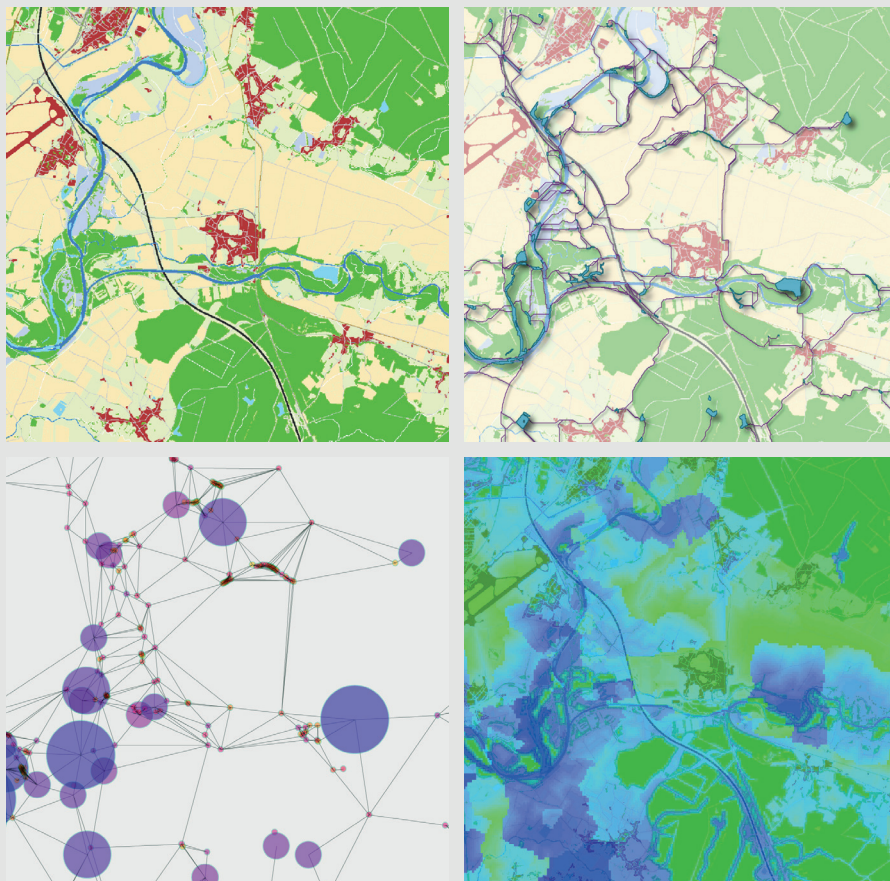


Aide à l'utilisation de Graphab

FICHE 3 | MÉTRIQUES DE CONNECTIVITÉ





Rappel : Afin de faciliter leur compréhension, les fiches sont complétées par un exemple fictif affiché en bleu. Dans cet exemple, nous prenons comme espèce cible, une espèce fictive de petit mammifère herbivore : la licorne naine. Son habitat (lieu de reproduction) correspond aux forêts. Elle fréquente également les prairies et zones agricoles. Elle évite les zones urbaines ainsi que les routes. Sa distance de déplacement quotidienne est estimée à 200m et sa distance maximale de dispersion à 650m. **Dans l'exemple, nous avons fait des choix de paramétrage qui ne sont qu'indicatifs. Ces choix doivent être adaptés à l'écologie de l'espèce, au contexte paysager et à l'objectif de votre travail.**

Les étapes précédentes ont conduit à la mise en place d'un graphe paysager représentant de façon simplifiée le réseau écologique d'une espèce. Cette représentation est le support de calcul de métriques destinées à caractériser la connectivité du graphe. Ces métriques, provenant de la théorie des graphes ou de l'écologie, sont calculables à différents niveaux :

- Les métriques locales caractérisent la connectivité de chaque élément du graphe, nœud ou lien (fig.1 a)
- Les métriques par composante caractérisent la connectivité interne de chaque composante (ou sous-graphe). (fig.1 b)
- Les métriques globales caractérisent le graphe entier (fig.1 c)

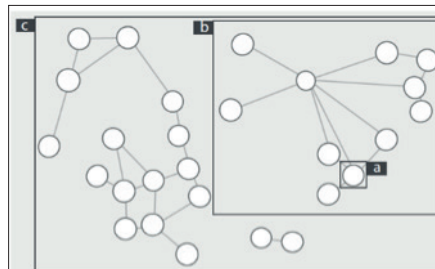



Fig.1 : Niveaux de calcul des métriques de connectivité dans un graphe

Nous présentons ici uniquement les métriques pondérées qui tiennent compte à la fois de la qualité (capacité) des taches et de la distance entre les taches. Les métriques topologiques, issues de la théorie des graphes, mais souvent plus éloignées de la réalité écologique, ne sont pas abordées ici.

Paramétrage des métriques pondérées



Paramètres	Explication
Graphes	Choisir sur quel graphe la métrique est calculée
Métriques	Choisir la métrique à calculer (ici le PC)
Paramètres	<p>d : distance (exprimée en coût cumulé si le jeu de lien a été calculé en distance coût)</p> <p>p : probabilité de déplacement entre deux taches pour la distance choisie.</p> <ul style="list-style-type: none"> - si 0.05 : distance maximale de l'espèce. Cela signifie que 95% des déplacements se font en-deçà de la distance. Les 5% restant représentent des déplacements au-delà de la distance renseignée pour tenir compte de l'incertitude et du comportement potentiellement extrême de certains individus. - si 0.5 : distance médiane ou moyenne de l'espèce. Cela signifie que 50% des déplacements se font en-deçà de la distance renseignée, les 50% restants vont au-delà. <p>[toutes les valeurs entre 0 et 1 sont possibles]</p> <div data-bbox="751 703 1422 1039" data-label="Figure"> </div> <p>bêta : pondération par la capacité des taches.</p> <ul style="list-style-type: none"> -si 0 : la capacité ne joue pas dans le calcul -si 1 : la capacité joue de façon linéaire (une tache avec une forte capacité aura plus de poids qu'une tache avec une capacité faible). -si -1 : la capacité joue de façon inversement proportionnelle (une tache avec une forte capacité aura moins de poids qu'une tache avec une capacité faible). <p>[toutes les valeurs de pondération sont possibles]</p>

 (6) – Dans le projet «licorne naine », une fois le graphe créé (Voir Fiche 2), nous calculons plusieurs métriques. Cet exemple permet de faire le lien entre le choix des métriques et l'objectif de l'étude. Les métriques présentées sont parmi les plus utilisées dans les études sur la connectivité, elles ne sont toutefois pas les seules. En fonction de l'écologie de l'espèce et des objectifs de l'étude, d'autres métriques peuvent être plus pertinentes.

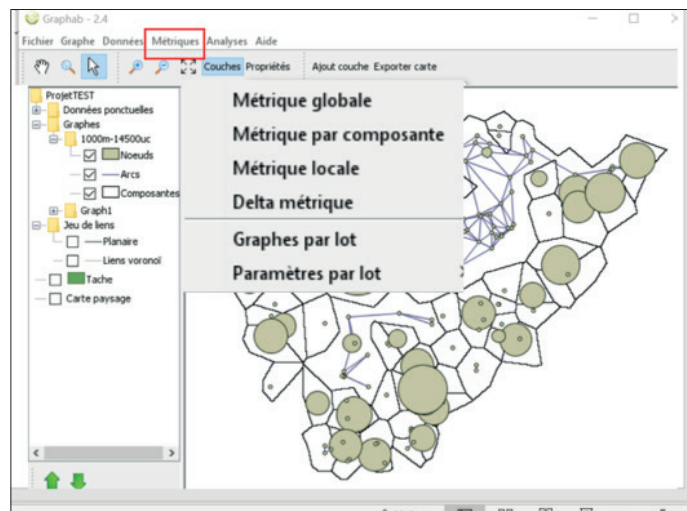


Fig1- Onglet métriques : choix entre plusieurs types de métriques en fonction du niveau d'analyse



MÉTRIQUES GLOBALES

Définition : Caractérisent la connectivité d'un graphe entier (un graphe = une valeur).

Intérêt : Comparer le niveau de connectivité d'un même réseau avant/après un aménagement pour une évaluation d'impact : quel est la perte/gain de connectivité engendré par la construction de cet aménagement ?

Métrique	Explication
Probabilité de connectivité (PC)	<p>Probabilité que deux individus tirés au hasard dans la zone d'étude parviennent à entrer en contact, soit parce qu'ils sont situés dans la même tache d'habitat, soit parce qu'ils sont dans deux taches connectées entre elles.</p> <p>Les valeurs correspondent à une probabilité.</p> <p>Valeur minimale : 0</p> <p>0% de chance que deux individus entrent en contact, c'est le cas lorsque la zone d'étude ne contient aucun habitat</p> <p>Valeur maximale : 1</p> <p>100% de chance que deux individus soient connectés, ce qui est possible uniquement si la zone d'étude est intégralement constituée d'habitat</p> <p>Attention : cette métrique est désactivée si la capacité n'est pas la surface des taches. Dans ce cas, il faut utiliser la métrique EC.</p>
Connectivité équivalente (EC)	<p>Indique la quantité d'habitat atteignable. Comme le PC, il tient compte de la surface d'habitat total et des connexions entre les taches d'habitat.</p> <p>L'unité correspond à l'unité des capacités des taches.</p> <p>Valeur minimale : 0 (aucun habitat)</p> <p>la zone d'étude ne contient aucun habitat</p> <p>Valeur maximale : capacité totale des taches</p> <p>l'ensemble de la zone d'étude est intégralement constituée d'habitat</p> <p>Remarque : La métrique EC remplace le PC lorsque la capacité n'est pas définie par la surface des taches.</p>

✍ Dans le projet « licorne naine », nous choisissons de calculer la métrique « Connectivité équivalente » (EC). L'objectif est de mesurer l'évolution de la connectivité globale avant/après la construction d'une route. Deux projets Graphab ont été réalisés à partir d'une carte de paysage initiale et d'une carte de paysage modifiée par l'autoroute (cf. Fiche 4 – cas 2). Les valeurs de EC des deux graphes sont comparées :

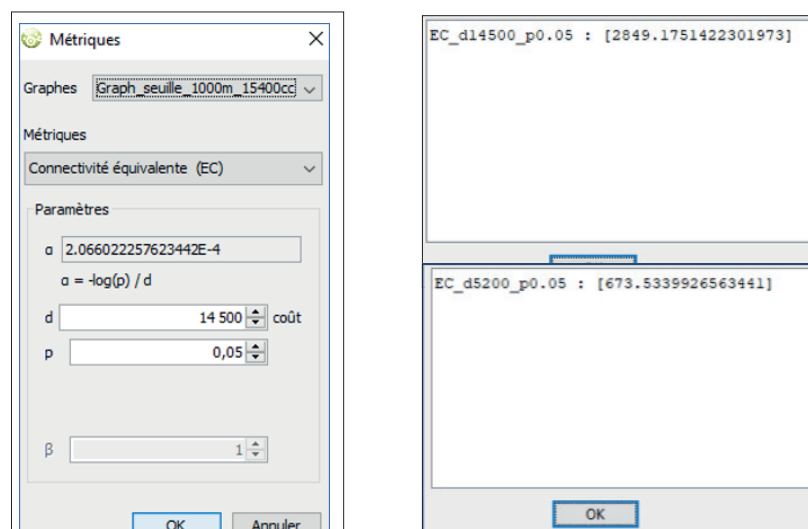



Fig2- A gauche : Fenêtre métriques globales et paramétrage du EC ; à droite en haut : résultat de la métrique EC avant la construction d'une route ; à droite en bas : résultat de la métrique EC après la construction d'une route.



Interprétation du résultat de la Figure 2 : Les deux valeurs prises individuellement informent peu sur l'état de connectivité du réseau. C'est la variation de ces valeurs qui est intéressante. Ici, la construction d'une route entraîne une diminution de 76% de la connectivité globale liée, soit à la perte de surface d'habitat, soit à la perte de connexions entre les habitats, soit (ce qui est souvent le cas) à la combinaison des deux.




 Dans notre exemple, nous aurions pu choisir de calculer la métrique « Probabilité de connectivité » (PC). L'interprétation est similaire à celle de la métrique EC, sauf que le PC fournit une probabilité, c'est-à-dire une valeur entre 0 (aucun habitat) à 1 (l'ensemble de la zone est constitué d'habitat). L'objectif reste le même : mesurer l'évolution de la connectivité globale avant/après un aménagement.

MÉTRIQUES LOCALES

Définition : Caractérisent la connectivité d'un élément du graphe (une valeur attribuée à chaque nœud et/ou chaque lien)

Intérêts :

- Comparer le niveau de connectivité de chaque élément du graphe afin d'identifier les éléments les plus « importants » (cf. Fiche 4, cas 1)
- Évaluer l'impact local d'un changement dans le paysage (cf. Fiche 4 – cas 2).

Métriques	Explication
Flux d'interaction (IF)	<p>Indicateur des interactions potentielles entre la tâche <i>i</i> et toutes les autres tâches du réseau. Elle tient compte de la distance entre la tâche <i>i</i> et les autres tâches, et des capacités de <i>i</i> et des autres tâches.</p> <p> La valeur de IF pour une tâche <i>i</i> est forte si :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la tâche <i>i</i> a une forte capacité - elle a beaucoup de tâches proches - les tâches proches ont une forte capacité. <p>Cette métrique fait ressortir le « cœur du réseau », les tâches importantes et bien connectées.</p> <div data-bbox="746 1406 1433 1630" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> </div> <p> Interprétation : La tâche <i>i</i> de droite est celle qui a le plus fort potentiel d'interaction avec les autres tâches car elle est connectée à des tâches d'habitat proches et de forte capacité, elle a en plus elle-même une forte capacité.</p>
Indice de centralité intermédiaire (Betweenness Centrality) (BC)	<p>Indicateur du flux potentiel traversant les liens et les tâches. Elle tient compte de la distance entre la tâche <i>i</i> et les autres tâches, et des capacités de <i>i</i> et des autres tâches.</p> <div data-bbox="754 1854 885 1982" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> </div> <p> La valeur de BC pour une tâche <i>i</i> est forte si cette tâche est parcourue par un grand nombre de chemins à l'intérieur du graphe (fréquence d'utilisation)</p> <p>La tâche rouge est stratégique car elle-seule connecte les 3 sous-réseaux, elle est donc le passage obligé pour passer de l'un à l'autre.</p>



Métrique (IF)

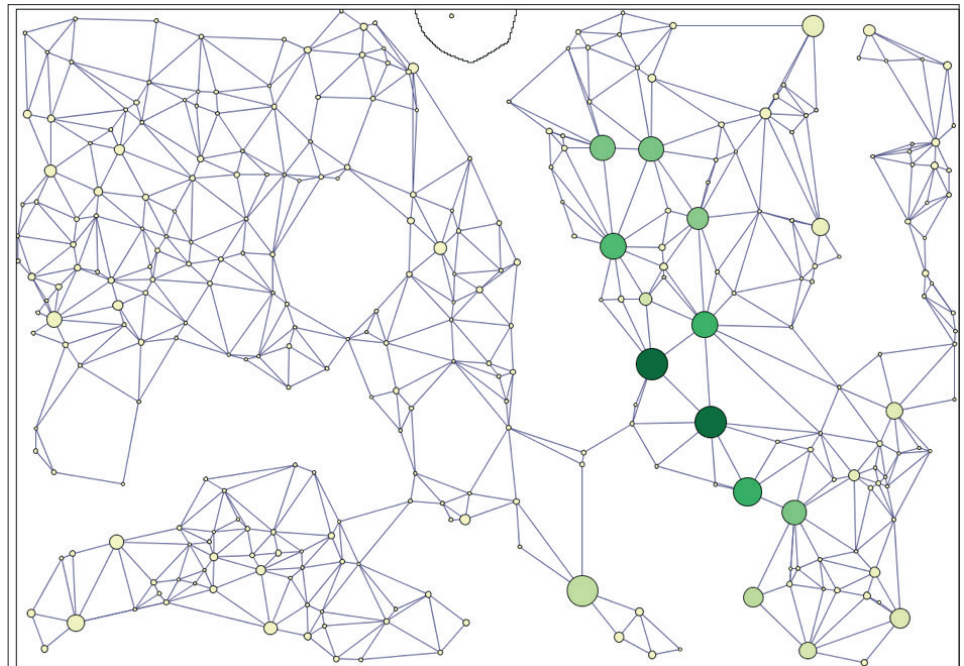


Fig3- Résultat de la métrique Flux d'Interaction (IF) ; en vert foncé : les forêts avec les plus fortes valeurs de Flux d'interaction. La taille des cercles est proportionnelle à la capacité des taches d'habitat : plus le cercle est grand, plus la taille de la forêt est grande.

Interprétation de la Figure 3 : Les forêts ayant les plus fortes valeurs d'IF sont celles qui sont connectées à de nombreuses taches forestières proches et de bonne capacité. La métrique IF met en évidence les zones très connectées du réseau et avec une forte capacité.

Métrique indice de centralité intermédiaire (Betweenness Centrality) (BC)

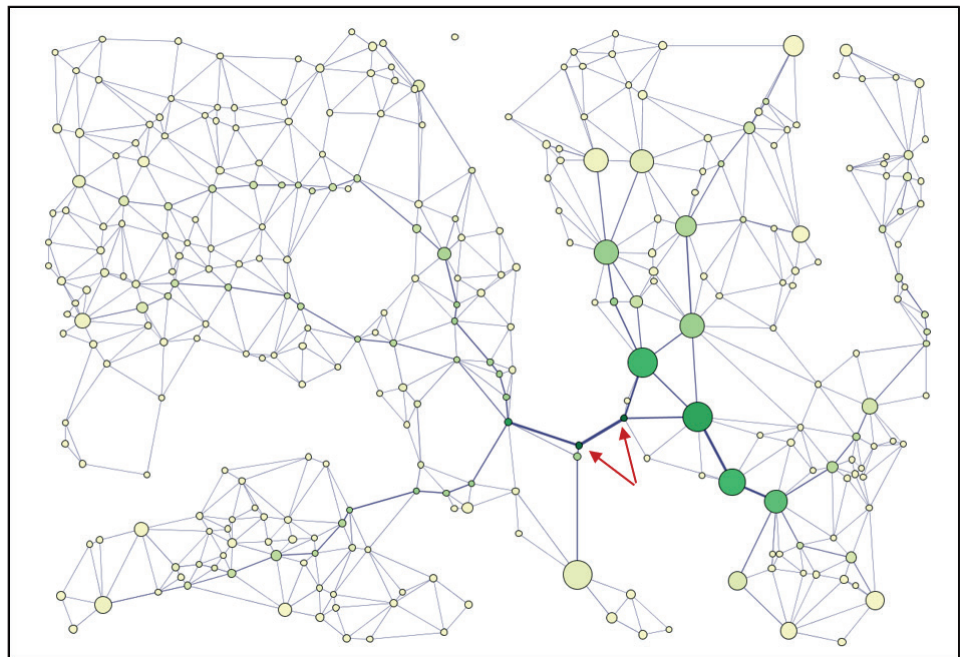


Fig4- Résultat de la métrique BC ; en vert foncé : les forêts avec les plus fortes valeurs de Betweenness Centrality. La taille des cercles est proportionnelle à la capacité des taches d'habitat : plus le cercle est grand, plus la taille de la forêt est grande.



Interprétation de la Figure 4 : La métrique BC s'applique à la fois aux nœuds et aux liens du graphe. Les fortes valeurs de BC mettent en évidence les forêts et les corridors les plus fréquemment utilisés pour parcourir le réseau à l'intérieur d'une composante. Dans notre exemple, les forêts ayant la plus forte valeur de BC (flèche rouge) constituent les « passages obligés » pour aller d'un point à l'autre du réseau. Elles ont donc un rôle stratégique en tant que « connecteur », alors même que leur capacité est très faible, ce sont des taches relais (stepping-stone).

Chaque métrique calculée est sauvegardée dans la table attributive des nœuds et/ou des liens.

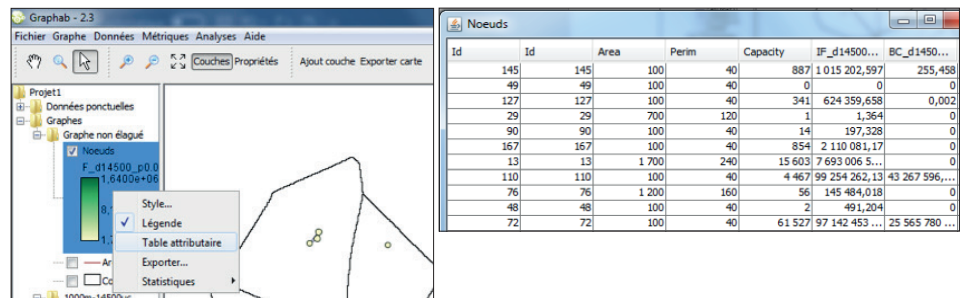


Fig5-A gauche : Onglet table attributive (clic droit sur les nœuds); à droite : contenu de la table attributive

Précaution d'utilisation : Les métriques pondérées, qu'elles soient globales ou locales, prennent en compte la distance entre les taches d'habitat et leur capacité. Leur résultat étant assez complexe à interpréter, les valeurs doivent être interprétées en les comparant les unes aux autres (la tache X a une valeur de connectivité plus grande que la tache Y), et non de manière isolée (savoir que la tache X a une valeur de Flux d'interaction de 0.8653 ne nous permet pas de savoir si cette valeur est forte ou faible).

Pour une analyse individuelle des valeurs de connectivité, il est possible d'utiliser les Delta-Métriques.

MÉTRIQUES LOCALES PARTICULIERES: LES DELTA-METRIQUES

Les Delta-métriques caractérisent également chaque élément du graphe, mais à partir d'un mode de calcul spécifique, dit de « suppression » (Fig.9). Une métrique globale est calculée à l'état initial, une tache est retirée du graphe et la métrique globale est recalculée. La différence entre les deux valeurs est implémentée dans la tache retirée, traduisant la perte de connectivité engendrée si cet élément était retiré. Ce calcul est ensuite appliqué à chacune des taches et des liens, permettant ainsi de les hiérarchiser en fonction de leur contribution à la connectivité d'ensemble. Le résultat d'une delta-métrique est donc local, mais en référence au niveau global.

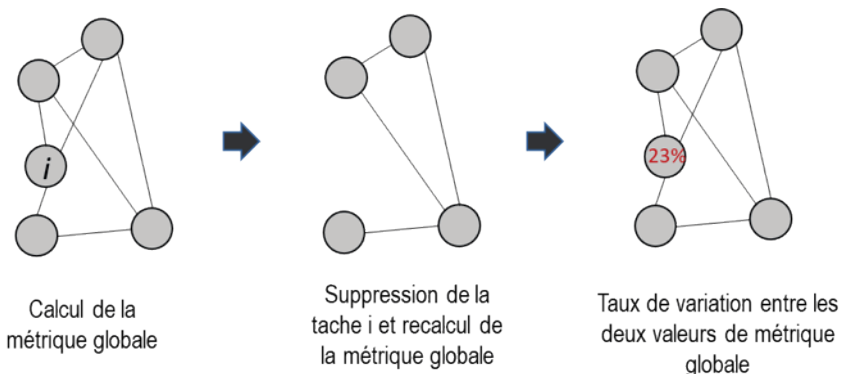


Fig.5 : Principe des Delta-métriques.



Interprétation : Si la tache *i* était supprimée du graphe, elle entraînerait une perte de connectivité globale de 23%.

Définition : Caractérisent la perte de connectivité globale engendrée par la suppression d'un élément du graphe (nœud et/ou lien).

Intérêt : Comparer le niveau de contribution à la connectivité globale de chaque élément du graphe afin d'identifier les éléments les plus « importants » (cf. Fiche 4 Applications, Hiérarchisation)

Métriques	Explication
Delta-PC (dPC)	<p>Indicateur de la perte de connectivité globale engendrée par la suppression d'un élément dans le graphe.</p> <p>🔍 Remarque : Le dPC est une métrique synthétique, facile à interpréter car exprimée en %. Une tache avec une valeur de dPC à 0,03 indique que si on supprime cette tache, la connectivité globale diminue potentiellement de 3%. Néanmoins, cette métrique ne permet pas de savoir pour quelle raison une tache est importante pour la connectivité d'ensemble. Pour préciser le type de contribution, la métrique dPC décomposée a été créée.</p>
Delta-PC décomposé	<p>Décomposition de la valeur de dPC en trois fractions (leur somme est égale à la valeur de dPC) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • dPCarea correspond à la variation de connectivité globale due à la perte seule de la surface suite à la suppression de la tache <i>i</i>. 🔍 Fraction quasi équivalente à une comparaison des valeurs de capacité des taches (une tache avec une forte capacité aura logiquement une valeur de dPCarea forte). • dPCflux correspond à la variation connectivité globale due à la perte des connexions entre la tache <i>i</i> et les autres taches 🔍 Fraction quasi équivalente à une comparaison des valeurs de Flux d'interaction (IF) des taches. • dPCconnector correspond à la variation de la connectivité globale due à la modification des chemins reliant les autres taches et passant initialement par la tache <i>i</i>. 🔍 Fraction quasi équivalente à une comparaison des valeurs de Centralité intermédiaire (BC) des taches. <p>🔍 Si une tache a une valeur de dPCarea de 0.02, une valeur de dPCflux de 0.19 et une valeur de dPCconnector de 0.09, cela indique que si elle disparaît, la baisse potentielle de 30% est dû à 2% à la perte de sa capacité ; à 19% à la perte des connexions avec les taches voisines ; à 9% à la modification des chemins. Cette tache est donc importante surtout pour les connexions qu'elle fournit avec les taches voisines.</p>

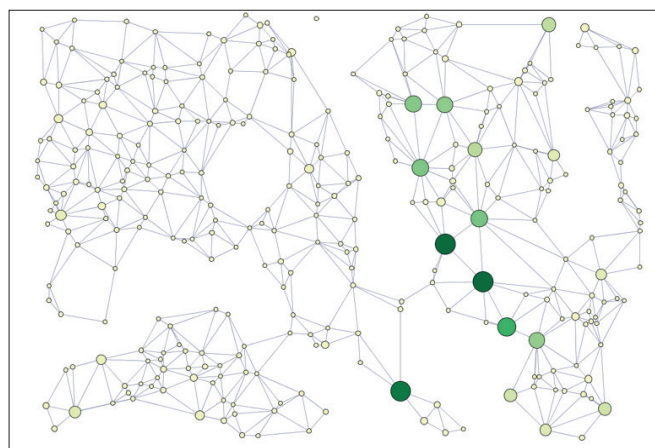


Fig6- Résultat de la métrique dPCarea. Les valeurs les plus fortes (vert foncé) correspondent aux forêts qui contribuent le plus à la connectivité globale en raison de leurs fortes capacités (ici leur superficie)

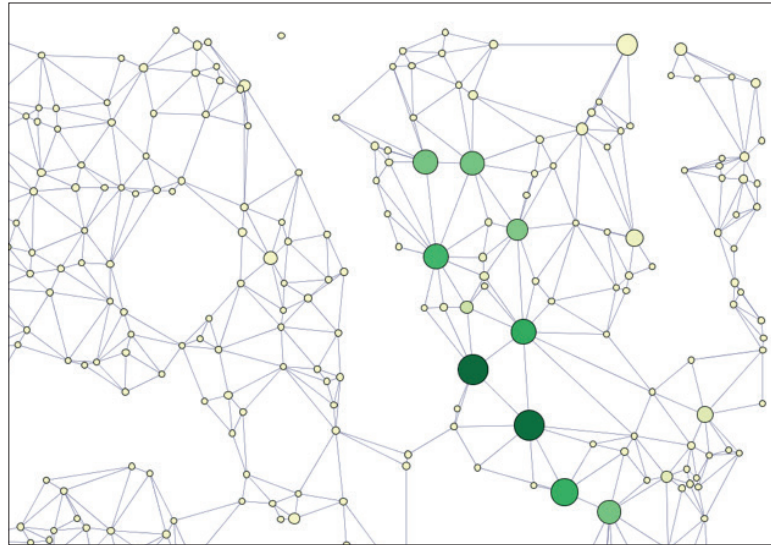


Fig7- Résultat de la métrique dPCflux. Les valeurs les plus fortes (vert foncé) correspondent aux forêts qui contribuent le plus à la connectivité globale en raison de potentiel d'interaction. Le résultat est assez proche de celui de la métrique Flux d'interaction (fig. 3)

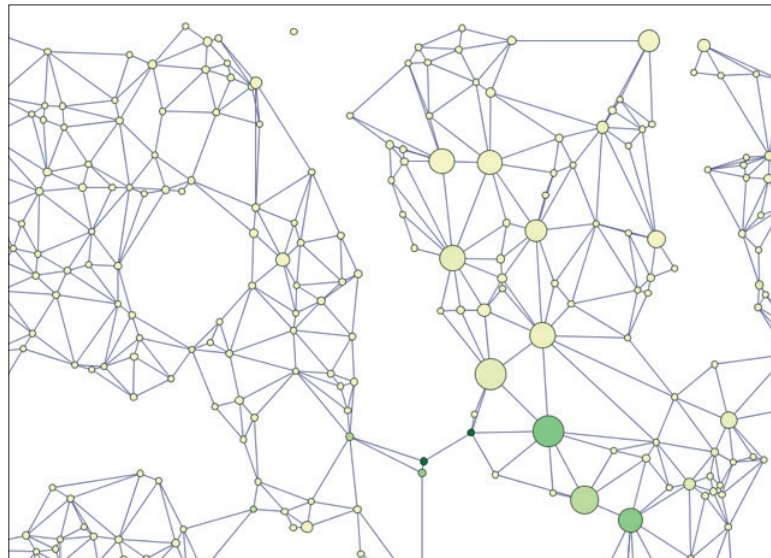



Fig8- Résultat de la métrique dPCconnector. Les valeurs les plus fortes (vert foncé) correspondent aux forêts qui contribuent le plus à la connectivité globale en raison de leur rôle de connecteur à l'intérieur du réseau. Le résultat est assez proche de celui de la métrique BC (fig. 4)

 Précaution d'utilisation : les Delta-métriques sont très utiles pour évaluer l'importance d'une tâche d'habitat et/ou d'un corridor pour la connectivité globale du réseau (fiche 4 – cas 1) et ont l'avantage d'être facile à interpréter. En revanche, leur calcul est beaucoup plus long que les métriques locales. Si tel est le cas, un diagnostic basé sur le calcul du Flux d'Interaction et de l'Indice de centralité intermédiaire peut remplacer les fractions dPCFlux et dPCConnector. De part leur mode de construction (référence à la connectivité globale), elles doivent être utilisées uniquement pour un diagnostic à un instant t et non de façon diachronique où la connectivité globale varie. Dans le cas d'une évaluation de l'impact d'un changement dans le paysage sur la connectivité locale (fiche application – cas 2), il est recommandé d'utiliser les métriques locales.

LE PROGRAMME GRAPHAB EST
TÉLÉCHARGEABLE GRATUITEMENT SUR

[HTTPS://SOURCESUP.RENATER.FR/
GRAPHAB.](https://sourcesup.renater.fr/graphab)

 Télécharger et installer Java 8 ou + (java.com).

Installer de préférence la version 64 bits de Java.

Télécharger graphab-2.4.jar

Lancer graphab-2.4.jar en double-cliquant dessus.

CONTACT

CELINE CLAUZEL, MAÎTRE DE CONFÉRENCES
UNIVERSITÉ DE PARIS (DIDEROT)
LADYSS UMR 7533 CNRS
celine.clauzel@u-paris.fr

REALISATION

CÉLINE CLAUZEL, CAROLE GABER, CLAIRE GODET

CONCEPTION GRAPHIQUE

SNPN
44 rue d'Alésia, 75014 Paris

Ce projet a été mené avec le concours financier de

