

## **Les SIG comme outil d'aide à la planification des trames vertes urbaines pour une connectivité écologique optimale (Cas de la ville nouvelle Amar Benaouda – Annaba)**

**DELLOUL Sabri<sup>1</sup>, NAIMI AIT-AOUDIA Meriem<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire ETAP,  
Institut d'Architecture et d'Urbanisme/Université Saad Dahlab Blida1,  
Blida.

### **Résumé**

Dans la présente étude, le modèle de localisation-attribution des SIG et la grille d'analyse de connectivité écologique des trames vertes urbaines ont été intégrés afin d'améliorer l'aménagement du territoire et la durabilité environnementale de la trame verte dans la ville nouvelle Amar Benaouda, Annaba. L'intégration de ces modèles fournit un outil d'analyse spatiale performant pour étudier l'efficacité de la distribution géographique de la trame verte et générer des alternatives, soit en suggérant un service efficace, soit en améliorant un service existant. Pour atteindre ces objectifs, la connectivité des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques dans la trame verte urbaine, qui comporte plusieurs types d'espaces verts, a été évaluée en analysant la répartition spatiale du réseau des espaces verts dans la ville.

L'étude a révélé une mauvaise répartition de la trame verte, malgré le taux élevé d'espace vert par habitant qui dépasse (20 m<sup>2</sup> / personne) et la présence d'espaces verts carrément dans tous les quartiers à une moyenne de 27% disparate d'un district à un autre. Néanmoins, la zone de la ville Amar Benaouda souffre de discontinuité spatiale de la trame verte, ce qui impacte directement la biodiversité urbaine. Par conséquent, cette faiblesse structurelle perturbe la production de services écosystémiques optimaux. Il est recommandé que les résultats de cette étude soient pris en considération par les meneurs de projets des villes lors de la planification des trames vertes urbaines afin d'améliorer l'efficacité des infrastructures naturelles comme s'est prévue dans les textes.

**Mots-Cles:** planification urbaine ; trame verte urbaine ; connectivité écologique ; systèmes d'informations géographiques (SIG) ; modèle de localisation-attribution ; système d'indicateurs ; ville nouvelle Amar Benaouda.

### **Introduction**

La trame verte urbaine représente l'infrastructure végétale du système urbain sur laquelle s'accrochait la biodiversité de la ville (Blanc & Clergeau, 2013). Elle supporte des espèces végétales et animales, et leur offre habitat, mobilité, sécurité, autant de paramètres qualitatifs que procure un bon fonctionnement de l'écosystème urbain (Raymond & Simon,

2012). Or les villes, ces dernières années connaissent de véritables mutations spatiales, sociales, économiques et surtout environnementales (Berezowska-Azzag, 2011). Avec ces transformations considérables, la forme de la production urbanistique se trouve incapable de faire face à la demande urbaine actuelle (Carnoye, 2018).

La ville aujourd'hui considérée en tant qu'un écosystème (Berezowska-Azzag, 2011) intègre la trame urbaine, la trame verte et la trame bleue (Arrif et al., 2011), où les continuités des trois trames déterminent à quel point l'équilibre écosystémique est assuré à l'échelle urbaine (Amsallem & Dehouck, 2018). Pour le moment, des tentatives d'évaluation des trames vertes sont nombreuses, néanmoins celles qui étudient spécialement la connectivité sont beaucoup moindres dont par exemple les travaux de Saura et al depuis 2006. Dans cet article, nous étudions la trame verte urbaine en évaluant l'intra et l'interconnectivité écologique à l'aide des systèmes d'informations géographiques (SIG). Les SIG sont des logiciels de création, gestion et stockage des bases de données spatialisées (Naimi-Ait-Aoudia, 2006). Ils ont montré ces jours leur utilité dans la prise de décision géographique, territoriale et urbaine (Nziengui et al., 2013).

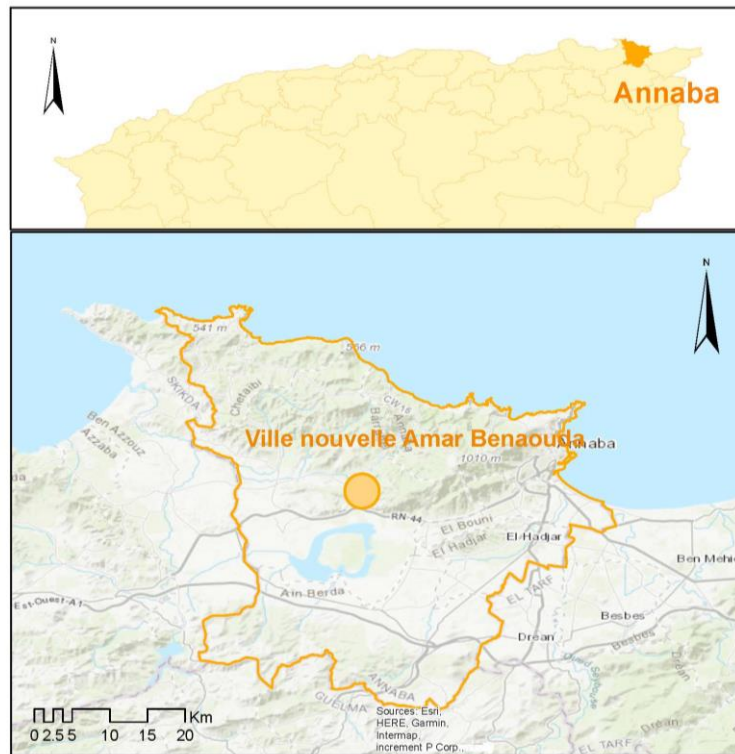
Suite au développement scientifique et technologique qu'on connaît actuellement pratiquement dans tous les domaines, des applications spécifiques appuyant des SIG deviennent fréquemment demandées pour résoudre tel ou tel problème. Pour cela, et par rapport à notre discipline, on s'interroge sur des méthodes qui permettent aux SIG d'être plus utiles dans l'analyse spatiale des trames vertes urbaines. On cherche alors à intégrer le système d'indicateurs pour l'évaluation de la connectivité écologique avec le modèle de localisation-attribution des SIG. Des recherches sur l'analyse spatiale des données écosystémiques à l'aide des SIG restent jusqu'à maintenant ponctuelles et isolées (Brown & Fagerholm, 2015 ; Burkhard & Maes, 2017 ; Ramyar et al., 2020). Nous avons l'ambition d'apporter un plus à ce champ disciplinaire en proposant une méthode de représentation et d'évaluation SIG qui étudie le concept de la connectivité écologique de la trame verte urbaine intégralement en matière de spatialité.

## **Matériel**

### **I.1. Présentation de la ville nouvelle Amar Benaouda**

La ville nouvelle Amar Benaouda est située dans la wilaya d'Annaba, au nord-est de l'Algérie. Elle est délimitée à l'est par les daïras d'Annaba et d'El Bouni, à l'ouest par la daïra de Berrahal, au nord par le mont de l'Edough et la mer méditerranéenne et au sud par le lac Fazzara et la daïra d'Aïn Berda (Fig. 1).

**Fig. 1 : Situation de la ville Amar Benaouda**



Le projet de la ville nouvelle s'inscrit dans la philosophie du SNAT 2030, qui appelle à une maîtrise de la croissance du littoral en lui assurant un développement plus qualitatif (Loi n° 10-02, 2010). Ce méga projet devrait avoir un impact durable sur toute la région d'Annaba, il est question en effet de donner à celle-ci les fonctions de la ville comme espace de création et de multiplication des richesses, espace de créativité culturelle, de solidarité nationale et un espace où se conjuguent croissance économique, solidarité sociale et préservation de l'environnement. L'ambition, aujourd'hui, du maître d'ouvrage est de pouvoir intégrer, aux projets locaux prévus, toutes les composantes du développement durable : 1) équilibre entre le court et le long terme, 2) conciliation des exigences économiques, sociales et environnementales et 3) prise en compte des enjeux locaux et globaux du développement. Une stratégie de développement écologiquement et socialement responsable est prioritaire dans la conception de ce projet.

Dans le tableau suivant quelques chiffres à propos la ville nouvelle Amar Benaouda :

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| Date de début             | Septembre 2011        |
| Echéancier de réalisation | Long terme            |
| La superficie             | 3507 ha               |
| Population                | + de 260000 habitants |
| Taux d'espaces verts      | + de 27 %             |

**Tableau. 1 : Fiche technique sur la ville Amar Benaouda**

## I.2. Présentation de la trame verte de la ville Amar Benaouda

| Occupation végétale         | Surface (ha) | Densité (%) |
|-----------------------------|--------------|-------------|
| Maquis dense                | 679.20       | 44.10       |
| Maquis peu dense            | 415.30       | 26.96       |
| Maquis dégradé              | 64           | 4.15        |
| Strate herbacée             | 215.98       | 14.02       |
| Clairière                   | 2.8          | 0.18        |
| Oliveraie                   | 34           | 2.20        |
| Oléastres                   | 2.4          | 0.15        |
| Arboriculture               | 13           | 0.84        |
| Terres agricoles en jachère | 92.30        | 5.99        |
| Cultures maraichères        | 20.70        | 1.34        |
| Aire d'étude                | 1540         | 100         |

**Tableau. 2** : Répartition surfacique de l'occupation végétale des sols

### Couverture végétale existante sur le territoire de la ville

La zone étudiée est couverte essentiellement de maquis dense et peu dense qui dominent la plus grande partie de la surface évaluée à 1094.5 ha soit 71 % de l'espace végétal global et d'une strate herbacée d'une surface considérable de 215.98 ha atteignant 14.02 %. Le reste de la surface est occupé par des terres agricoles et des vergers essentiellement composés d'arbres fruitiers avec un taux d'occupation de 10.52 % du périmètre d'étude (URBAN-ANNABA, 2020). Dans le tableau suivant l'occupation végétale du sol de la ville nouvelle Amar Benaouda :

Le territoire de la ville nouvelle Amar Benaouda est constitué en sa majeure partie, de forêts dominées par un maquis de type méditerranéen qui représente un prolongement naturel du massif de l'Edough ; ces maquis sont riches en végétations variées et constituent un réservoir naturel à haute importance écologique, climatique, floristique et faunistique. Ce territoire se caractérise également par un défrichement massif du couvert végétal et d'une importante déforestation au profit de l'activité agricole et de l'urbanisation, pour lesquels il a été préconisé l'application des mesures de compensations pour freiner la régression des surfaces couvertes par le maquis considéré comme un potentiel primordial pour la durabilité de la ville (URBAN-ANNABA, 2020).

### Plan vert de l'aménagement de la ville

Le plan d'action relatif à l'utilisation future du sol de la ville nouvelle Amar Benaouda préconise comme axe de développement l'assurance de la protection des terres forestières et agricoles. Les objectifs de ce plan s'articulent entre prescriptions conservatrices et autres volontaristes, on cite : 1) la préservation des forêts et la création d'un réseau vert, 2) l'intégration de la forêt dans le milieu urbain et 3) la création de zone non aedificandi. Entre autres, le plan d'action relatif aux projets structurants souligne en tant qu'axe de développement le positionnement de la valeur et l'importance des espaces verts, et ceci à

travers : 1) la végétalisation de la ville en priorisant l'ajout d'aménagements paysagers et la plantation d'arbres et 2) la promotion et l'amélioration de la qualité des espaces verts.

Selon le plan d'aménagement, la trame verte représentera plus de 27 % de la surface de la ville répartie sur 11 quartiers avec une moyenne d'environ 23 % d'espaces verts par quartier. Le reste est partagé entre taches et corridors relativement dominants dont un parc zoologique de 270 ha, un Central Park de 39 ha, un parc urbain de 25 ha, un petit parc urbain de 5 ha et un jardin d'essai de 4.7 ha. La connectivité structurelle entre ces différentes réserves vertes est assurée systématiquement par une ceinture et deux coulées vertes (Fig. 2).

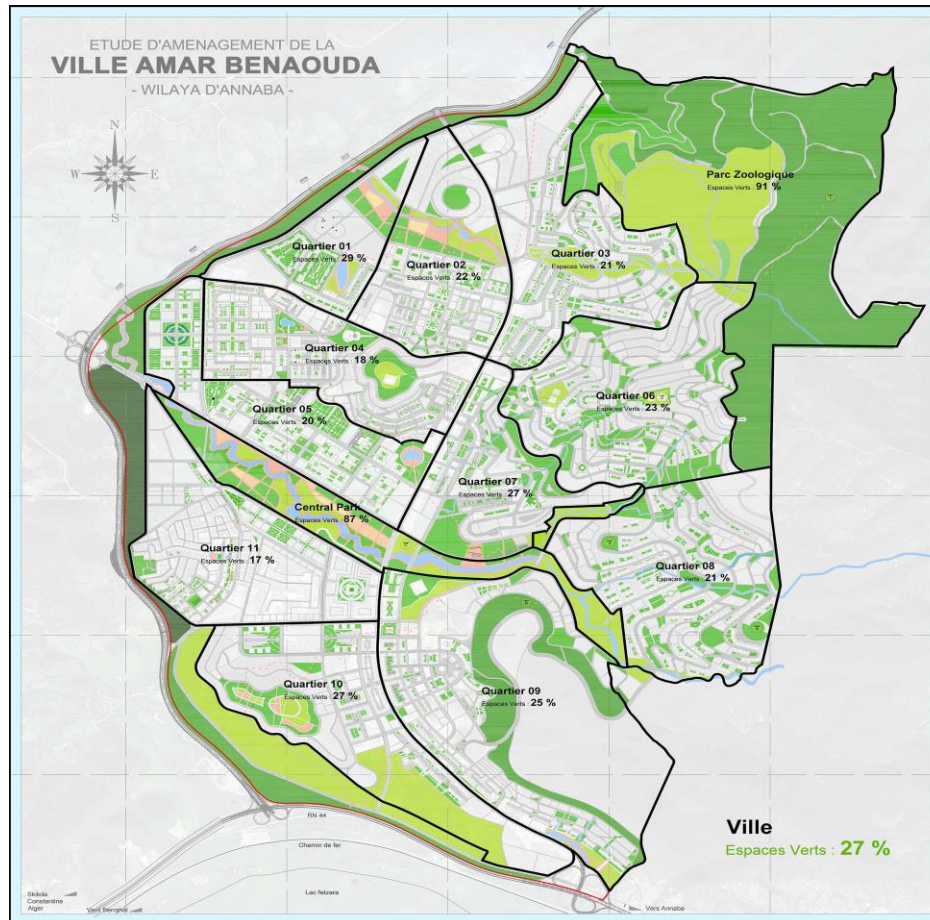


Fig. 2 : Trame verte de la ville Amar Benaouda

### I.3. Sources des données

L'évaluation de la connectivité de la trame verte de la ville nouvelle Amar Benaouda présentée dans ce travail est appuyée essentiellement sur un document graphique de type *dwg* du projet qui détaille le plan vert d'aménagement élaboré dans la deuxième phase de la première mission de l'étude, fourni par « URBAN-ANNABA », le bureau d'études chargé de l'étude et de l'aménagement de la ville nouvelle.

## Outils et méthodes

### I.4. Cadre conceptuel

Notre démarche est basée sur la proposition de Lazarsfeld (1958), qui consiste à élaborer une grille de lecture (ensemble d'indicateurs), conçue pour permettre la connaissance de l'état d'un système et son évolution ainsi que le contrôle et l'évaluation des résultats à obtenir, dans un cadre d'objectifs fixes (Boulanger, 2004). Cette méthode est choisie grâce à son rôle de cadrer des potentialités SIG en faveur d'un concept spécifique, dans notre cas, la connectivité écologique. Elle permet de le comprendre, l'analyser et le quantifier à travers sa désagrégation en indicateurs mesurables. Cette grille d'évaluation intègre le modèle de localisation-attribution des SIG et permet par conséquent une analyse spatiale optimale (Fig. 3).

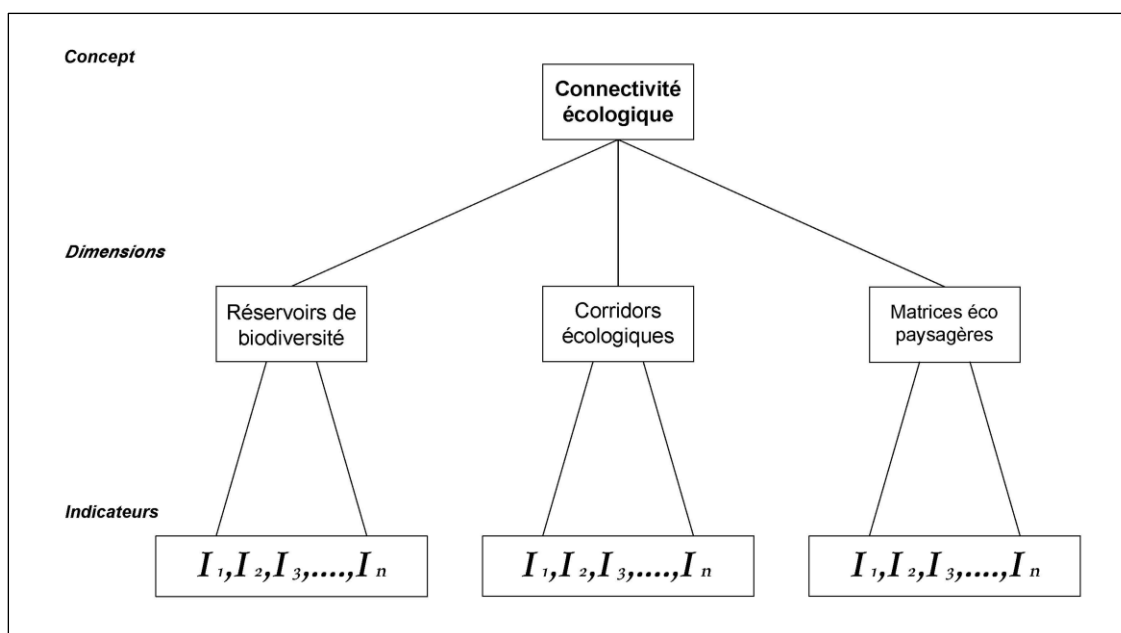


Fig. 3 : Méthode de Lazarsfeld

La trame verte en tant que concept polysémique est devenue une réalité multidimensionnelle (Goodspeed et al., 2021). Les définitions relatives à la trame verte urbaine partagent essentiellement le souci de la « continuité » entre ses composantes (Forman, 2014). Le concept de « connectivité écologique », à l'échelle urbaine en prend plusieurs dimensions à savoir : les réservoirs de biodiversité (Baranyi et al., 2011), les corridors écologiques (Pascual-Hortal & Saura, 2006) et les matrices éco paysagères (Pezzagno et al., 2021). Dans le tableau suivant, on présente les relations entre ces dimensions et le concept de la « connectivité écologique » :

| Concept                 | Définition   | Dimensions                 | Définitions  |
|-------------------------|--|----------------------------|--|
| Connectivité écologique | C'est la connexion effective et fonctionnelle nécessaire au fonctionnement, à la stabilité et à la résilience des écosystèmes sur le long terme (Holyoak, 2019). | Réservoirs de biodiversité | Ce sont des territoires dotés d'une biodiversité particulièrement riche, dans lesquels les espèces trouvent des conditions favorables pour se développer, se disperser et coloniser d'autres territoires (Raymond & Simon, 2012).  |
|                         |  | Corridors écologiques      | Ce sont des portions étroites du territoire, linéaires ou presque linéaires, qui relient des paires de zones noyaux de grande dimension et abritant une quantité et une concentration substantielle d'éléments naturels (Wang & Pei, 2020).  |
|                         |  | Matrices éco paysagères    | Ce sont des éléments dominants de la trame verte, observés à la fois en tant que support et en tant que produit de la biodiversité, qui représentent la zone intermédiaire plus au moins large, entre les corridors écologiques et les réservoirs de biodiversité (Pezzagno et al., 2021). |

**Tableau. 3 :** Les dimensions de la connectivité écologique

Les différentes dimensions sont ensuite analysées en indicateurs. Chaque dimension citée ci-dessus est désagrégée en variables en termes de connectivité écologique. Cette étape est basée en premier lieu sur la recherche étymologique des notions évoquées comme dimensions pour en cerner des critères de base liés à l'évaluation de chacune (Boulangier, 2004). Alors, des variables propres à chaque dimension sont mises en évidence et présentent eux-mêmes des indicateurs à condition qu'elles peuvent être accessibles directement à la mesure, sinon plus on désagrège une variable, plus on obtient des indicateurs plus explicites (Plane, 2018).

### 1.5. Sélection des indicateurs

La première sélection consiste à faire ressortir les variables structurelles parmi plusieurs caractérisant la connectivité écologique (fonctionnelles, potentielles, etc.) (Bergès & Avon, 2014). Plusieurs paramètres dimensionnels utilisent ces variables quantitatives en multiples combinaisons analytiques et en permettent l'évaluation. Alors, on choisit pour chaque paramètre la formule des variables qui renvoie à l'indicateur le plus pertinent pour mesurer la connectivité, c'est la deuxième sélection des indicateurs. On note qu'on a autant d'indicateurs qu'il y'en a plus de variables à mesurer et de paramètres à quantifier, néanmoins dans ce présent travail on s'est contenté d'un seul indicateur pour chaque paramètre dimensionnel car l'objectif principal s'était de proposer une méthode d'analyse SIG et non pas l'évaluation par indicateurs en elle-même.

Dans le tableau ci-dessous, on essaye de déterminer la relation exacte entre un indicateur et la variable dont il découle, sur la base évidemment du cadre conceptuel de la « connectivité écologique » :

| Dimensions                 | Sous-dimensions | Définitions   | Variables                                   | Indicateurs                              | Définitions  |
|----------------------------|-----------------|---|---|--|--|
| Réservoirs de biodiversité | Contenance      | Capacité d'un réservoir à contenir de la biodiversité (Fr.wikipedia.org, 2021).   | Surface (S)<br>Périmètre (P)                | Compacité du réservoir<br>[C=f(S,P)]     | Rapport indicatif de la contenance du réservoir de biodiversité qui indique la surface disponible de ce dernier pour chaque mètre linéaire de périmètre (Guides, 2013) :<br>$C = \frac{S}{P}$<br><i>C : compacité du réservoir en (m)</i><br><i>S : surface du réservoir en (m<sup>2</sup>)</i><br><i>P : périmètre du réservoir en (m)</i>                          |
|                            | Isolement       | Caractère d'une limite à séparer deux milieux et inter empêcher leurs individus de se déplacer à travers (Linternaute.com, 2021). | Périmètre barrière (Pb)<br>Surface (S)      | Barrière du réservoir<br>[BR=f(Pb,S)]    | Rapport indicatif de l'isolement du réservoir de biodiversité qui indique la longueur du périmètre barrière existant pour chaque mètre carré de surface (Guides, 2013) :<br>$BR = \frac{Pb}{S}$<br><i>BR : barrière du réservoir en (m<sup>-1</sup>)</i><br><i>Pb : périmètre barrière du réservoir en (m)</i><br><i>S : surface du réservoir en (m<sup>2</sup>)</i> |
| Corridors écologiques      | Affluence       | Présence de nombreuses individus dans un corridor et leur capacité de se couler dedans (Fr.wikipedia.org, 2021).                  | Largeur (Y)<br>Longueur (X)                 | Desserte du corridor<br>[DS=f(Y,X)]      | Rapport indicatif de l'affluence du corridor qui indique la largeur disponible pour chaque mètre linéaire de longueur (Guides, 2013) :<br>$DS = \frac{Y}{X}$<br><i>DS : desserte du corridor sans unité</i><br><i>Y : largeur du corridor en (m)</i><br><i>X : longueur du corridor en (m)</i>   |
|                            | Discontinuité   | Présence des interruptions qui se produit sur une continuité linéaire d'un corridor (Larousse.fr, 2021).                          | Longueur d'interruption (D)<br>Longueur (X) | Fragmentation du corridor<br>[FR=f(D,X)] | Rapport indicatif de la discontinuité du corridor qui indique la longueur hors habitat à franchir pour chaque mètre linéaire de longueur (Babí Almenar et al., 2019) :<br>$FR = \frac{D}{X}$<br><i>FR : fragmentation du corridor sans unité</i><br><i>D : distance d'interruptions en (m)</i><br><i>X : longueur du corridor en (m)</i>                             |

|                         |            |  |                                     |  |   |
|-------------------------|------------|--|-------------------------------------|--|---|
| Matrices éco paysagères | Dominance  | Fait pour une matrice de dominer un ensemble plus vaste (Larousse.fr, 2021).     | Surface (S)<br>Surface couverte (A) | Densité de la matrice<br>[ $DN=f(S,A)$ ] | Rapport indicatif de la dominance de la matrice éco paysagère qui indique la surface de la matrice offerte pour chaque mètre carré de l'aire totale délimitée de réservoirs ou corridors supportant la matrice (Pezzagno et al., 2021) :<br>$DN = \frac{S}{A}$<br><i>DN : densité de la matrice sans unité</i><br><i>S : surface de la matrice en (m<sup>2</sup>)</i><br><i>A : surface totale de l'aire incluant la matrice en (m<sup>2</sup>)</i> |
|                         | Dispersion | Degré de décomposition d'une matrice en petits éléments (Linternaute.com, 2021). | Nombre d'entités (N)                | Pluralité de la matrice<br>[ $PL=f(N)$ ] | Rapport indicatif de la dispersion de la matrice qui indique le degré de séparation de la matrice en plusieurs entités voisines (Pezzagno et al., 2021) :<br>$PL = 1 - \frac{1}{N}$<br><i>PL : pluralité de la matrice sans unité</i><br><i>N : nombre d'entités de la matrice sans unité</i>   |

**Tableau. 4 :** Les indicateurs de la connectivité écologique

### I.6. Normalisation des indicateurs

La normalisation est une opération d'harmonisation de grandeurs entre indicateurs en vue de leur agrégation en indices (Boulangier, 2004). Sur une même échelle arbitraire, les valeurs des indicateurs sont réajustées tout en gardant leur inter relativité indicative, c-à-d l'ordre des valeurs ainsi que les écarts proportionnels entre ces dernières restent fidèles à la notation initiale des indicateurs (Prescott-Allen, 1997). Chaque indicateur possède une note minimale et une note maximale qui représentent les seuils à utiliser dans une normalisation à l'échelle centième comme suit selon ces deux cas :

Cas 1 : meilleure situation correspond à la valeur maximale et la pire situation correspond à la valeur minimale :

$$\text{Indicateur normalisé} = \left[ \frac{\text{Score} - \text{seuil\_min}}{\text{seuil\_max} - \text{seuil\_min}} \right] \times 100$$

Cas 2 : meilleure situation correspond à la valeur minimale et la pire situation correspond à la valeur maximale :

$$\text{Indicateur normalisé} = [1 - (\frac{\text{Score} - \text{seuil\_min}}{\text{seuil\_max} - \text{seuil\_min}})] \times 100$$

### I.7. Agrégation des indicateurs

La première agrégation consiste à composer des indicateurs normalisés en indices de connectivité partiels et cela par dimension selon la formule suivante (*Composite Indicators*, 2021):

$$IC = \prod_{i=1}^n I_i^{1/n}$$

*IC* : indice de connectivité

*I<sub>i</sub>* : l'indicateur normalisé *i*

*n* : nombre d'indicateurs agrégés

La deuxième agrégation vise l'obtention d'un seul indice de connectivité global qui prendrait les valeurs des indices de connectivité partiels correspondants en respectant la dimension de l'entité spatiale en vigueur. L'objectif de cette agrégation est d'avoir une seule valeur composite appréciable et corrélative quel que soit la dimension suivant laquelle on évaluait la connectivité écologique de la trame verte urbaine (Fig. 4).

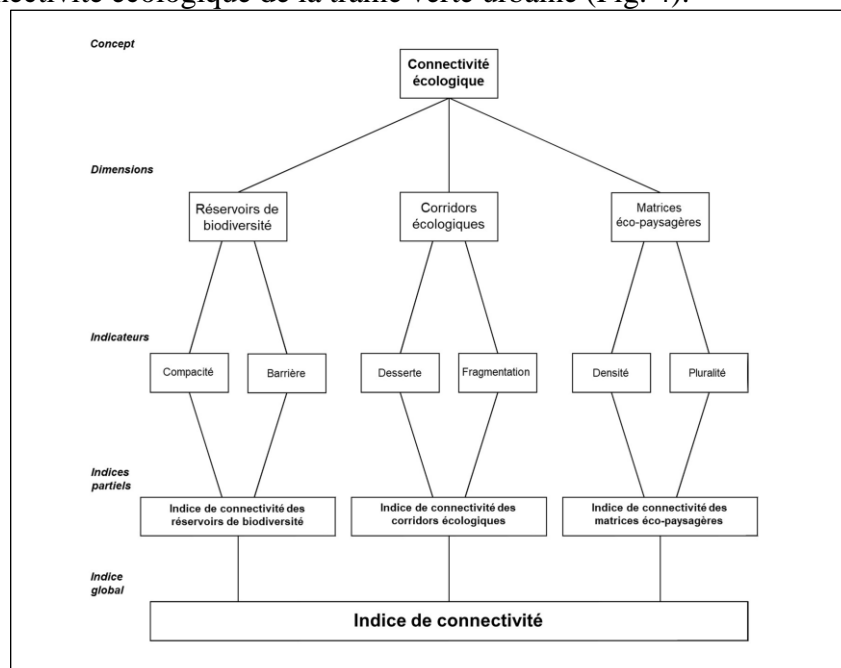


Fig. 4 : Cadre conceptuel de la connectivité écologique

La grille d'évaluation de la connectivité écologique est une démarche basée sur le modèle de localisation-attribution. Mesurer la connectivité de chaque entité modelée sur SIG de la trame verte de la ville nouvelle Am

ar Benaouda revient à construire une table attributaire SIG spécifique à notre objectif selon la grille d'indicateurs construite, profiter de la qualité des SIG de combiner des données pour une analyse spatiale prospective et évaluer la connectivité de la trame verte urbaine. Les résultats obtenus font l'objet d'une représentation cartographique thématique.

## Résultats

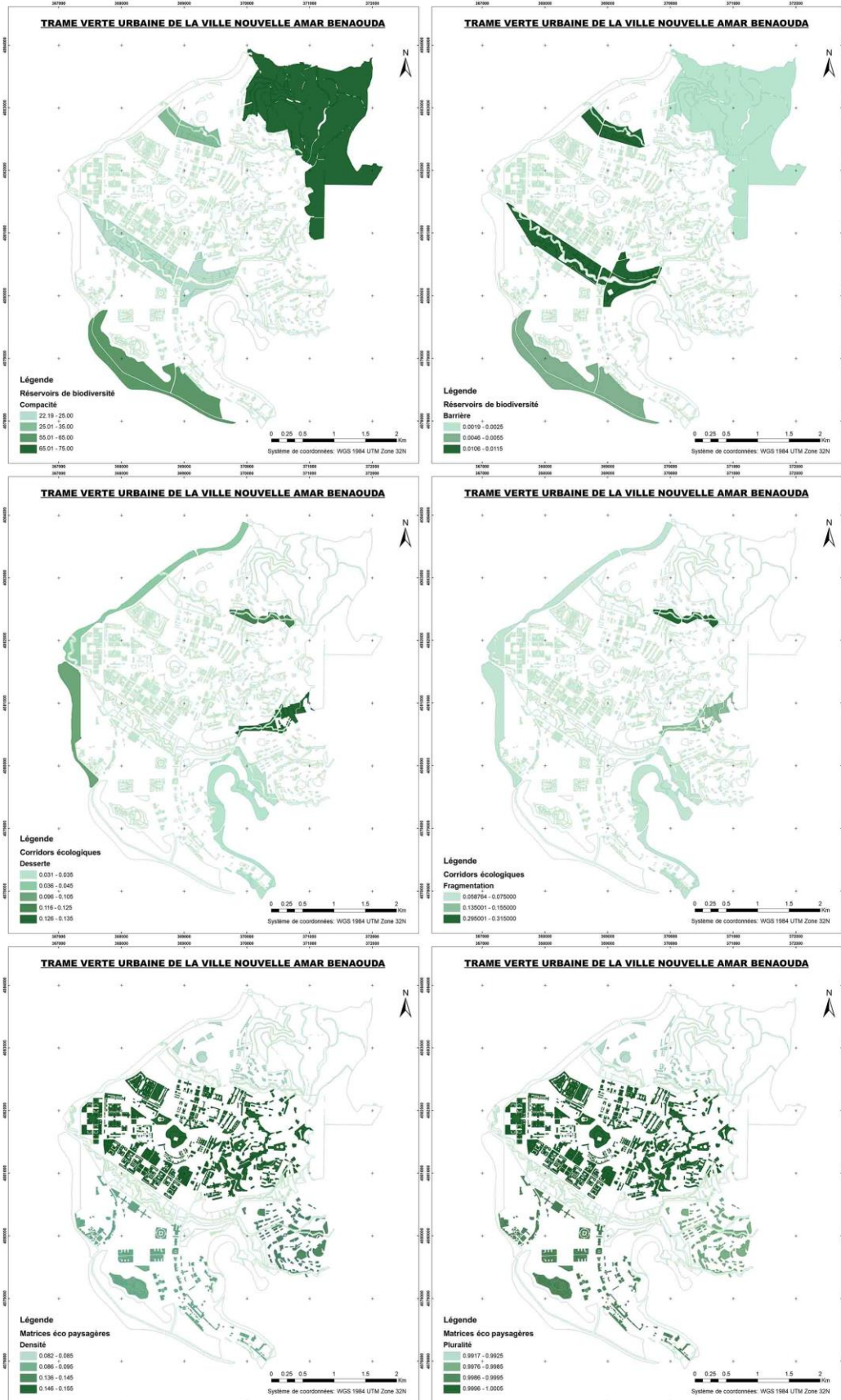
### I.8. Evaluation et représentation des indicateurs

Sur la base de la grille d'indicateurs et en utilisant les SIG, des cartes d'évaluation sont élaborées pour la représentation de la connectivité écologique de la trame verte de la ville nouvelle Amar Benaouda (Fig. 5). L'indicateur de *compacité* pour les réservoirs de biodiversité est proportionnel à la connectivité, car plus un site étant de grande surface, plus « le centre » du cercle serait de grande surface et accueillait plus d'habitants en raison de la distance qui le sépare du milieu extérieur, source de perturbations et de dérangement (Guides, 2013). Donc les réservoirs ayant des scores élevés de *compacité* sont meilleurs en termes de connectivité et inversement.

L'indicateur de *barrière* pour les réservoirs de biodiversité est inversement proportionnel à la connectivité ; plus un site ayant du périmètre long, plus le cœur d'habitat aurait de contact avec l'extérieur, et le contact avec un milieu non écologique présente ainsi une barrière pour le réservoir de biodiversité (Guides, 2013). En effet, les réservoirs présentant des scores faibles en *barrière* sont meilleurs contrairement à la compacité.

Par rapport aux corridors écologiques, l'indicateur de *desserte* est proportionnel à la connectivité écologique ; plus un couloir ayant de la largeur, plus il serait fréquenté grâce à sa capacité d'accueillir d'individus en déplacement (Guides, 2013). La largeur minimale des corridors dépendait des espèces qui les empruntent pour leur déplacement (de 50 à 100 m), or des corridors plus larges ne peuvent qu'être bénéfiques. Tandis que l'indicateur de *fragmentation* renvoi aux corridors les moins connectés, plus un corridor présentant de distances hors habitat à franchir, moins il serait en faveur de la mobilité des espèces (Guides, 2013). Les habitats reliés par des corridors coupés sont beaucoup moins diversifiés que lorsqu'ils sont reliés par des corridors continus.

Fig. 5 : Cartes des indicateurs de la connectivité écologique

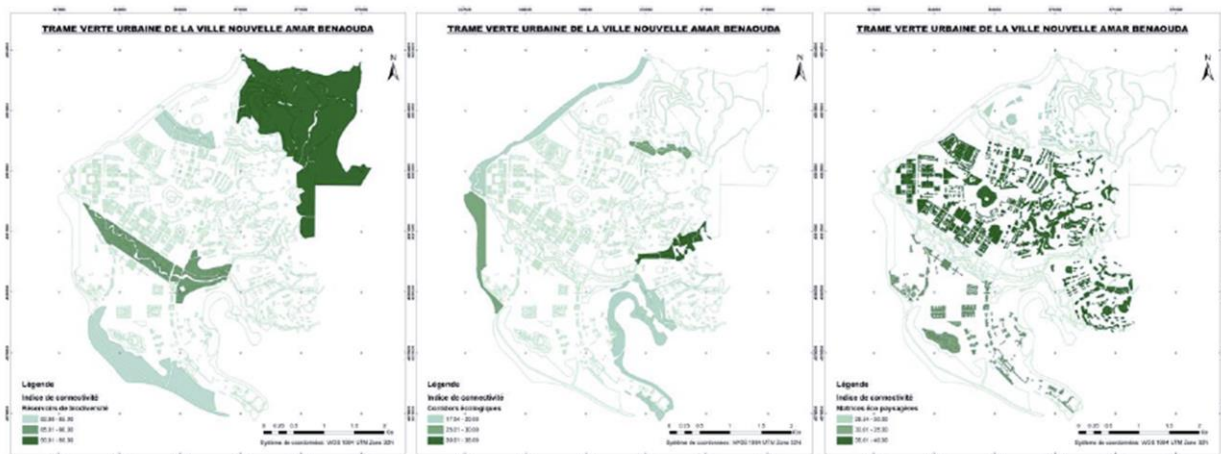


Quant aux matrices éco paysagères, les deux indicateurs de *densité* et de *pluralité* sont relativement proportionnels à la connectivité, car plus une matrice étant répartie sur une grande surface, plus elle présente des chances à lier des composants du système écologique urbain (Pezzagno et al., 2021), aussi plus une matrice étant morcelée sur plusieurs parcelles, plus elle aurait de capacité connective entre taches d'habitat car elle pourrait occuper plus d'étendue spatiale comparant à une matrice composée d'un seul amas groupé (Pezzagno et al., 2021).

### I.9. Evaluation et représentation des indices

Le croisement des résultats précédents par SIG sur la base d'indices agrégés offre des synthèses de données sous forme de représentations mieux lisibles et des évaluations plus efficaces de la connectivité de la trame verte (Fig. 6).

Fig. 6 : Cartes des indices partiels de la connectivité écologique



Les cartes de connectivité par dimension montrent chacune trois classes d'indices, d'où une connectivité variable sur l'ensemble des composantes de la trame verte urbaine, cette représentation rend possible la comparaison des réservoirs de biodiversité entre eux, des corridors ainsi que des matrices. On se permet ainsi d'avoir encore une appréciation partielle sur la trame verte mais avec moins de détails. Enfin, pour une clarté optimale de représentation et d'évaluation, une carte globale illustrant la totalité de la trame verte avec ses trois dimensions corrélées ensemble est élaborée (Fig. 7).

En se basant sur ces cartes, on peut dire que la connectivité de la trame verte est potentiellement optimale dans les réservoirs de biodiversité et essentiellement au nord-est de la ville, viennent après les matrices éco paysagères avec une connectivité plus ou moins forte et plus importante au cœur de la ville. En revanche, les corridors écologiques présentent des scores faibles, malgré leur rôle crucial qu'ils puissent jouer par rapport à la connectivité de la trame verte urbaine.



Fig. 7 : Carte d'indice global de la connectivité écologique

## Discussion

La finalité de ce travail modeste était de connaître les atouts et les faiblesses du plan vert aménagé pour la ville nouvelle Amar Benaouda, et de pouvoir les localiser sur la carte de la ville pour dire en aval qu'est-ce qu'on retient ou bien on corrige en vue d'une éventuelle optimisation de la trame verte. La qualité de connectivité de tous les éléments de la trame verte urbaine est devenue connue et une interprétation des résultats est maintenant possible grâce au système d'indicateurs intégré aux SIG. Quant aux réservoirs de biodiversité, on peut dire que l'idée d'avoir quelques taches d'habitat de taille considérable et compactes est à retenir, néanmoins l'isolement de certains habitats est à corriger pour développer la biodiversité urbaine. En fait, on constate des réservoirs relativement isolés entre autres ceux qui prennent des positions centrales par rapport à la ville. La correction ici peut à titre d'exemple, être une diminution de l'effet de barrière par l'insertion sur la limite des réservoirs de petits couloirs verts perpendiculaires assurant la continuité de ce dernier vers l'extérieur et minimisant son contact avec la trame urbaine.

Les matrices éco paysagères de cette trame verte à leur tour sont en général acceptables en termes de connectivité car la majorité d'elles sont d'une *densité* supérieure à 13 % (la norme actuelle est en moins 10 %), aussi elles sont toutes plurielles ce qui est considéré comme positif dans ce plan d'aménagement. Dorénavant, le plus contraignant dans une conception de trame verte urbaine étant d'assurer la continuité de la matrice éco paysagère vu qu'elle soit souvent inter déconnectée par le système bâti. Jusqu'à maintenant, et les réservoirs de biodiversité et les matrices éco paysagères présentent beaucoup plus d'atouts pour l'intra connectivité que de faiblesses.

Les corridors écologiques sont connus principalement par leur capacité liante entre réservoirs de biodiversité et matrices éco paysagères, car ils constituent les moyens par lesquels est assurée une mobilité de la biodiversité urbaine, or ceux de cette trame verte constituent le maillon faible de la conception, ils marquent les scores les plus faibles d'indices ce qui nuit énormément à la qualité de connectivité de la trame. On peut mettre en cause trois carences déterminantes de cet échec de conception urbaine à savoir : 1) des largeurs très faibles par rapport aux longueurs, 2) trop d'interruptions dans le même corridor et 3) distribution spatiale inefficace.

D'après cette analyse approfondie de la connectivité écologique, même si elle se limite à la spatialité de la trame verte urbaine, on peut recommander pour la conception d'une infrastructure verte optimale les points suivants : 1) des réservoirs de biodiversité d'une forme compacte sont toujours privilégiés, 2) minimiser les contacts du réservoir avec la trame urbaine, 3) élargir les corridors autant que possible surtout lorsqu'ils soient relativement longs, 4) éviter de couper un corridor par des espaces hors habitat autant que possible, 5) assurer pour les matrices une densité minimale de 10 %, 6) harmoniser la répartition matricielle pour avoir des distances minimales entre nœuds et 7) choisir des distributions spatiales pour que des réservoirs soient inter connectés par des corridors dans tous les sens.

## Conclusions

Cette méthode de la grille d'évaluation intégrée au modèle de localisation-attribution des SIG nous a permis de juger la qualité de l'aménagement proposé par le maître d'œuvre chargé de l'aménagement de la ville nouvelle et proposer en revanche des recommandations pour une configuration spatiale efficace en connectivité écologique, tout en corrigeant les carences constatées sur le plan vert. Il s'agit en fait d'une organisation des données en vue d'une gestion optimale de la trame verte urbaine, ce qui rend ainsi, structuré un travail d'analyse spatiale sur SIG et permet encore d'apporter des corrections ciblées sur la conception urbaine. Néanmoins, cette méthode proposée ne relève pas de l'aspect parfait, mais elle représente un outil, qui nous semble efficace et valide, pour optimiser la gestion et la conception de la trame verte urbaine. Elle peut avoir d'autres dimensions, d'autres indicateurs, cependant on s'est contenté ici aux grandes lignes afin d'atteindre les objectifs cités ci-dessus en l'occurrence d'optimiser l'outil SIG dans l'évaluation et la conception de la connectivité écologique de la trame verte urbaine. Cette tentative s'insère dans une réflexion purement académique, mais devrait servir comme point de départ pour construire une démarche d'évaluation de la trame verte des projets urbains futurs.

## II. Références

- AMSALLEM, J., & DEHOUC, H. (2018). *Focus - Comment préciser les continuités écologiques à l'échelle locale parcellaire ?* <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2018.25.06>
- Arrif, T., Blanc, N., & Clergeau, P. (2011). Trame verte urbaine, un rapport Nature – Urbain entre géographie et écologie. *Cybergeographie : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeographie.24862>
- Babí Almenar, J., Bolowich, A., Elliot, T., Geneletti, D., Sonnemann, G., & Rugani, B. (2019). Assessing habitat loss, fragmentation and ecological connectivity in Luxembourg to support spatial planning. *Landscape and Urban Planning*, 189, 335–351. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.004>
- Baranyi, G., Saura, S., Podani, J., & Jordán, F. (2011). Contribution of habitat patches to network connectivity: Redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators*, 11(5), 1301–1310. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.003>
- Bergès, L., & Avon, C. (2014). Diagnostic de la connectivité potentielle des trames forestières : cas d'étude en région méditerranéenne. *Rapport de Projet, Diacofor, MEDDE DEB/IRSTEA, Tâche 2*, 31 p.
- Blanc, N., & Clergeau, P. (2013). *Trames vertes urbaines De la recherche scientifique au projet urbain*. [http://files/401/Blanc et Clergeau - 2013 - Trames vertes urbaines De la recherche scientifique.pdf](http://files/401/Blanc%20et%20Clergeau%20-%202013%20-%20Trames%20vertes%20urbaines%20De%20la%20recherche%20scientifique.pdf)
- Boulanger, P.-M. (2004). Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique. *Idées Pour Le Débat N°21/2004, 2003*, 1–24. [http://www.iddri.org/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/id\\_0421\\_boulanger.pdf](http://www.iddri.org/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/id_0421_boulanger.pdf)
- Brown, G., & Fagerholm, N. (2015). Empirical {PPGIS}/{PGIS} mapping of ecosystem services: {A} review and evaluation. *Ecosystem Services*, 13, 119–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.007>
- Burkhard, B., & Maes, J. (2017). Mapping Ecosystem Services. *Advanced Books*, 1, e12837. <https://doi.org/10.3897/ab.e12837>
- Carnoye, L. (2018). Les services écosystémiques comme outils d'aide à la décision et de communication pour les parcs naturels régionaux. L'exemple du parc Scarpe-Escaut. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie, Vol. 9, n°3*. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.12659>
- Composite Indicators*. (2021). [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/composite-indicators\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/composite-indicators_en)
- Ewa, B.-A. (2011a). *Guide du Projet Urbain. Connaître le contexte de développement durable* (SYNERGIE, Ed.; Collection). [https://www.academia.edu/27563142/Guide\\_du\\_Projet\\_Urbain\\_Conna%C3%A9tre\\_le\\_contexte\\_de\\_d%C3%A9veloppement\\_durable](https://www.academia.edu/27563142/Guide_du_Projet_Urbain_Conna%C3%A9tre_le_contexte_de_d%C3%A9veloppement_durable)
- Ewa, B.-A. (2011b). *URBANISME DE DEMAIN: AUTRE REGARD, AUTRES OUTILS*. [https://www.academia.edu/27563089/URBANISME\\_DE\\_DEMAIN\\_AUTRE\\_REGARD\\_AUTRES\\_OUTILS](https://www.academia.edu/27563089/URBANISME_DE_DEMAIN_AUTRE_REGARD_AUTRES_OUTILS)
- Forman, R. T. T. (2014). Basic Principles for Molding Land Mosaics. In F. O. Ndubisi (Ed.), *The Ecological Design and Planning Reader* (pp. 299–319). Island Press/Center for Resource Economics. [https://doi.org/10.5822/978-1-61091-491-8\\_26](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-491-8_26)
- Fr.wikipedia.org. (2021). *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil\\_principal](https://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil_principal)
- Goodspeed, R., Liu, R., Gounaridis, D., Lizundia, C., & Newell, J. (2021). A regional spatial planning model for multifunctional green infrastructure: <https://doi.org/10.1177/23998083211033610>
- Guides, B. F. (2013). *La biodiversité et l'urbanisation*.

- Holyoak, M. (2019). Ecological Indicators: Connectance and Connectivity☆. In B. Fath (Ed.), *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)* (pp. 567–574). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489111285>
- Larousse.fr. (2021). *Larousse.fr : encyclopédie et dictionnaires gratuits en ligne*. <https://www.larousse.fr/>
- L'internaute.com. (2021). *L'Internaute : actualité, loisirs, culture et découvertes...* <https://www.linternaute.com/>
- Loi n° 10-02 du 29 Juin 2010 Portant approbation du Schéma National d'Aménagement du Territoire., (2010). <http://files/414/F2010061.pdf>
- Naimi Ait-Aoudia, M. (2006). *STRUCTURATION DES DONNEES PERTINENTES POUR UN SIG OUTIL D'AIDE A LA DECISION APPLIQUEE A LA POLITIQUE DE ZONES D'ACTIVITES DURABLES*. <http://files/416/Naimi Ait-Aoudia - 2006 - STRUCTURATION DES DONNEES PERTINENTES POUR UN SIG .pdf>
- Nziengui, M., Tchindjang, M., Feizoure, J., & Zanre, N. S. (2013). *Apport de la télédétection et des SIG pour la caractérisation des habitats particuliers du massif forestier du sud-ouest de la RCA suivant le concept des forêts à haute valeur pour la conservation (FHVC)*.
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: Towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21(7), 959–967. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-0013-z>
- Pezzagno, M., Frigione, B. M., & Ferreira, C. S. S. (2021). Reading Urban Green Morphology to Enhance Urban Resilience: A Case Study of Six Southern European Cities. *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 9163*, 13(16), 9163. <https://doi.org/10.3390/SU13169163>
- Plane, P. (2018). L ' Observatoire de la Compétitivité Durable ( OCD ) Où en sont les économies de l ' UEMOA ? *Ferdi*, 1–72.
- Prescott-Allen, R. (1997). *Baromètre de la durabilité Baromètre de la durabilité*.
- Ramyar, R., Saeedi, S., Bryant, M., Davatgar, A., & Mortaz Hedjri, G. (2020). Ecosystem services mapping for green infrastructure planning–The case of Tehran. *Science of The Total Environment*, 703, 135466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135466>
- Raymond, R., & Simon, L. (2012). Biodiversité : les services écosystémiques et la nature en ville. *Revue Forestière Française*, 3. <https://doi.org/10.4267/2042/48442>
- URBAN-ANNABA. (2020). *Etude d'aménagement de la ville Amar Benaouda*.
- Wang, H., & Pei, Z. (2020). Urban Green Corridors Analysis for a Rapid Urbanization City Exemplified in Gaoyou City, Jiangsu. *Forests 2020, Vol. 11, Page 1374*, 11(12), 1374. <https://doi.org/10.3390/F11121374>