la distance des milieux environnants

L'indice de connectivité est le résultat final de ces travaux.

2.1. Indice d'isolement

L'**indice d'isolement** II implémenté correspond à l'indice d'isolement ci-dessus avec o_j fixé à 1 et α valant 1 par défaut. Les patches considérés dépendent de la distance de dispersion $dispersionMax$ de l'espèce cible qui définit la fenêtre glissante d'analyse. L'exposant b permet de calibrer l'importance de la taille d'un patch.

$$II = \sum_j A_j^b \exp(-\alpha d_{ij}) \text{ pour } d_{ij} < dispersionMax$$

¹ Hanski, I. 1994 A practical model of metapopulation dynamics. Journal of Animal Ecology

2.2. Indices redistribués

Le principe des indices redistribués est de ré-étaler une grandeur (en l'occurrence la surface ou la distance) en fonction de sa distribution initiale de valeurs et de la favorabilité du pixel. Cela permet de calculer une valeur d'indice en tout point tout en donnant plus de poids aux milieux favorables sans avoir à définir des coefficients dont la valeur numérique peut être sujette à débat.

2.2.1. Indice de surface

L'**indice de surface** IS est calculé à partir de la taille du patch (bornée par la fenêtre glissante) auquel appartient le pixel. La valeur de redistribution est calculée de façon globale pour chaque classe de favorabilité en fonction de la distribution des valeurs de taille de patch.

$$IS_i = A_i + q(fav_i)$$

avec A_i la taille du patch, fav_i la classe de favorabilité, q_c la valeur de redistribution de la classe c

La valeur de redistribution d'une classe c_n est obtenue à partir des quantiles des classes de moindre favorabilité. Le quantile utilisé est un paramètre défini globalement au début du calcul (par défaut le 4^{ème} quartile Q4). Pour n classes fav_1, \dots, fav_n ordonnées par favorabilité croissante

$$q(fav_1) = 0 \text{ et } q(fav_{j>1}) = \sum_{i<j} Q4(i)$$

La Figure 3 montre un cas d'exemple avec 3 classes de favorabilité.

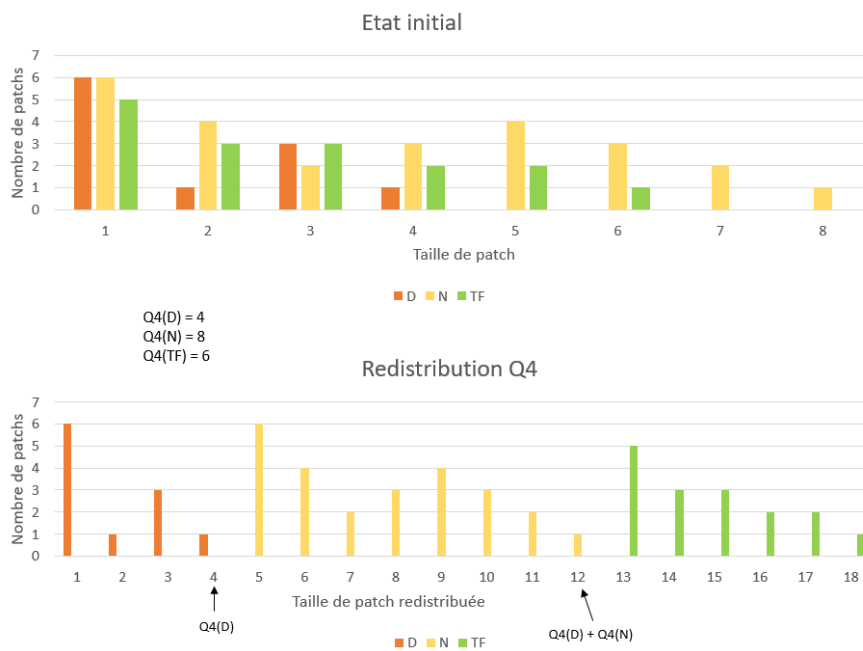


Figure 3: Redistribuition des valeurs de taille de patch

2.2.2. Indice de connectivité

L'**indice de connectivité** IC ne prend pas en compte la taille du patch mais la quantité d'habitat au sein de la fenêtre glissante pour chaque classe de favorabilité, pondérée par la distance, et redistribuée

$$IC = \sum_j \exp(-\alpha (d_{ij} + q(fav_j))) \text{ pour } d_{ij} < dispersionMax$$

Avec fav_j la classe de favorabilité du pixel j , $q(fav)$ la valeur de redistribution de la classe fav

La redistribution est appliquée à la distance au centre de la fenêtre glissante qui est augmentée pour les classes de moindre favorabilité. Pour n classes fav_1, \dots, fav_n ordonnées par favorabilité croissante

$$q(fav_j) = (n-j) * dispersionMax$$

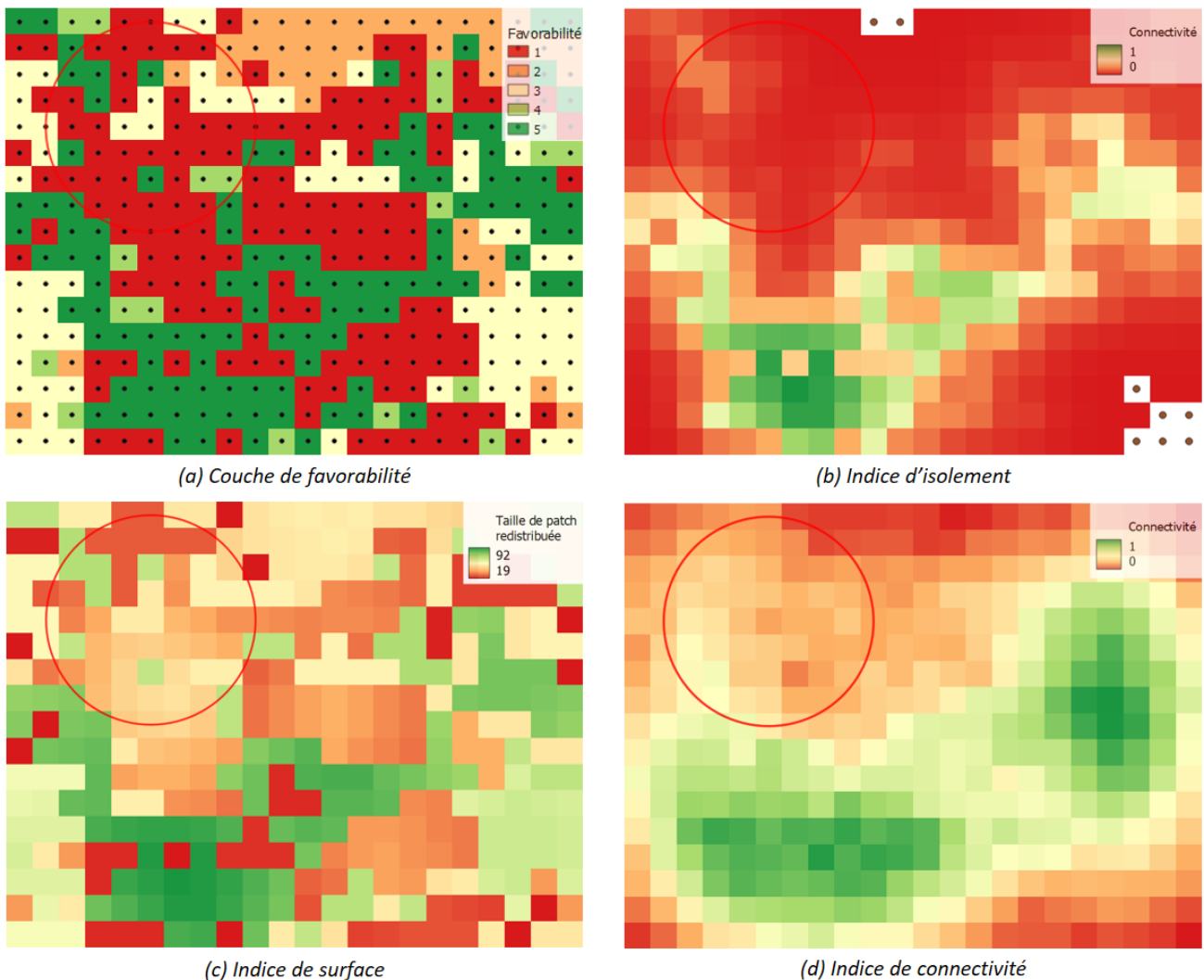


Figure 4: Cas d'exemple du calcul des indices de connectivité

La Figure 4 montre un exemple avec un territoire échantillonné, en points puis au format raster, classifié en fonction de la favorabilité des postes d'occupation du sol (a), sur lequel a été appliqué une fenêtre glissante de taille 4 pixels. Ont été calculés l'indice d'isolement appliqué à la classe 5 (b), l'indice de surface(c), l'indice de connectivité (d). Les valeurs des indices ont été rapportées entre 0 et 1.

On constate en (b) l'importance du patch le plus grand en bas à gauche, en (c) l'effet bordure aux limites de patches, en (d) la répartition plus homogène le long du continuum d'habitat avec la mise en évidence d'une zone à droite constituée d'habitat et éloignée des zones défavorable (par opposition à la zone centrale qui contient plus d'habitat mais entouré de pixels défavorables).

L'indice de connectivité permet de représenter le continuum d'habitat tout en prenant en compte les milieux environnants et en mettant en avant les cœurs de patch.

Il est bien adapté à des espèces volantes qui peuvent se disperser malgré la présence de milieux défavorables

3. Calculer l'indice de connectivité avec BioDispersal

3.1. Chaînes de traitements

Le calcul des indices de connectivité a fait l'objet d'un développement spécifique au sein BioDispersal², un outil (extension QGIS) déjà existant permettant de modéliser des aires potentielles de dispersion car il implémente une chaîne de traitements très proche (cf Figure 5)

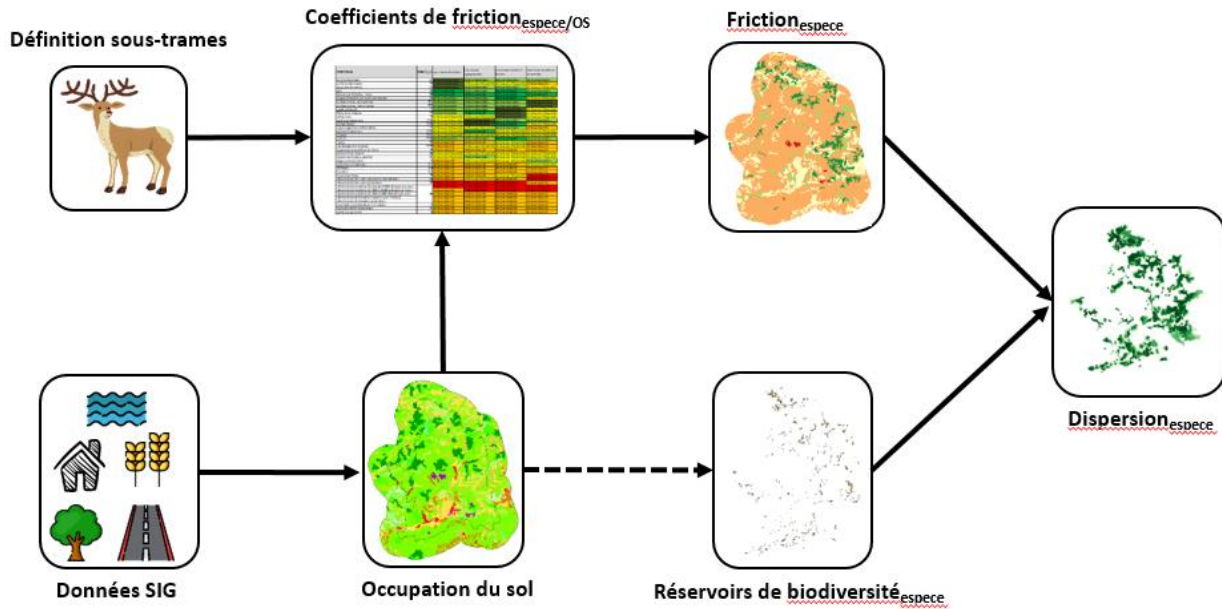


Figure 5: Chaîne de traitements initiale de BioDispersal

La chaîne de traitement de BioDispersal a été partiellement réutilisée pour générer la couche de favorabilité et le calcul de l'indice a fait l'objet d'un développement spécifique (cf Figure 6).

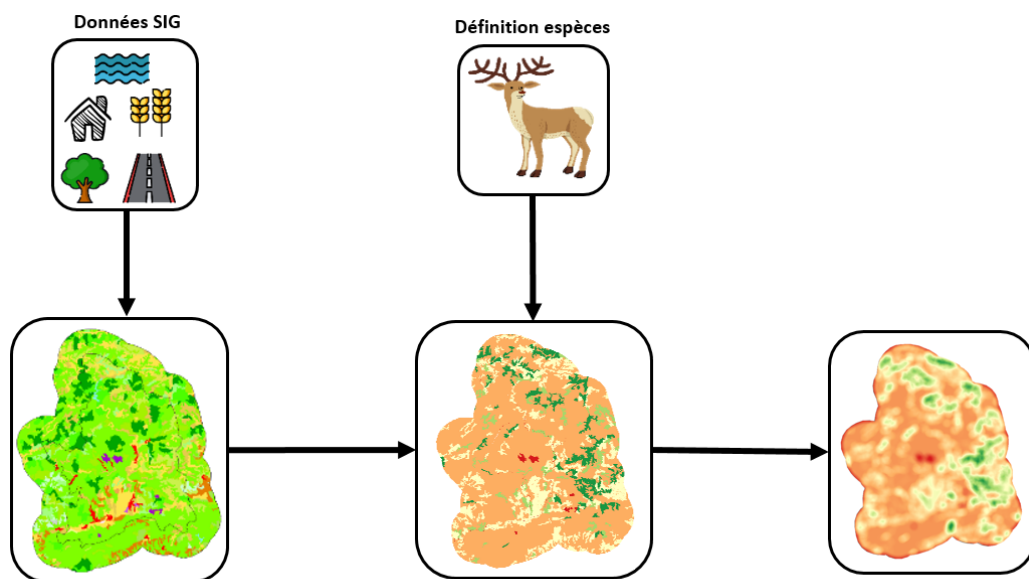


Figure 6: Chaîne de traitements de l'indice de connectivité

² Chailloux, M. & Amsallem, J. (2018) BioDispersal : un plugin QGIS pour modéliser les zones de dispersion potentielles

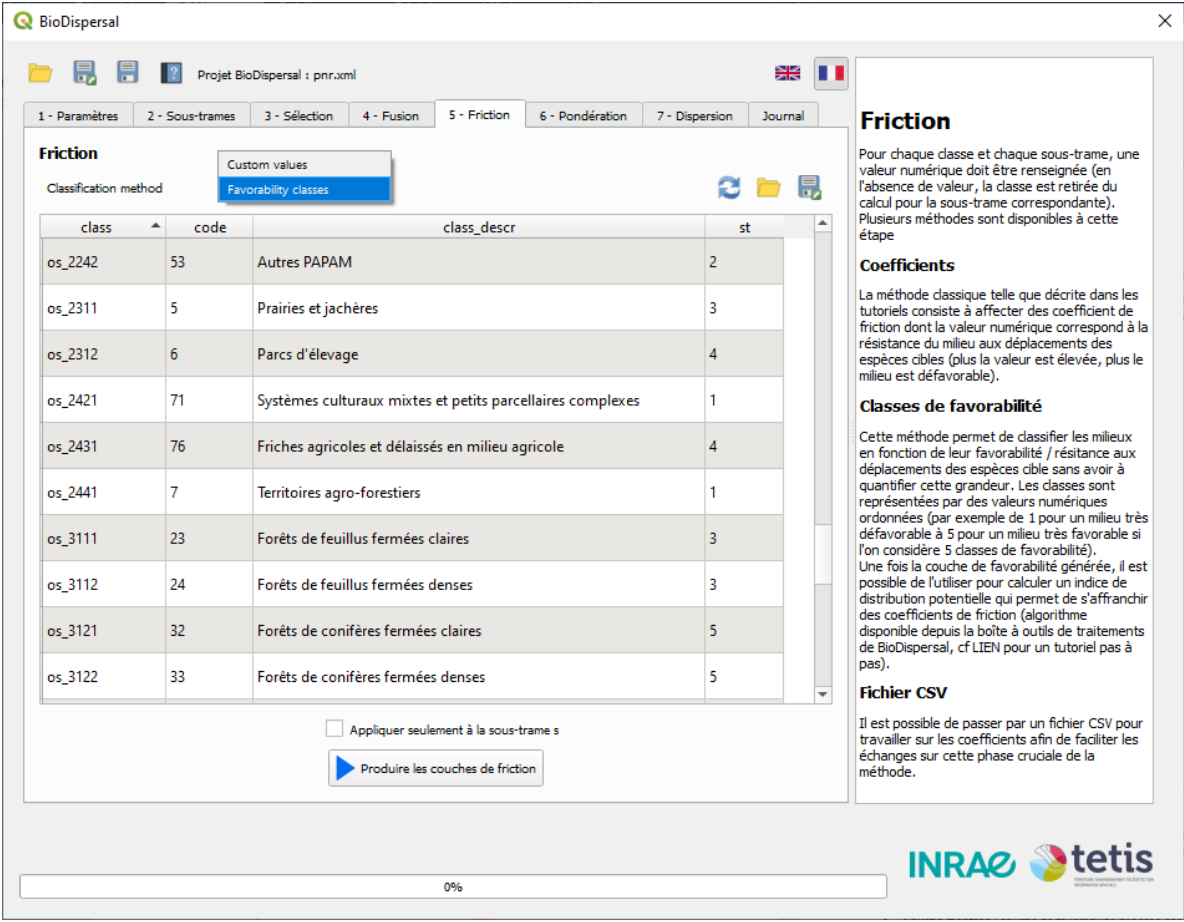
3.2. Premières étapes dans BioDispersal

Pour calculer un indice de connectivité avec BioDispersal, il faut installer et lancer l'extension depuis QGIS (cf [Notice d'utilisation](#)). Une fois BioDispersal lancé, les premières étapes sont les mêmes que dans la procédure classiques (cf [Tutoriels vidéo](#)) :

1. Définition des paramètres généraux (emprise, résolution, système de coordonnées, dossier de travail)
2. Définition des espèces cibles (ou cortèges d'espèces)
3. Sélection et uniformisation des données d'entrée
4. Fusion des données pour les hiérarchiser et constituer une couche complète d'occupation du sol

L'étape 5 initialement dévolue à la définition des coefficients est utilisée pour définir des classes de favorabilité (cf Figure 7). Les classes sont des valeur numériques ordonnées (par exemple 1 pour une la classe défavorable à 5 pour la classe très favorable).

Une fois les classes assignées, appuyer sur 'Produire les couches de friction' pour générer la couche de favorabilité.



The screenshot shows the BioDispersal software interface. The main window is titled 'Projet BioDispersal : pnr.xml' and has a menu bar with options: 1 - Paramètres, 2 - Sous-trames, 3 - Sélection, 4 - Fusion, 5 - Friction, 6 - Pondération, 7 - Dispersion, and Journal. The 'Friction' step is active, and the 'Classification method' is set to 'Favorability classes'. A table lists various land use classes with their corresponding favorability values (st).

class	code	class_descr	st
os_2242	53	Autres PAPAM	2
os_2311	5	Prairies et jachères	3
os_2312	6	Parcs d'élevage	4
os_2421	71	Systèmes culturaux mixtes et petits parcelaires complexes	1
os_2431	76	Friches agricoles et délaissés en milieu agricole	4
os_2441	7	Territoires agro-forestiers	1
os_3111	23	Forêts de feuillus fermées claires	3
os_3112	24	Forêts de feuillus fermées denses	3
os_3121	32	Forêts de conifères fermées claires	5
os_3122	33	Forêts de conifères fermées denses	5

Below the table, there is a checkbox labeled 'Appliquer seulement à la sous-trame s' and a button labeled 'Produire les couches de friction'. The sidebar on the right contains the following text:

Friction
Pour chaque classe et chaque sous-trame, une valeur numérique doit être renseignée (en l'absence de valeur, la classe est retirée du calcul pour la sous-trame correspondante). Plusieurs méthodes sont disponibles à cette étape.

Coefficients
La méthode classique telle que décrite dans les tutoriels consiste à affecter des coefficient de friction dont la valeur numérique correspond à la résistance du milieu aux déplacements des espèces cibles (plus la valeur est élevée, plus le milieu est défavorable).

Classes de favorabilité
Cette méthode permet de classer les milieux en fonction de leur favorabilité / résistance aux déplacements des espèces cible sans avoir à quantifier cette grandeur. Les classes sont représentées par des valeurs numériques ordonnées (par exemple de 1 pour un milieu très défavorable à 5 pour un milieu très favorable si l'on considère 5 classes de favorabilité). Une fois la couche de favorabilité générée, il est possible de l'utiliser pour calculer un indice de distribution potentielle qui permet de s'affranchir des coefficients de friction (algorithme disponible depuis la boîte à outils de traitements de BioDispersal, cf LIEN pour un tutorial pas à pas).

Fichier CSV
Il est possible de passer par un fichier CSV pour travailler sur les coefficients afin de faciliter les échanges sur cette phase cruciale de la méthode.

Figure 7: Affectation des classes de favorabilité dans BioDispersal

3.3. Calcul des indices

Le calcul des indices est ensuite réalisé à partir de la boîte à outils de traitements (depuis la barre de menu de QGIS, appuyer sur *Traitement* -> *Boîte à outils*). Quand BioDispersal est installé, les traitements fournis sont disponibles dans la boîte à outils (cf Figure 8).

Le sous-groupe '*BioDispersal->Indices de connectivité*' propose 3 algorithmes : '*Indice d'isolement*' (cf Figure 9), '*Indice de surface*' et '*Indice de connectivité*' qui possèdent chacun une interface graphique dédiée aux paramètres très similaires.

Pour chaque indice, renseigner les paramètres obligatoires :

- **Input layer** : couche de favorabilité générée par BioDispersal
- **Window size (pixels)** : taille de la fenêtre glissante exprimée en pixels (pour la transformer en mètres, multiplier par la résolution spatiale de la couche d'entrée)
- **Class** : classe de favorabilité qui correspond aux habitats (par exemple 5)
- **Classes order** : ordre des classes de la plus défavorable à la plus favorable en séparant chaque valeur par une virgule (par exemple : 1,2,3,4,5 si 5 est la classe la plus favorable)
- **Output layer** : couche de sortie (couche temporaire par défaut)

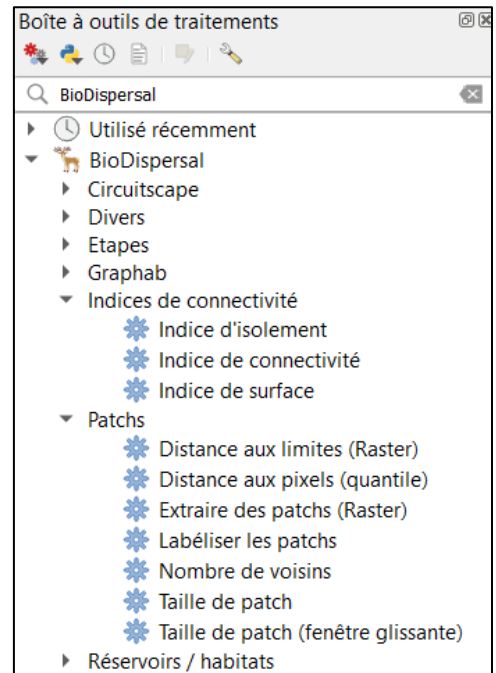


Figure 8: Boîte à outils de traitements QGIS – groupe BioDispersal

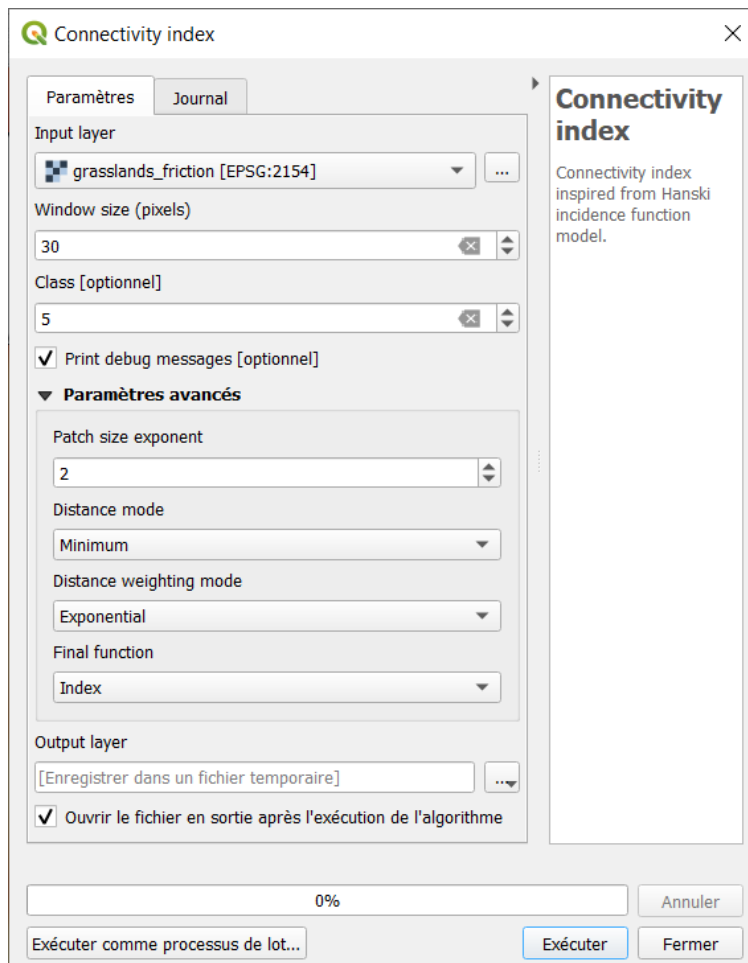


Figure 9: interface graphique IC

Les paramètres avancés permettent de personnaliser le calcul de l'indice :

- *Patch size exponent* : valeur de l'exposant b appliqué à la taille de chaque patch dans la formule d'IC
- *Distance mode* : méthode de calcul de la distance d_{ij} au patch A_j
 - *Minimum* : distance au pixel le plus proche
 - *Minimum + 1* : distance au pixel le plus proche augmentée d'un pixel
 - *Median* : distance médiane aux pixels du patch A_j
- *Distance weighting mode* : méthode de calcul du terme distance dans les formules
 - *Exponential* reprend le terme $\exp(d_{ij})$
 - *Linear* est une variante qui remplace ce terme par $(dispersionMax - d_{ij}) / dispersionMax$
- *Percentile* : quantile utilisé pour la valeur de redistribution
- *Final function* : fonction appliquée au résultat final pour ré-étalonner les valeurs
 - *None* : aucun ré-étalonnage
 - Fonctions mathématiques classiques (logarithme de base 10, exponentielle, racine carrée)
 - *Index* : les valeurs sont ré-étalonnées entre 0 et 1 par la formule $(v - min) / max$ avec v , min et max les valeurs initiale, minimale et maximale.

Appuyer sur le bouton *Exécuter* pour générer la couche de résultat.

Pour appliquer un style dégradé allant du rouge au vert, aller dans les propriétés de la couche (clic droit sur la couche->Propriétés ou double clic), menu *Symbologie*, spécifier le type de rendu '*Pseudo-couleur à bande unique*', choisir la palette de couleur *RdYlGn* (cf Figure 11 et Figure 10).

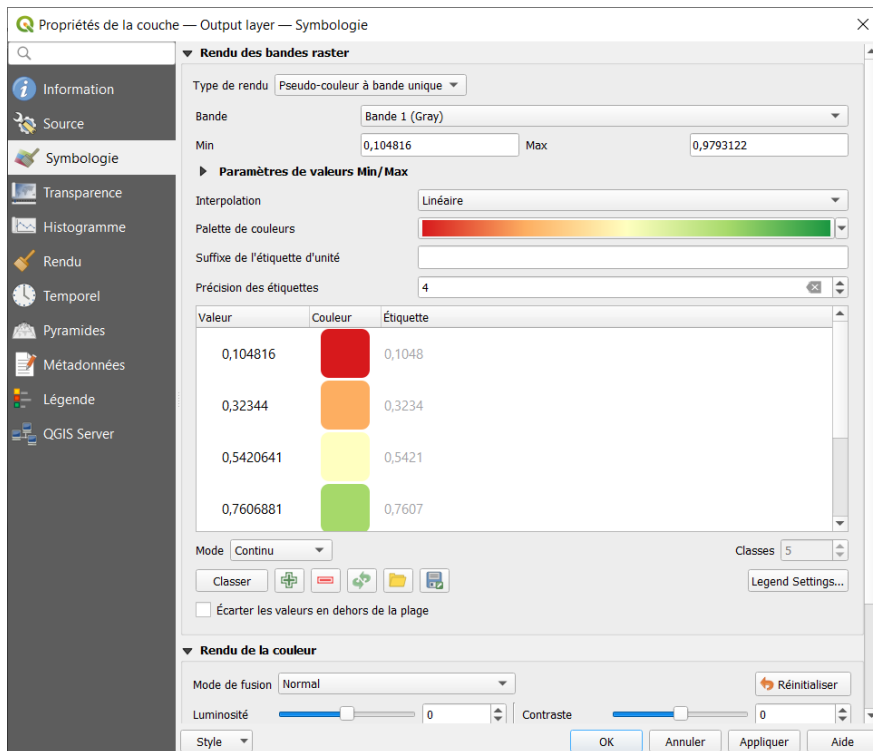
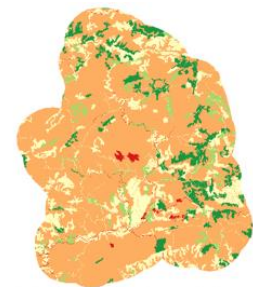
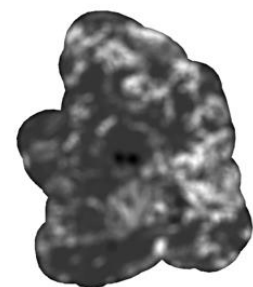


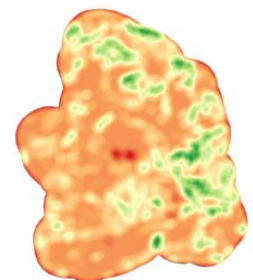
Figure 11: affectation d'une symbologie



(a) Couche de favorabilité



(b) Indice de connectivité



(c) Indice de connectivité avec symbologie

Figure 10: Exemple de calcul de l'indice de connectivité