



**HAL**  
open science

# LES SITES INDUSTRIELS ET LA TRAME VERTE ET BLEUE. Méthodologie pour l'étude des réseaux écologiques à l'échelle d'un site. Rapport préliminaire

Chloé Thierry, Olivier Delzons, Cindy Fournier, Vanille Thullier

## ► To cite this version:

Chloé Thierry, Olivier Delzons, Cindy Fournier, Vanille Thullier. LES SITES INDUSTRIELS ET LA TRAME VERTE ET BLEUE. Méthodologie pour l'étude des réseaux écologiques à l'échelle d'un site. Rapport préliminaire. PatriNat (AFB-CNRS-MNHN). 2017, pp.96. mnhn-04283166

**HAL Id: mnhn-04283166**

**<https://mnhn.hal.science/mnhn-04283166>**

Submitted on 22 Nov 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**MUSÉUM**  
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Direction de la Recherche,  
de l'Expertise et de la Valorisation

Direction Déléguée au Développement Durable,  
à la Conservation de la Nature et à l'Expertise

## UMS 2006 Patrimoine Naturel

Chloé THIERRY, Olivier DELZONS  
Cindy FOURNIER, Vanille THULLIER



### **LES SITES INDUSTRIELS ET LA TRAME VERTE ET BLEUE.**

**Méthodologie pour l'étude des  
réseaux écologiques à l'échelle d'un  
site. Rapport préliminaire. 2017**

## L' UMS 2006 Patrimoine Naturel Centre d'expertise et de données sur la nature



En janvier 2017, l'Unité Mixte de Service 2006 Patrimoine naturel (UMS PatriNat) a été créée pour assurer des missions d'expertise et de gestion des connaissances pour ses trois tutelles que sont le Muséum national d'Histoire naturelle, l'Agence Française de la Biodiversité et le CNRS. Ses missions s'organisent principalement autour de la consolidation et la valorisation des données de biodiversité, de géodiversité et des collections naturalistes, ainsi que la production et la diffusion de référentiels, de méthodes, de protocoles et d'indicateurs. Il offrira également un appui scientifique aux politiques publiques et privées en matière d'environnement.

En savoir plus : <http://patrinat.mnhn.fr/>

Directeur : Jean-Philippe SIBLET

Adjoint au directeur en charge du Centre de données : Laurent PONCET

Adjoint au directeur en charge des rapports et de la valorisation : Julien TOUROULT



Porté par l'UMS 2006 Patrimoine Naturel, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. Ce système est un dispositif clé du SINP et de l'Observatoire National de la Biodiversité.

Afin de gérer cette importante source d'informations, le Muséum a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de mutualiser au niveau national ce qui était jusqu'à présent éparpillé à la fois en métropole comme en outre-mer et aussi bien pour la partie terrestre que pour la partie marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance, l'expertise et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : <http://inpn.mnhn.fr>

## Conventions d'études

### Présentation de l'étude

Afin de limiter la perte de biodiversité, la préservation des milieux naturels ne peut se limiter à la seule prise en compte des espaces naturels remarquables. L'enjeu émergent de la nature « ordinaire » se conjugue avec les objectifs de renaturation dont certains sont directement liés à des activités anthropiques. Dans ce cadre, les sites industriels représentent, pendant et après leur exploitation, une opportunité de préservation mais également de restauration de milieux naturels de qualité.

Cette étude vise à fournir des éléments permettant de prendre en compte la biodiversité des sites industriels et s'attache en particulier à préciser l'intérêt d'intégrer les sites industriels dans la Trame Verte et Bleue. Les premières étapes de la démarche méthodologique pour l'étude des réseaux écologiques à l'échelle d'un site sont présentées dans ce rapport.

### Etude réalisée par

Muséum national d'Histoire naturelle  
UMS Patrimoine Naturel  
Tel. 01 60 47 92 15  
MNHN - Laboratoire d'écologie générale  
UMS 2006 Patrimoine Naturel  
4 Avenue du Petit Château  
91800 BRUNOY  
e-mails : [cthierry@mnhn.fr](mailto:cthierry@mnhn.fr) ; [delzons@mnhn.fr](mailto:delzons@mnhn.fr)

### Auteurs :

Chloé Thierry, chargée de mission 'Suivis de biodiversité'  
Olivier Delzons, chef de projet 'Suivi SNB' et Convention SUEZ RVF  
Cindy Fournier, chargée de mission 'Enjeux biodiversité'  
Vanille Thullier, stagiaire sur les continuités écologiques à l'échelle d'un site

### Responsables scientifiques :

Katia Hérard et Philippe Gourdain

### Référence du rapport conseillée :

THIERRY C., DELZONS O., FOURNIER C., THUILLIER V. 2017. Les sites industriels et la Trame Verte et Bleue. Méthodologie pour l'étude des réseaux écologiques à l'échelle d'un site. Rapport préliminaire. UMS 2006 Patrimoine naturel, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 96 pages.

**1<sup>ère</sup> de couverture : photos prises sur des sites industriels (© Chloé Thierry)**

**4<sup>ème</sup> de couverture : vue depuis une Installation de Stockage de Déchets (© Chloé Thierry)**

## Table des matières

Préambule .....	7
<b>PARTIE 1 : RESEAUX ECOLOGIQUES ET BIODIVERSITE .....</b>	<b>8</b>
I) Les réseaux écologiques, une réponse à l'érosion de la biodiversité .....	9
1) Une stratégie pour limiter les effets de la perte d'habitat et de la fragmentation .....	9
2) La Trame Verte et Bleue et les réseaux écologiques .....	10
3) Une approche non systématique .....	13
a) Des effets négatifs à prendre en considération .....	13
b) Des connaissances encore déficitaires .....	15
c) Une approche raisonnée et concertée à favoriser .....	15
II) Réseaux écologiques et échelles pertinentes d'action .....	17
1) Une approche multi-scalaire .....	17
2) Spécificités de l'échelle locale .....	19
III) Réseaux écologiques et sites industriels .....	22
1) Importance du contexte paysager .....	22
2) Réseaux écologiques dans une stratégie d'entreprise .....	25
3) Liens avec les autres démarches initiées en faveur de la biodiversité .....	26
4) Contraintes réglementaires pour les ISD .....	27
5) Insertion des ISD dans les réseaux écologiques .....	28
IV) Démarche et objectifs de l'étude .....	30
<b>PARTIE 2 : VERS UNE METHODOLOGIE POUR L'IDENTIFICATION DES RESEAUX ECOLOGIQUES A L'ECHELLE D'UN SITE .....</b>	<b>32</b>
I) Etapes de la méthodologie .....	33
II) Etat des lieux des outils d'identification de corridors écologiques .....	34
1) De l'analyse de la connectivité structurelle à la théorie des graphes .....	34
2) Choix d'un logiciel de modélisation .....	35
III) Choix des paramètres .....	39
1) Aire d'étude .....	39
2) Cartographie d'occupation du sol .....	40
3) Détermination des sous-trames .....	41
4) Capacité de dispersion et choix des espèces cibles .....	42
5) Détermination de la perméabilité du paysage .....	43
IV) Modélisation des continuités et des corridors écologiques .....	44
1) Création d'un graphe paysager .....	44
2) Hiérarchisation des taches d'habitats et des corridors écologiques .....	45
V) Bilan : première proposition pour une méthode d'identification des réseaux écologiques à l'échelle d'un site .....	46
<b>PARTIE 3 : TEST DE LA METHODE PROPOSEE SUR UN SITE PILOTE .....</b>	<b>47</b>
I) Choix du site pilote .....	48
II) Définition des enjeux et des objectifs de l'étude .....	49
III) Définition de l'aire d'étude .....	51
IV) Cartographie de l'occupation du sol .....	52
1) Utilisation des données cartographiques disponibles .....	52



2) Mise à jour de la carte.....	53
3) Simplification de la carte.....	53
V) Choix des paramètres et modélisation .....	55
1) Choix des espèces cibles et/ ou des guildes.....	55
2) Définition des coefficients de rugosité associés à chaque habitat.....	55
3) Choix d'une métrique paysagère .....	56
VI) Résultats.....	58
1) Sous-trame humide.....	58
2) Sous-trame herbacée.....	58
3) Sous-trame forestière .....	61
4) Scénarios d'aménagements .....	65
PARTIE 4 : DISCUSSION.....	67
I) La plus-value de l'échelle locale.....	68
II) Retour sur la méthode employée .....	69
1) Limites de la démarche .....	69
a) Limites liées aux données spatiales .....	69
b) Limites liées aux choix méthodologiques .....	70
2) Vers une démarche standardisée .....	71
III) Un outil d'aide à la décision pour les aménagements .....	74
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	76
Bibliographie générale .....	77
ANNEXES.....	84

## Table des figures

Figure 1 - Exemple d'éléments de la Trame Verte et Bleue : réservoirs de biodiversité et types de corridors ( <i>Allag-Dhuisme et al., 2010</i> ).....	11
Figure 2 - Fonctionnalité des corridors écologiques, à travers l'exemple d'une espèce, le Triton marbré .....	12
Figure 3 - Conséquences de la fragmentation du paysage par le réseau routier pour une espèce, le Triton marbré .....	13
Figure 4 - Emboîtement des échelles de prise en considération des réseaux écologiques.....	17
Figure 5 - Éléments à prendre en compte pour identifier les réseaux écologiques.....	24
Figure 6 - Place des réseaux écologiques dans une stratégie d'entreprise .....	26
Figure 7 - Démarche méthodologique .....	33
Figure 8 - Représentation de la zone d'étude et des deux zones tampons prises en considération.....	40
Figure 9 - Exemple de sous-trames composant la Trame Verte et Bleue.....	41
Figure 10 - Proposition de méthode pour la modélisation des réseaux écologiques à l'échelle d'un site .....	46
Figure 11 - Continuités écologiques autour du site d'étude.....	50
Figure 12 - Cartographie de l'occupation du sol autour du site (CORINE LAND COVER).....	52
Figure 13 - Vue sur les prairies du site de Villeparisis.....	59
Figure 14 - Hiérarchisation des habitats et corridors herbacés selon leur potentialité dans la continuité écologique. Cas des espèces à moyenne dispersion dans une zone tampon de 1km .....	60
Figure 15 - Hiérarchisation des habitats et corridors forestiers selon leur potentialité dans la continuité écologique. Cas des espèces à moyenne dispersion dans une zone tampon de 1km .....	63
Figure 16 - Hiérarchisation des habitats et corridors forestiers selon leur potentialité dans la continuité écologique. Cas des espèces à moyenne dispersion dans une zone tampon de 5km .....	64
Figure 17 - Exemple d'un scénario d'aménagement pour la sous-trame forestière .....	66

## Table des Tableaux

Tableau 1 - Avantages et inconvénients de la connectivité pour la conservation de la biodiversité.....	14
Tableau 2 - Les configurations du paysage pour améliorer la connectivité pour les populations animales à différentes échelles spatiales (Bennett, 2003) .....	20
Tableau 3 - Comparaison des outils Graphab et Spatial Analyst .....	36
Tableau 4 - Tableau de qualification des coefficients de rugosité.....	43
Tableau 5 - Valeurs de rugosité pour chaque type d'habitat selon les guildes d'espèces fictives .....	56

## Préambule

La biodiversité est globalement mise en péril par les activités humaines, la destruction et la fragmentation des habitats figurant parmi les menaces les plus importantes.

Les sites industriels occupent des surfaces importantes, incluant souvent des espaces verts ou des zones naturelles, susceptibles de fournir des espaces relais pour de nombreuses espèces. Afin de concilier au mieux les activités industrielles avec la vie sauvage, les mesures d'aménagement et de gestion doivent être adaptées pour favoriser le développement de la biodiversité.

La prise en compte des réseaux écologiques dans la gestion d'un espace à vocation industrielle permet de mieux orienter cette gestion, au regard des enjeux du site, mais aussi en fonction des éléments du paysage environnant.

La démarche présentée dans ce rapport vise à proposer une méthode pour prendre en compte les réseaux écologiques dans la vie des sites industriels. Elle se base sur une revue bibliographique, présentée dans la partie 1. Cette première partie précise les concepts autour de la question des réseaux écologiques, détaille le contexte réglementaire et décrit les passerelles existant entre exploitation industrielle et prise en compte des réseaux écologiques.

La seconde partie détaille la méthode proposée dans un premier temps, pour prendre en compte au mieux les réseaux écologiques dans ce contexte particulier.

La troisième partie expose ensuite un exemple d'application de cette méthode sur un site industriel témoin.

Enfin, les résultats obtenus et les améliorations proposées pour cette méthode sont discutés dans la dernière partie (partie 4).





**PARTIE 1 :**  
**RESEAUX ECOLOGIQUES**  
**ET BIODIVERSITE**

## I) Les réseaux écologiques, une réponse à l'érosion de la biodiversité

### 1) Une stratégie pour limiter les effets de la perte d'habitat et de la fragmentation

Parmi les causes majeures de l'érosion de la biodiversité figurent la fragmentation et la destruction des habitats, qui résultent des activités humaines. La viabilité des populations d'espèces se trouve ainsi réduite sur le long terme à cause de la perte globale d'habitats, la réduction de la taille des fragments d'habitats et l'augmentation de leur isolement (*Bergès et al., 2010*). La création de discontinuités limite voire empêche progressivement les échanges entre populations ; les mouvements entre les taches d'habitats sont pourtant nécessaires pour renforcer les populations locales en déclin, recoloniser les habitats où les populations locales ont disparu, et coloniser les habitats nouvellement disponibles (Bennett, 2003).

La fragmentation des habitats a ainsi des conséquences à plusieurs niveaux :

- à court terme, elle diminue les territoires accessibles pour les individus ;
- à moyen terme, elle entrave les échanges génétiques entre les différentes populations d'une même espèce, ce qui peut entraîner des extinctions locales si la consanguinité devient trop forte ;
- et sur le long terme, elle restreint les possibilités d'ajustement d'aire de répartition pour une espèce donnée.

Taylor définit la connectivité comme le « degré à partir duquel le paysage facilite ou freine les déplacements entre les différentes taches d'habitat » (*Taylor, 1993 in Bennett, 2003*). Un territoire qui aura une bonne connectivité est un territoire qui favorisera la dispersion des espèces entre différents habitats, que ce soit pour chercher des ressources, se reproduire ou pour s'abriter (*Bennett, 2003 ; Burel et Baudry, 1999*). Le paysage est perçu et utilisé différemment selon les espèces voire selon les communautés. Un même paysage peut donc avoir une bonne connectivité pour certaines espèces, et une faible connectivité pour d'autres (*Bennett, 2003*).

Afin de compenser les effets négatifs liés à la perte d'habitats et à leur fragmentation, les biologistes de la conservation ont ainsi conseillé d'accroître la connectivité des habitats naturels dans le paysage, qui est devenue un fort enjeu pour la conservation de la biodiversité (*Bennett, 2003*). L'amélioration de la connectivité figure ainsi à la première place des recommandations pour les stratégies d'adaptation au changement climatique en matière de gestion de la biodiversité (*Heller et Zavaleta, 2009*). En effet, le changement climatique entraîne des changements géographiques des conditions bioclimatiques et une meilleure connectivité permettrait à de nombreuses espèces de se déplacer afin de conserver des conditions favorables à leur cycle de vie (*Bergès et al., 2010*).

Les réseaux écologiques visent au maintien de la biodiversité et des processus écologiques par la protection des habitats et de leur connectivité. C'est ainsi que leur étude est devenue un fort enjeu pour la conservation de la biodiversité. Depuis plusieurs années, les engagements politiques nationaux et internationaux se développent en ce sens, à l'image de la France qui s'est engagée à mettre en place la Trame Verte et Bleue sur son territoire national.

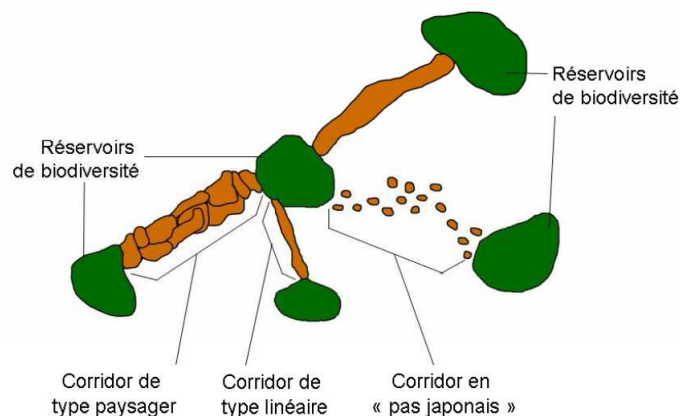
## 2) La Trame Verte et Bleue et les réseaux écologiques

La Trame Verte et Bleue, un des engagements phares du Grenelle de l'Environnement, vise à maintenir et reconstituer un réseau de continuités écologiques afin de contribuer à l'état de conservation favorable des habitats naturels et des espèces et au bon état écologique des masses d'eau. Dans un contexte actuel de destruction et de fragmentation des habitats naturels, elle permet ainsi d'œuvrer à la préservation de la biodiversité et aux services rendus par les écosystèmes, en facilitant les déplacements et l'adaptation des espèces au changement climatique (*Brouard-Masson et al., 2013*).

Plus concrètement, la Trame Verte et Bleue (TVB) est un réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques. Ces continuités comprennent des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques (Figure 1).

Les **réservoirs de biodiversité** sont « des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement en ayant notamment une taille suffisante, qui abritent des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent ou qui sont susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations d'espèces » (Centre de ressources TVB, 2015).

Les **corridors écologiques** assurent « des connexions entre des réservoirs de biodiversité, offrant aux espèces des conditions favorables à leur déplacement et à l'accomplissement de leur cycle de vie. Les corridors écologiques peuvent être linéaires, discontinus ou paysagers » (Centre de ressources TVB, 2015).



**Figure 1 - Exemple d'éléments de la Trame Verte et Bleue : réservoirs de biodiversité et types de corridors (Allag-Dhuisme et al., 2010)**

Les figures suivantes illustrent les différents niveaux de fonctionnalité d'un paysage pour une espèce d'amphibien, qui utilise différentes sous-trames durant son existence : les adultes passent le plus clair de leur temps en forêt (sous-trame forestière), mais migrent au printemps pour se reproduire dans les mares (sous-trame aquatique). Lors de leur déplacement, les adultes comme les juvéniles privilégient les secteurs plutôt humides et ombragés, et peuvent utiliser des éléments linéaires du paysage comme des fossés (sous-trame des zones humides) ou des haies (sous-trame forestière), mais aussi traverser des

prairies (sous-trame des milieux ouverts). Les conséquences de la fragmentation du paysage sont illustrées dans la figure 3.

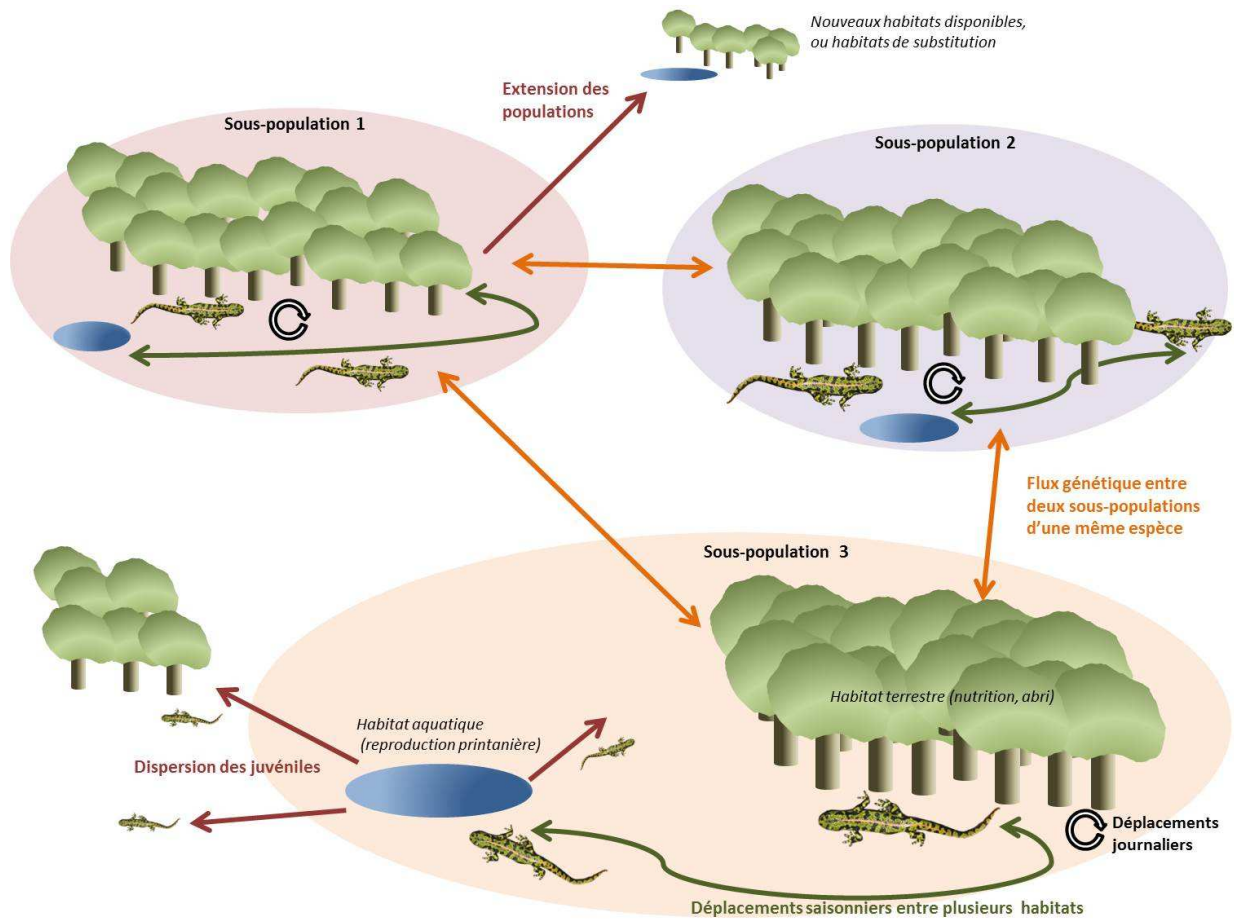


Figure 2 - Fonctionnalité des corridors écologiques, à travers l'exemple d'une espèce, le Triton marbré

Adaptée, d'après Nature Midi Pyrénées (2013)

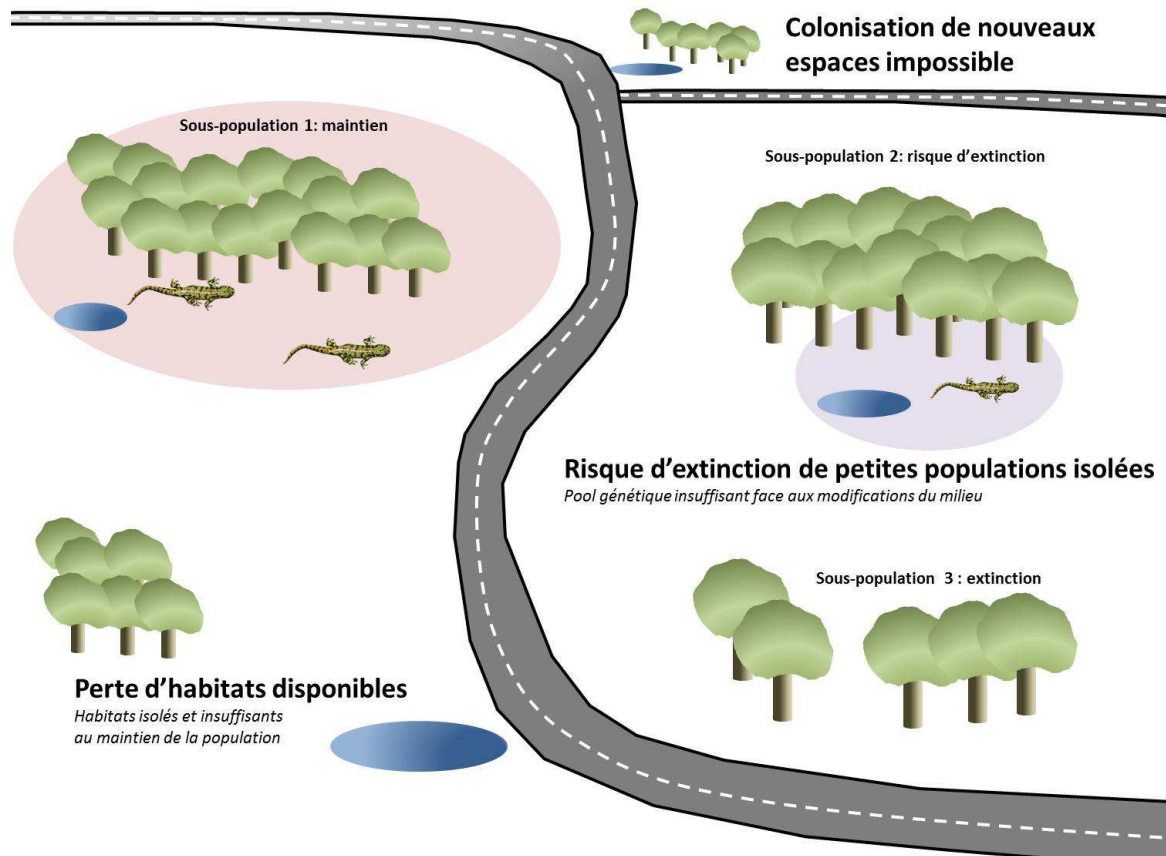


Figure 3 - Conséquences de la fragmentation du paysage par le réseau routier pour une espèce, le Triton marbré

Adaptée, d'après Nature Midi Pyrénées (2013)

### 3) Une approche non systématique

Depuis plus d'une quinzaine d'années, le rôle des corridors fait l'objet d'un débat scientifique et de nombreuses recherches sur le sujet ont été menées (Beier et Noss, 1998 ; Bennett, 2003 in Bergès et al., 2010). Les travaux de synthèse les plus récents mettent en évidence un effet globalement positif des connectivités sur la dispersion des espèces (Beier et Noss, 1998 ; Bennett, 2003 ; Gilbert-Norton, 2010 in Bergès et al., 2010), mais cette partie vise à rappeler que le choix de la reconnexion n'est pas systématiquement le plus judicieux.

#### a) Des effets négatifs à prendre en considération

Bien que présentant de nombreux avantages, les connexions peuvent parfois avoir des effets négatifs sur la biodiversité qu'il est important de considérer (cf. tableau de synthèse ci-après issu des travaux de Bennett – 2003).

**Tableau 1 - Avantages et inconvénients de la connectivité pour la conservation de la biodiversité**

Reported advantages	Reported disadvantages
<p>1 Assist the movement of individuals through disturbed landscapes, including:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wide-ranging species that move between habitats on a regular basis;</li> <li>• nomadic or migratory species that move between irregular or seasonally-varying resources;</li> <li>• species that move between habitats at different stages of their life-cycle.</li> </ul> <p>2 Increase immigration rates to habitat isolates which could:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maintain a higher species richness and diversity;</li> <li>• supplement declining populations, thus reducing their risk of extinction;</li> <li>• allow re-establishment following local extinction;</li> <li>• enhance genetic variation and reduce the risk of inbreeding depression.</li> </ul> <p>3 Facilitate the continuity of natural ecological processes in developed landscapes.</p> <p>4 Provide habitat for many species including:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• refuge and shelter for animals moving through the landscape;</li> <li>• plants and animals living within linkages.</li> </ul> <p>5 Provide ecosystem services such as maintenance of water quality, reduction of erosion, and stability of hydrologic cycles.</p>	<p>1 Increase immigration rates to habitat isolates which could:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• facilitate the spread of unwanted species such as pests, weeds and exotic species;</li> <li>• facilitate the spread of disease;</li> <li>• introduce new genes which could disrupt local adaptations and co-adapted gene complexes (outbreeding depression), and promote hybridization between previously disjunct taxonomic forms (races, sub-species).</li> </ul> <p>2 Increase exposure of animals to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• predators, hunting or poaching by humans, or other sources of mortality (e.g. road kills);</li> <li>• competitors or parasites.</li> </ul> <p>3 Act as 'sink habitats' in which mortality exceeds reproduction, and thus functions as a 'drain' on the regional population.</p> <p>4 Facilitate the spread of fire or other abiotic disturbances.</p> <p>5 Establishment and management costs could reduce the resources available for more effective conservation measures, such as the purchase of habitats for endangered species.</p>

Les reconnexions ou corridors, d'origine naturelle ou anthropique, peuvent ainsi :

- augmenter la propagation des maladies et l'invasion par les espèces exotiques, notamment le long des cours d'eau et des routes, et introduire de nouveaux gènes néfastes aux populations ;
- favoriser l'exposition des espèces à leurs prédateurs, compétiteurs ou parasites ;
- agir comme des puits pour certaines espèces. Une étude a ainsi montré que la présence de haies (corridors) pouvait jouer un rôle défavorable pour un coléoptère carabique forestier en cas de fragmentation forestière importante. En effet, ces haies attirent les individus vivant au sein des tâches forestières qui se retrouvent dans la matrice agricole, où leur taux de survie est faible (*Pichancourt et al., 2006 in Bergès et al., 2010*) ;

- faciliter dans certaines régions la progression du feu ou d'autres perturbations d'origine abiotique.

### **b) Des connaissances encore déficitaires**

Les mécanismes impliqués dans le rôle des corridors dans le fonctionnement des systèmes écologiques ne sont pas encore totalement compris. L'état des connaissances actuel ne permet notamment pas de prouver que les éléments de continuité ont un rôle positif dans le paysage suffisant pour compenser les effets néfastes de la fragmentation des habitats sur la biodiversité (*Bergès et al., 2010*).

Très peu d'études ont cependant montré des effets délétères en ce qui concerne les corridors construits ou préservés dans un but de conservation (*Beier et Noss, 1998 in Bergès et al., 2010*). Les problèmes rencontrés sont davantage liés aux corridors artificiels (dépendances vertes le long des routes ou voies ferrées notamment), et concernent surtout les espèces exotiques ou invasives. Cependant, celles-ci ayant des capacités de dispersion naturellement très élevées, la colonisation dans de nouveaux habitats n'est peut-être pas nécessairement augmentée par la restauration de corridors. En revanche, les espèces patrimoniales pourraient nettement bénéficier des corridors car elles ont souvent des capacités de dispersion plus faibles. Enfin, la plupart des impacts négatifs peuvent être évités si la création d'un corridor fait l'objet d'une réflexion préalable quant à sa localisation et de mesures de gestion adaptées (*Bergès et al., 2010*).

### **c) Une approche raisonnée et concertée à favoriser**

Toutes les connexions ne sont donc pas forcément positives pour la conservation de la biodiversité. C'est pourquoi il est nécessaire de réfléchir en amont aux effets négatifs potentiels d'une reconnexion, et de ne la mettre en place que si ces derniers ne l'emportent pas sur les bénéfices, bien qu'il soit souvent difficile d'évaluer toutes les conséquences de la création d'un corridor (*Bennett, 2003*).



Ainsi, la Trame Verte et Bleue (TVB) n'impose pas d'identifier des connexions entre tous les espaces de biodiversité présents sur un territoire. L'idée n'est pas de tout connecter « à tout prix ». La pertinence d'une connexion doit être évaluée grâce aux diagnostics préalables à l'identification de la TVB. Si la pertinence de l'isolement naturel de certains espaces pour la conservation de la biodiversité est démontrée, des réservoirs de biodiversité peuvent être intégrés dans la TVB, sans pour autant avoir vocation à être reliés entre eux (cf. article R. 371-19 du code de l'environnement) (*Centre de ressources TVB, 2015*).

Un autre facteur important à noter est que le choix de la reconnexion peut dans certains cas être une option moins rentable que d'autres mesures de conservation. Les corridors peuvent en effet parfois être trop coûteux à mettre en place ou avoir un intérêt limité par rapport à une autre utilisation des ressources dédiées à la préservation de la biodiversité (*Bennett, 2003*).

De plus, la restauration des continuités ne consiste pas à créer un paysage artificiel mais davantage à revenir à un ancien état où les espaces naturels étaient moins fragmentés et moins dégradés. Les corridors existants doivent donc être conservés en priorité selon le principe de précaution. Il est logique de chercher à compenser la fragmentation étant donné le **grand nombre de preuves sur son impact sur la biodiversité** (*Bergès et al., 2010*).

Enfin, il est nécessaire de rappeler que la connectivité n'est pas l'unique réponse à la fragmentation et la dégradation des habitats naturels. La quantité et la qualité des habitats naturels doit être également prise en compte dans un but de préservation de la biodiversité, et cela grâce à une diminution de la pression anthropique sur les milieux naturels, l'accroissement des zones protégées, l'amélioration de la qualité de la matrice (*Bergès et al., 2010*). L'intégration des enjeux de biodiversité doit être effectuée dans tous les processus d'aménagement du territoire. Limiter l'artificialisation des espaces d'une part, et contribuer aux réseaux écologiques d'autre part, constituent pour ces raisons deux approches complémentaires œuvrant pour le maintien de la biodiversité.

## II) Réseaux écologiques et échelles pertinentes d'action

### 1) Une approche multi-scalaire

Les problèmes de conservation existant à plusieurs échelles spatio-temporelles et à plusieurs niveaux d'organisation biologique, les stratégies de conservation peuvent s'appliquer de la même façon à de multiples échelles (Noss, 1991). Ainsi, afin de préserver des communautés naturelles viables et l'intégrité des processus écologiques, ces stratégies doivent notamment faire en sorte qu'une connectivité effective soit maintenue sur un large éventail d'échelles spatiales (Noss and Harris 1986 ; Noss 1991 in Bennett, 2003). L'échelle optimale pour la planification et la gestion de la connectivité des habitats dépend de l'objectif choisi.

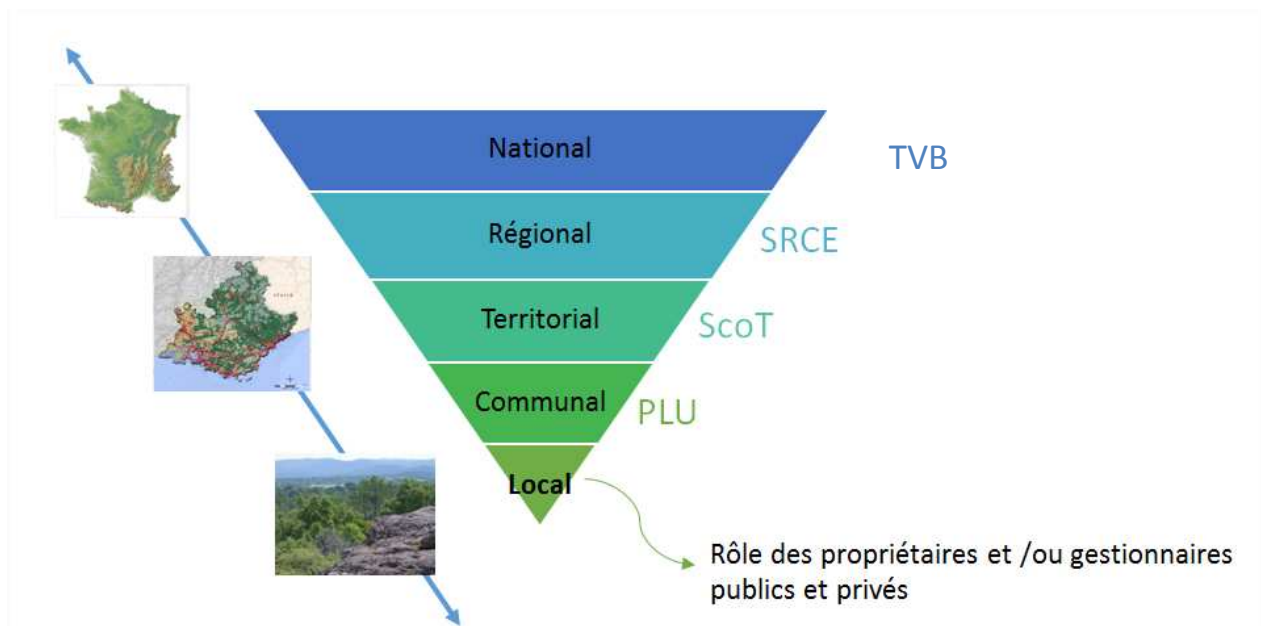


Figure 4 - Emboîtement des échelles de prise en considération des réseaux écologiques

Dans le cadre spécifique de la Trame Verte et Bleue, les stratégies de prises en compte des réseaux écologiques peuvent également être définies à différentes échelles spatiales (Centre de ressources TVB, 2015). Ces dernières correspondent à différents niveaux de leviers d'actions potentiels (Europe, territoire national, Région, Département...) où chaque niveau doit être en cohérence avec le niveau supérieur. De plus, ces stratégies, qui s'inscrivent dans

un paysage écologique complexe et multi-acteurs, doivent prendre en compte des facteurs non environnementaux comme les aspects socioéconomiques :

- Ainsi à l'échelle nationale, une cohérence est visée sur l'ensemble du territoire et un cadre de travail national est fixé par l'État. La loi Grenelle II prévoit ainsi l'élaboration « d'orientations pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques » (*Ministère de l'environnement, de l'Energie et de la Mer, 2014*) ;
- La Trame Verte et Bleue s'identifie aussi à l'échelle régionale via les Schéma Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE). Notons qu'avec la promulgation le 7 août 2015 de la loi portant sur la Nouvelle Organisation Territoriale de la République (loi NOTRe), des SRADDET (Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires) devront être produits, qui fusionneront différents documents sectoriels ou schémas existants, dont les SRCE. A l'échelle régionale, des plans d'actions stratégiques concernant des politiques d'aménagements (transports, urbanisme...) sont élaborés ;
- La Trame Verte et Bleue se décline également à l'échelle départementale, au travers notamment de la politique ENS (Espace Naturel Sensible), de la gestion des infrastructures routières ou de l'aménagement foncier agricole ;
- A l'échelle d'un territoire, le Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) planifie un réseau de corridors écologiques intercommunal, dans l'objectif de limiter la fragmentation et de protéger de toute urbanisation les espaces nécessaires au maintien de la biodiversité urbanisation. Citons également la mise en œuvre d'expérimentations et d'outils contractuels tels que les PNR (Parcs Naturels Régionaux), les intercommunalités ou les SAGE (Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux) ;
- A l'échelle communale, les plans locaux d'urbanisme (PLU) peuvent également participer à l'élaboration d'une Trame Verte et Bleue en définissant le devenir des espaces naturels, forestiers et agricoles. Ils maîtrisent ainsi l'étalement urbain et le morcellement du territoire à leur échelle ;
- Il est enfin possible de participer à la Trame Verte et Bleue à l'échelle locale ou individuelle. Ce sont alors les aménageurs et/ou les gestionnaires, publics ou privés, ou tout acteur cherchant à réduire son impact sur l'environnement, qui peuvent

jouer un rôle dans le maintien ou le renforcement des réseaux écologiques (agriculteurs, forestiers, associations, citoyens, etc.). **C'est à cette échelle également que se situe l'action des entreprises par l'aménagement de leur site et la réduction de leur impact sur l'environnement.**

Dans le but de maintenir et de rétablir un maillage écologique cohérent, l'emboîtement et la complémentarité des différentes échelles est indispensable (*Centre de ressources TVB, 2015*). Une mobilisation à toutes ces échelles est donc primordiale, et l'action des entreprises s'inscrit ainsi au niveau le plus local de la mise en œuvre de la Trame Verte et Bleue. Mettre en œuvre la TVB suppose en effet de s'appuyer sur les moyens d'action de chacun, que ce soit la mise en place d'actions spécifiques pour préserver ou remettre en bon état des espaces importants pour la biodiversité, ou le maintien et l'adoption de bonnes pratiques (*Landas, 2013*). Ainsi, les trames locales sont fondamentales : elles assurent les besoins de connectivité à cette échelle, mais sont également en connexion avec les réseaux d'ordre supérieur, qui garantissent des déplacements sur de plus grandes distances (*Amsallem et al., 2010*). A l'inverse, une perturbation localisée peut ainsi avoir un impact sur les voies de dispersion à large échelle (*Pinto and Keitt 2009 in Spaggiari et al., 2010*).

## 2) Spécificités de l'échelle locale

Selon les échelles d'étude, différentes formes de configuration de l'habitat peuvent améliorer la connectivité. Bennett (2003) les résume dans le Tableau 2.

**Tableau 2 - Les configurations du paysage pour améliorer la connectivité pour les populations animales à différentes échelles spatiales (Bennett, 2003)**

Landscape configuration	Local scale ( 1 km)	Landscape scale (1 – 10s kms)	Regional or biogeographic scale (100 – 1000s kms)
<i>Habitat corridor</i>	hedgerows; fencerows; streams; roadsides; forest corridors; underpasses	rivers and associated riparian vegetation; broad links between reserves	major river systems; mountain ranges; isthmus between land masses
<i>Stepping stones</i>	patches of plants; small woods; plantations; chains of small wetlands	series of small reserves; woodland patches in farmland; urban parks	chains of islands in an archipelago; wetlands along waterfowl flight paths; alpine habitats along a mountain chain
<i>Habitat mosaics</i>	patchily cleared vegetation in farmland; mosaic of gardens and parks in cities	mosaics of regenerating and old-growth forest in forest blocks	regional soil mosaics supporting different vegetation communities

Ainsi, à l'échelle locale, ce sont des éléments tels que les haies, la végétation en bordure de route, les corridors forestiers, les petits bois ou les petites zones humides qui vont assurer la connectivité, et aider les espèces dans leurs déplacements, de quelques mètres à plusieurs kilomètres au travers d'un paysage modifié (Bennet, 2003).

Bien que l'ensemble des connexions établies à l'échelle locale puisse avoir un effet sur la connexion à plus large échelle, certaines espèces sont davantage susceptibles de bénéficier d'une augmentation de la connectivité à l'échelle d'un site, notamment celles dont la capacité de dispersion est relativement faible. D'une façon générale, les oiseaux, les chauves-souris et les insectes volants ont une plus grande mobilité que les reptiles, les micromammifères ou les insectes non volants. Les animaux corpulents ont régulièrement tendance à se déplacer plus loin que ne le font les espèces plus petites et les espèces carnivores parcourent de plus grandes distances pour se nourrir que les herbivores sédentaires. Ces différentes échelles de mouvement impliquent un besoin de connexion entre les ressources à une échelle pertinente pour chaque espèce (Bennett, 2003). Il n'y a donc pas de solution générale répondant aux besoins de toutes les espèces, une continuité pouvant ainsi ne pas être intéressante pour certaines espèces, ou au contraire être particulièrement utile pour d'autres. Par exemple, aménager une petite haie champêtre sera bénéfique à des micro-mammifères, mais ne sera pas très utile pour un Cerf élaphe (*Cervus elaphus*). A l'échelle locale, il est difficile de démontrer que chaque petite continuité du

paysage augmente le mouvement des espèces animales cibles (*Rosenberg et al. 1997 in Soulé et Terborgh, 1999*), mais le fait de promouvoir le mouvement d'individus entre des fragments d'habitats peut augmenter la persistance des populations et la survie des espèces locales (*Forney and Gilpin 1989, Fahrig and Merriam 1994, Sjogren and Wyoni 1994, Hanski et al. 1995, Beier and Noss 1998 in Soulé et Terborgh, 1999*).

Les actions menées sur les sites en prenant en compte leur contexte paysager peuvent dans une moindre mesure améliorer la connectivité à l'échelle du paysage. C'est en effet une échelle dont la prise en compte est indispensable pour la survie d'espèces utilisant par exemple des corridors pour les mouvements saisonniers au sein de la mosaïque du paysage, ou pour les espèces nécessitant des habitats variés tout au long de leur cycle de vie (*Noss, 1991*). Cependant, *Bennett (2003)* rappelle que si les continuités à l'échelle régionale et biogéographique sont également bénéfiques à la biodiversité à des échelles plus fines dans la hiérarchie spatiale, les continuités plus locales telles qu'une connexion forestière entre deux fragments d'habitat contribuent de façon limitée au maintien de la biodiversité à une échelle régionale.

Une meilleure compréhension de l'utilisation des connexions à différentes échelles par différentes espèces est nécessaire. Les exemples à l'échelle locale sont les plus documentés, et concernent des animaux observés en train d'utiliser des corridors pour effectuer de courtes distances au travers des terres défrichées, le plus souvent en contexte rural. C'est pourtant plutôt à l'échelle du paysage ainsi qu'aux échelles régionale et continentale, que la connectivité est particulièrement importante dans la stratégie de conservation et que des propositions de gestion des terres sont effectuées (*Scheck 1991; Ahern 1995; Jongman 1995; Kube\_ 1996 in Bennett, 2003*).

### III) Réseaux écologiques et sites industriels

#### 1) Importance du contexte paysager

Les sites industriels sont très divers du fait du contexte paysager dans lequel ils s'inscrivent (urbanisé, rural, proximité ou non avec des espaces naturels remarquables), leur superficie et le degré de « naturalité » (disparités entre sites ouverts ou fermés notamment). Or, les marges d'action pour favoriser la Trame Verte et Bleue à l'échelle d'un site sont très dépendantes du contexte paysager.

Il peut donc être particulièrement intéressant d'étudier et de chercher à améliorer l'insertion des sites dans les réseaux écologiques lorsque ceux-ci sont situés dans des contextes peu favorables à la biodiversité, tels que des zones très fortement urbanisées ou dominées par les cultures intensives. En effet, les espaces verts et les jardins jouent par exemple un rôle important pour la conservation de la biodiversité dans les villes (*Goddard et al., 2009*). En Ile de France, les espaces verts d'entreprises occupent près de 9000 ha et représentent 8 % de la trame herbacée, d'après *Serret (2014)*. De même, les réseaux d'habitats linéaires sont reconnus comme étant des éléments indispensables pour le maintien de la connectivité du paysage dans les régions où les zones naturelles sont très petites et dispersées (*Agger et Brandt 1988 ; Gulinck et al 1991 ; Kaule 1995 ; Burel 1996 ; Kube\_ 1996 in Bennett, 2003*). Une étude sur les espaces verts d'entreprises en milieu urbain montre ainsi que leur contribution aux réseaux écologiques est faible en termes de surface mais que ces espaces jouent cependant un rôle important en ce qui concerne les liens créés avec les autres espaces verts et leur positionnement stratégique (*Serret, 2014*). Les sites industriels comprenant des habitats naturels et adoptant des pratiques en faveur de la biodiversité pourraient ainsi jouer un rôle non négligeable dans le maintien voire la restauration de continuités en contexte peu favorable à la biodiversité.

Cependant, il est à noter que la fonctionnalité d'un site risque d'être contrainte si celui-ci est situé à proximité de zones fortement urbanisées. Le tissu bâti, peu perméable, agit comme un filtre à la dispersion des espèces locales, ce qui pourrait diminuer la probabilité que les espèces le colonisent et affecter leur succès reproducteur.

Par conséquent, si à l'inverse, un site est situé au sein d'un réseau d'espaces naturels remarquables, le succès d'une action visant à la préservation ou la restauration de la connectivité pourrait être plus fort, et permettrait de densifier les connexions écologiques au sein de ce réseau (*Bourdil et Vanpeene-Bruhier, 2013*). Par contre, un tel site industriel situé dans un contexte écologique remarquable est susceptible d'agir comme un élément fragmentant au sein du paysage, si sa perméabilité n'est pas optimale. Il peut donc être pertinent de mener des actions visant à augmenter cette perméabilité. Il convient alors d'éviter que le site soit attractif pour des espèces sans permettre de les accueillir réellement, ce qui risque de les détourner d'autres sites plus favorables (« effet puits »). Par exemple, des bassins bâchés peuvent attirer des amphibiens pour leur reproduction, alors que les jeunes nés ensuite seront incapables de s'en échapper.

La Figure 5 décrit les éléments à prendre en compte pour identifier les réseaux écologiques au sein du contexte paysager d'un site.



## A L'ECHELLE DU PAYSAGE

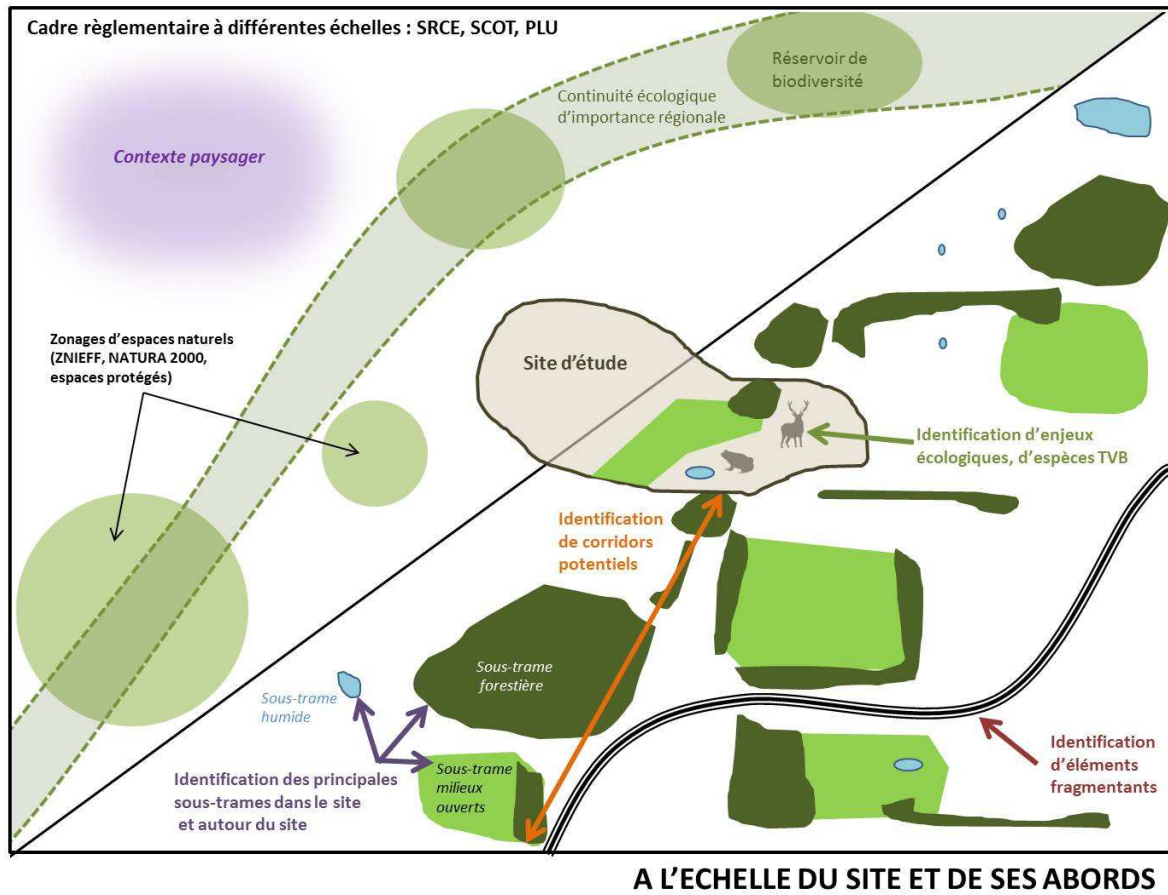


Figure 5 - Éléments à prendre en compte pour identifier les réseaux écologiques

## 2) Réseaux écologiques dans une stratégie d'entreprise

La question des réseaux écologiques mérite d'être prise en considération à tous les niveaux de la stratégie d'une entreprise. L'objectif général est de limiter l'impact des activités et des usages sur les réseaux écologiques, et de réduire la fragmentation du paysage.

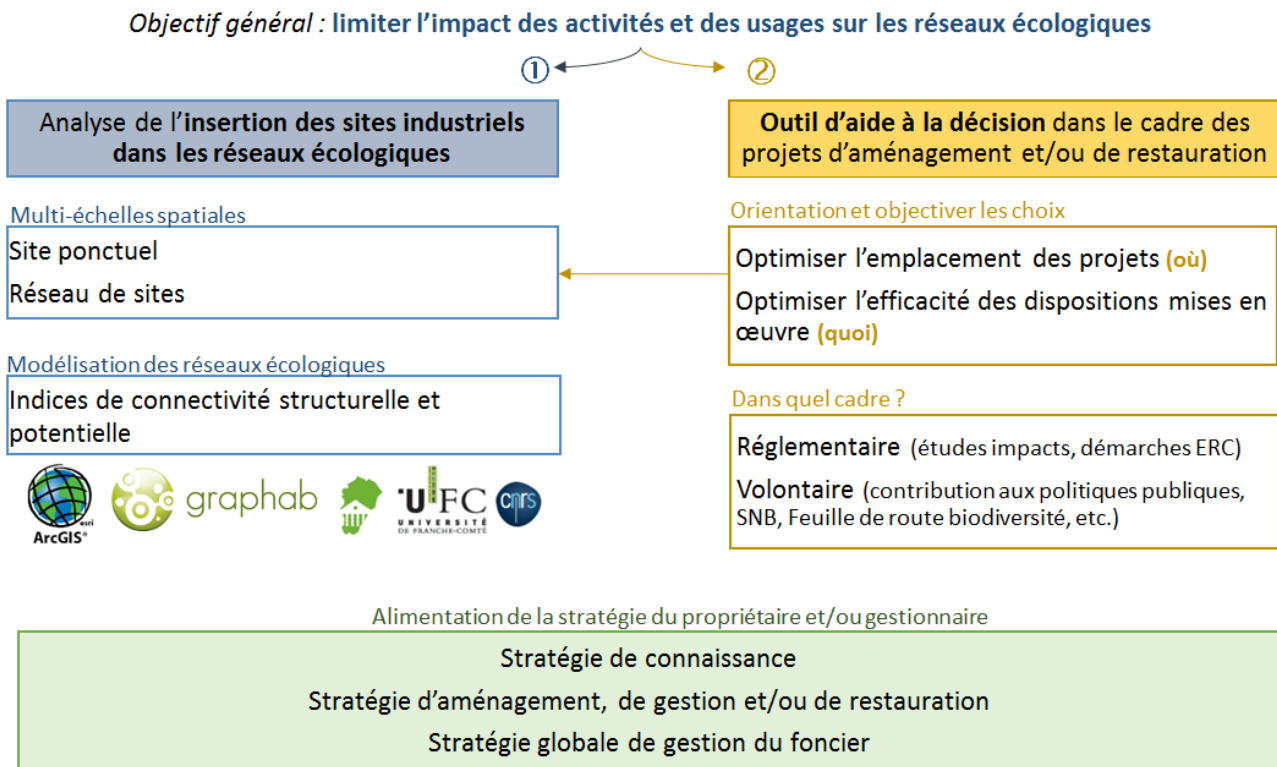
Ceci peut donc se décliner au niveau de la stratégie globale de l'entreprise, par exemple dans le cadre d'une démarche volontaire telle que l'adhésion à la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB). Les questions de fragmentation doivent aussi être considérées à l'échelle d'un site, que ce soit pour des raisons réglementaires, comme dans un contexte de bonnes pratiques en faveur de la biodiversité.

Concrétisation de l'engagement français au titre de la Convention sur la diversité biologique, la France a lancé sa première Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) en 2004. Pour rappel, la SNB 2011-2020 vise à « produire un engagement important des divers acteurs, à toutes les échelles territoriales, en métropole et en outre-mer, en vue d'atteindre les objectifs adoptés. Elle fixe pour ambition commune de préserver et restaurer, renforcer et valoriser la biodiversité, en assurer l'usage durable et équitable, réussir pour cela l'implication de tous et de tous les secteurs d'activité. Six orientations complémentaires réparties en vingt objectifs, couvrent tous les domaines d'enjeux pour la société. » (MEEM, 2012).

Une des grandes orientations stratégiques de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité est de préserver le vivant et sa capacité à évoluer. Ainsi, il s'agit de veiller sur l'état de conservation de toutes les formes du vivant, en maintenant, renforçant ou restaurant la diversité des espèces et la qualité des écosystèmes. Mais il est également rappelé l'importance de permettre aux espèces de se déplacer par des aménagements adaptés, ainsi que l'enjeu clef de la mise en œuvre de la Trame Verte et Bleue.

La prise en compte des réseaux écologiques dans la stratégie d'entreprise est donc tout à fait pertinente et peut s'inscrire dans le cadre de ses engagements SNB. Elle peut alimenter

plus largement la stratégie d'entreprise à différents niveaux. Elle permet en effet d'alimenter la stratégie de connaissance, en apportant de nouvelles données sur les milieux naturels et les espèces. Elle contribue aussi aux stratégies d'aménagement, de gestion voire de restauration du foncier. Enfin, elle peut participer à une stratégie globale de gestion du foncier, en priorisant les actions et leurs localisations.



Alimentation de la stratégie du propriétaire et/ou gestionnaire

**Stratégie de connaissance**

Stratégie d'aménagement, de gestion et/ou de restauration

Stratégie globale de gestion du foncier

Figure 6 - Place des réseaux écologiques dans une stratégie d'entreprise

### 3) Liens avec les autres démarches initiées en faveur de la biodiversité

Par ailleurs, beaucoup d'actions en faveur de la biodiversité peuvent également contribuer au renforcement de l'intégration des sites industriels dans les réseaux écologiques.

Par exemple, la mise en place d'une action de type « gestion différenciée » peut tout à fait être une approche complémentaire à la prise en compte des continuités écologiques. Cette gestion des espaces naturels consiste à assigner des objectifs différents pour chaque

parcelle, que ce soit en termes visuels, écologiques ou opérationnels, en y appliquant les méthodes de gestion les mieux adaptées. Ceci permet à la fois d'améliorer le contexte écologique en diminuant l'artificialisation et les dérangements et en favorisant les processus naturels. Les modes de gestion sont ainsi rationalisés en déterminant les besoins de manière précise. Une telle gestion des espaces permet de concilier la pérennisation de l'activité industrielle et la préservation de l'environnement. Si certaines zones nécessitent un entretien intensif et régulier, d'autres peuvent être soumises à un régime d'entretien moins strict, en laissant le champ libre au développement de la végétation. En favorisant notamment la diversification des paysages et des écosystèmes et en les rendant plus accueillants pour la faune et la flore, la mise en place d'une gestion différenciée sur un site industriel peut ainsi se révéler bénéfique pour les continuités écologiques.

De même, la création d'habitats sur un site, par exemple par la plantation de haies champêtres ou le creusement de mares, ou la suppression de barrières ou de pièges à faune, sont des mesures qui peuvent contribuer à améliorer les possibilités de déplacement de certaines espèces.

#### 4) Contraintes réglementaires pour les ISD

Les Installations de Stockage de Déchets (ISD) sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). A ce titre, elles sont soumises à une réglementation spécifique, définie en particulier par l'Arrêté du 09/09/97, modifié par l'Arrêté du 15 février 2016, relatifs aux Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux. Certains impératifs réglementaires peuvent interférer avec les réseaux écologiques potentiels :

- L'accès à l'installation de stockage doit être limité et contrôlé. A cette fin, l'installation de stockage est clôturée par un grillage en matériaux résistants d'une hauteur minimale de 2 mètres, positionné à une distance d'au moins 10 mètres de la zone à exploiter. Ces clôtures doivent empêcher l'intrusion de la faune (et des personnes). La clôture du site est maintenue durant le suivi post-exploitation ;
- L'intégration paysagère de l'exploitation passe fréquemment par la plantation de linéaires de haies ou de bosquets, qui peuvent constituer des relais pour les continuités bocagères et forestières ;

- « L'installation est exploitée de façon que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits aériens ou de vibrations mécaniques susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une gêne pour sa tranquillité. » Certains bruits ou vibrations liés à l'exploitation sont cependant susceptibles de générer des nuisances pour les espèces pouvant fréquenter le site, de même que les émissions de gaz ou de poussières ;
- « Les abords du site sont débroussaillés de manière à éviter la diffusion éventuelle d'un incendie s'étant développé sur le site ou, à l'inverse, les conséquences d'un incendie extérieur sur le stockage. » Les espaces débroussaillés peuvent constituer des espaces de substitution pour les cortèges de milieux ouverts, s'ils sont gérés de manière adaptée. Gérés trop intensivement, ils peuvent au contraire générer des effets puits (attraction des espèces de milieux ouverts, qui sont systématiquement détruites lors des débroussaillages, sans permettre le renouvellement de la population) ;
- « L'exploitant prend les mesures nécessaires pour lutter contre la prolifération des rongeurs, des insectes et des oiseaux, en particulier, pour ces derniers, au voisinage des aérodromes, dans le respect des textes relatifs à la protection des espèces ». La destruction de certaines espèces peut avoir des conséquences indirectes sur les zoocénoses locales (dissémination active de rongeurs empoisonnés agonisant, pouvant être ingérés par des prédateurs par exemple).

## 5) Insertion des ISD dans les réseaux écologiques

Les ISD, de par leur emprise foncière, peuvent engendrer une série d'impacts négatifs sur la biodiversité et jouer un rôle dans la rupture des continuités écologiques. Ainsi, la destruction directe de stations d'espèces et de milieux, l'artificialisation des sols, une gestion intensive, les pollutions potentielles (lumineuses, sonores, physico-chimiques...) sont autant d'éléments particulièrement néfastes pour la biodiversité et fragmentant pour le paysage.

Par ailleurs, plusieurs éléments de fragmentation liés à l'activité d'une ISD se retrouvent sur les sites exploités :

- les clôtures, qui entourent l'ensemble du site ainsi que certains éléments techniques (torchère, bassins d'eau pluviale et de lixiviats, unités de traitement...)

- les fossés, qui ceinturent le site pour les fossés externes recueillant les eaux pluviales, généralement à caractère assez naturel (fond minéral naturel, avec une végétation spontanée gérée de façon assez extensive, dans le cas le plus favorable pour la biodiversité). Les fossés internes, qui doivent recueillir les eaux ayant potentiellement été en contact avec les déchets, sont souvent très artificiels, bâchés ou bétonnés. Ils peuvent impacter grandement la perméabilité d'un site ;
- les bassins, souvent connectés avec les fossés, et qui peuvent eux aussi être plus ou moins impactant pour la faune terrestre selon leur configuration et leur revêtement ;
- les pistes, routes et autres voiries, qui représentent des surfaces 'stériles' peu favorables pour beaucoup d'espèces. Les déplacements de véhicules peuvent de plus représenter une menace pour certaines espèces, par collision directe. C'est le cas notamment pour les amphibiens, qui peuvent se déplacer sur les routes lors des nuits humides ;
- les bâtiments et espaces d'agrément (jardins horticoles, etc.), selon la configuration du site ;
- les éclairages, qui peuvent avoir un effet répulsif fragmentant (certaines chauves-souris par exemple fuient les lumières), ou au contraire attractif et létal (insectes attirés par la lumière) ;
- la présence de déchets accessibles concentre sur les ISD des espèces opportunistes ou charognardes (corneilles et corbeaux, mouettes et goélands, milans, étourneaux, cigognes, rongeurs...). Ces espèces, lorsqu'elles sont concentrées, peuvent avoir des conséquences sur les écosystèmes proches (concentration des déjections sur les zones dortoirs induisant un enrichissement local des sols ; concentration de déchets sous les perchoirs ; surexploitation locale des ressources alimentaires disponibles). Ces effets, peu connus et difficiles à quantifier, peuvent impacter la fonctionnalité du site et sa place dans les réseaux écologiques.

Cependant, certains éléments des ISD peuvent avoir un impact positif sur les réseaux écologiques. Les surfaces exploitées et réaménagées peuvent en effet constituer des milieux originaux et jouer un rôle non négligeable dans l'accueil d'un grand nombre d'espèces, y compris des espèces patrimoniales. Les bassins d'eau pluviale, les fossés humides et

plusieurs milieux pionniers peuvent par exemple offrir des habitats ou des zones relais pour beaucoup d'espèces. Les milieux à caractère naturel les plus fréquemment rencontrés dans les ISD sont les prairies, les friches, les haies et bordures, les bois et bosquets, et les fossés et plans d'eau. Certains habitats particulièrement remarquables se trouvent également parfois sur les sites, notamment les pelouses sèches (pelouses sèches calcicoles pionnières médio-européennes, pelouses calcaires subatlantiques semi-arides, pelouses sèches silicoles à Hélianthème à goutte), les cariçaies et jonçaies ou certaines mégaphorbiaies. Une partie des ISD peut donc, dans certains cas, participer à des réseaux d'habitats particulièrement rares. Les milieux créés sur une ISD sont parfois même davantage susceptibles de participer aux réseaux écologiques, leur richesse écologique étant plus élevée que celle des milieux exploités précédemment (culture intensive restituée en prairie extensive ou en pelouse pionnière par exemple) (*ECOSPHERE, SPN-MNHN, Llorens A.-M., SITA France, 2014*).

#### IV) Démarche et objectifs de l'étude

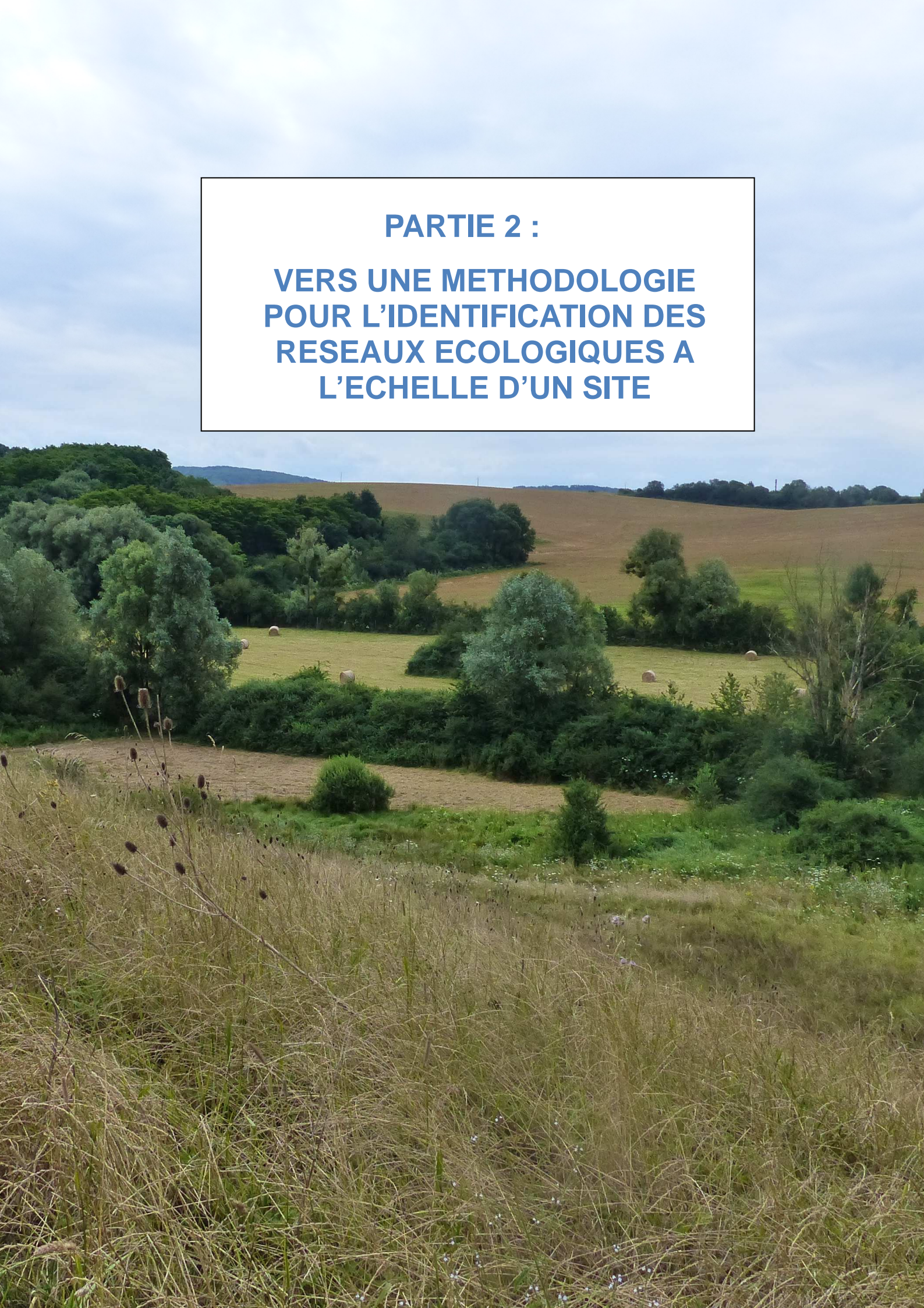
Cette étude vise à évaluer la participation des sites industriels aux continuités écologiques ainsi qu'à favoriser la prise en compte des réseaux écologiques par les entreprises, en particulier grâce au développement d'une démarche standardisée, pouvant être applicable sur l'ensemble du territoire métropolitain. Cette dernière vise à **étudier les réseaux écologiques à l'échelle d'un site**. Cette échelle locale correspond à une échelle opérationnelle, c'est-à-dire au territoire sur lequel le gestionnaire peut agir grâce à un aménagement et une gestion écologique pertinente de son site. Cet outil, une fois élaboré, doit constituer un outil d'aide à la décision à destination des gestionnaires de sites, pour orienter leurs choix d'aménagement ou de gestion, en toute connaissance de leurs conséquences potentielles sur les réseaux écologiques. La méthodologie doit ainsi permettre de modéliser de façon simple mais réaliste les corridors écologiques à l'échelle locale, de mettre en évidence les continuums naturels de déplacement des espèces et de cibler les zones à enjeux.

L'objectif de ce rapport est de présenter la démarche méthodologique mise en œuvre à l'échelle d'un site afin de mesurer sa connectivité, les premiers résultats obtenus sur les sites tests et leur analyse, ainsi que les perspectives.

Plus largement, un autre objectif de l'étude est de tester la plus-value des modélisations des réseaux écologiques par rapport au dire d'expert : l'investissement en temps nécessaire pour modéliser le paysage permet-il d'apporter une réelle plus-value ? Et cette plus-value est-elle la même selon les caractéristiques des sites ou les questions posées ?

N.B. : Un guide méthodologique à destination des gestionnaires des sites industriels synthétise les aspects à prendre en compte pour favoriser l'intégration des sites aux réseaux écologiques (Delzons et Thierry, 2017).



A landscape photograph showing a rural scene. In the foreground, there is a field of tall, dry grasses and some small purple flowers. The middle ground features a green field with several round hay bales, surrounded by various trees and shrubs. In the background, there are rolling hills, a dense forest on the left, and a large, open field under a cloudy sky.

**PARTIE 2 :**

**VERS UNE METHODOLOGIE  
POUR L'IDENTIFICATION DES  
RESEAUX ECOLOGIQUES A  
L'ECHELLE D'UN SITE**

## I) Etapes de la méthodologie

La construction d'une méthode répliquable de prise en compte des réseaux écologiques, à l'échelle d'un site, a nécessité plusieurs étapes successives :

- état des lieux des méthodes utilisées dans la littérature scientifique ;
- choix d'une approche par modélisation, via un logiciel dédié ;
- paramétrages des éléments utilisés en entrée (cartographie d'occupation des sols, espèces...);
- test sur un site pilote (stage de Master 2 de Vanille Thullier, 2016) ;
- affinage et poursuite des tests (stage de Master 2 d'Honorine Baldenweck, 2017).

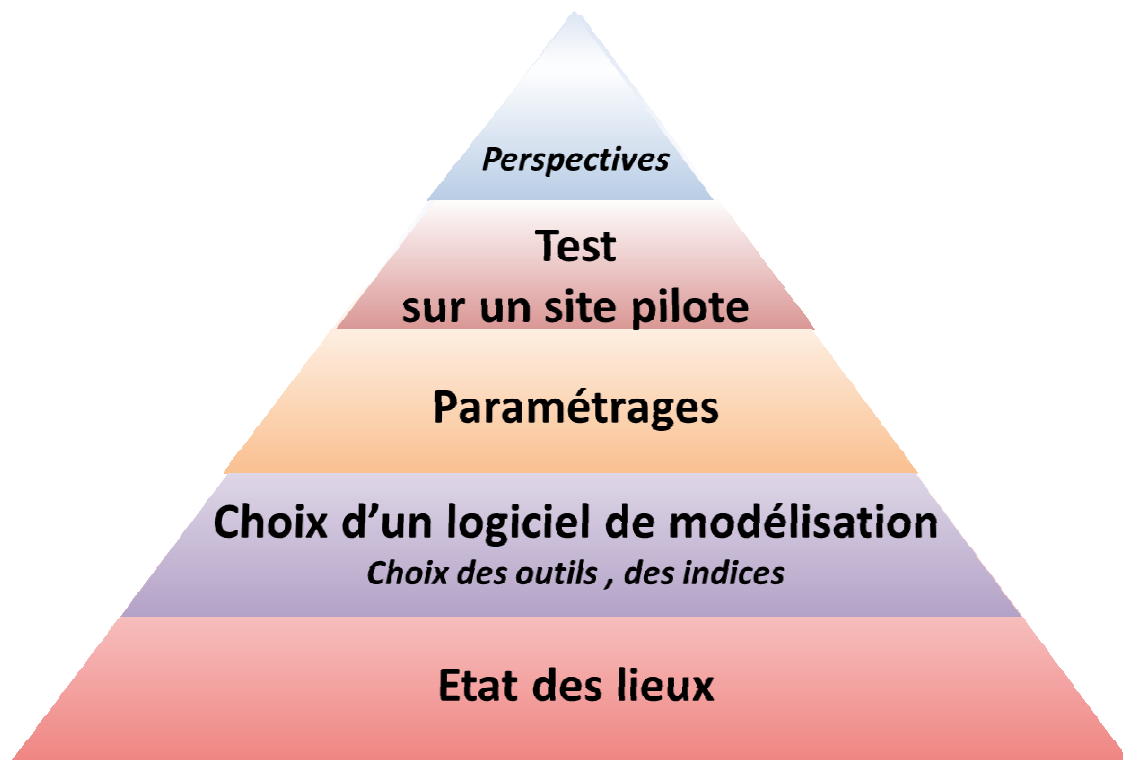


Figure 7 - Démarche méthodologique

## II) Etat des lieux des outils d'identification de corridors écologiques

### 1) De l'analyse de la connectivité structurelle à la théorie des graphes

Pour identifier et modéliser des corridors écologiques, un grand nombre de logiciels et d'outils cartographiques ont été développés. L'objectif est de sélectionner ceux qui se révèlent être les plus pertinents et les plus prometteurs vis à vis des objectifs visés par notre étude.

Parmi les critères de sélection, nous avons regardé en premier lieu si l'outil était en accord avec notre échelle d'analyse. En effet, la plupart des outils sont adaptés à des échelles nationales ou régionales (pour les SRCE ou SCOT par exemple, de l'ordre du 1/25000<sup>ième</sup>), et non à une échelle plus locale de l'ordre du 1/5000<sup>ième</sup> (*Centre de ressources de la Trame Verte et Bleue*).

Une première étape de la construction de cette méthode a donc été de réaliser un état des lieux des différents outils existants pour l'analyse de la connectivité. Trois grands types peuvent être distingués :

- les outils orientés vers une analyse de la **connectivité structurelle** qui correspond à une analyse spatiale des éléments constitutifs du paysage, comme c'est le cas avec la technique de dilatation-érosion ou encore la mesure de la distance euclidienne séparant deux taches d'habitat ;
- les outils intégrant des données d'espèces très précises, représentatives des déplacements réels des individus, obtenues par radio-télémetrie ou par la méthode de capture-marquage-recapture. Bien que ces méthodes basées sur la mesure de la **connectivité fonctionnelle réelle** soient plus informatives et réalistes, elles sont néanmoins relativement onéreuses et chronophages (*Avon et Bergès, 2014*) ;

- les outils utilisant la théorie des graphes (*Urban et Keitt, 2001*) qui permet d'intégrer à la fois des données de structure du paysage et de dispersion des espèces. Il s'agit de l'analyse de la **connectivité fonctionnelle potentielle** : c'est sur ce dernier type d'outils que notre choix s'est porté.

Les graphes obtenus par les outils utilisant la théorie des graphes sont constitués de nœuds (taches d'habitats favorables) et de liens (chemins où le déplacement est possible entre deux taches), calculés pour une espèce donnée (réelle ou fictive). Les liens représentent ainsi une connectivité fonctionnelle (*Serret, 2014*). Ces outils permettent de rendre compte de l'importance potentielle d'une tache d'habitat pour la connectivité et de la complexité de la dispersion entre les différentes taches. Cette approche offre donc un bon compromis entre le nombre de données d'entrée nécessaires et la qualité du résultat obtenu (*Avon et Bergès, 2014 ; Urban et Keitt, 2001 ; Foltête et al., 2013*). De nombreuses études se sont appuyées sur ces outils et ont démontré leur pertinence pour quantifier la connectivité d'un paysage (*Foltête et al., 2013 ; Galpern et al., 2011 ; Minor et Urban, 2008*).

## 2) Choix d'un logiciel de modélisation

Nous avons testé deux logiciels basés sur la théorie des graphes pour caractériser ces continuités écologiques. Le premier correspond à l'extension Spatial Analyst d'ArcGis© qui permet de visualiser les possibilités de déplacement des espèces selon un gradient de coût. Le second est le logiciel Graphab, développé par le laboratoire ThéMA (UMR 6049) du CNRS (Université de Franche-Comté), qui permet d'identifier les corridors et les taches d'habitat importants pour la connectivité, mais également de les hiérarchiser.

Ces deux outils permettent l'identification de corridors écologiques, et sont tous les deux basés sur la théorie des graphes bien que certaines différences dans l'utilisation et les possibilités aient été notées. Le Tableau 4 ci-après compare selon différents angles techniques les outils Graphab et Spatial Analyst.

Tableau 3 - Comparaison des outils Graphab et Spatial Analyst

Méthode	GRAPHAB	SPATIAL ANALYST
Type	Logiciel gratuit	Licence Spatial Analyst d'ArcGIS payante
Méthode utilisée	Théorie des graphes	Théorie des graphes
Indices pris en comptes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Métriques pondérées : PC, IIC ...</li> <li>- Métriques de surface</li> <li>- Métriques topologiques</li> </ul> Les indices se déclinent à différents niveaux : global, local ou les deux (delta-métriques) et compositante	Algorithme prenant en compte les caractéristiques de surface (surface de coût) et les caractéristiques des déplacements (distance de dispersion) → Pas d'indice à proprement parler (Source : aide ArcGIS pour l'outil distance de coût)
Paramètres entrant en jeu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La <b>carte d'habitats</b> (raster) : une par sous trame (avec choix d'un <b>habitat de référence</b> à partir duquel vont être définis les tracés des corridors = zones nodales)</li> <li>- Choix entre une modélisation des corridors selon la distance euclidienne ou la <b>distance de coût</b></li> <li>- Pour la distance de coût il est nécessaire de renseigner les <b>coefficients de rugosités</b> associés à chaque habitat (à remplir directement dans le logiciel)</li> <li>- Choix de l'<b>indice</b> (métrique)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La <b>carte d'habitats</b> (raster)</li> <li>- Carte des habitats reclassés selon leurs <b>coefficients de rugosité</b> (une carte par espèce cible) → <i>outil reclassement</i></li> <li>- <b>Carte des zones nodales</b> → <i>outil extraction</i></li> <li>- <b>Carte des déplacements potentiels</b> à l'échelle globale → <i>outil distance de coût</i></li> </ul>
Résultats obtenus	Graphique composé de <b>Taches</b> (habitats de même type) reliés ou non entre par des <b>Liens</b> (corridors), qui peuvent être hiérarchisés → Possibilité d'avoir une représentation en mode topologique ou réaliste et de les exporter en format shapefile	Carte raster présentant un gradient de couleur illustrant la perméabilité/résistance des milieux au déplacement des espèces cibles
Avantages et Inconvénients	<u>Eléments positifs :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendu cartographique clair avec identification précise des corridors</li> <li>- Large choix d'indices (selon ce que l'on souhaite mettre en évidence)</li> <li>- Hiérarchisation des corridors et des taches d'habitat selon leur importance pour la connectivité</li> <li>- Possibilité de tester des scénarios d'aménagement</li> <li>- Temps de calcul rapide</li> <li>- Logiciel gratuit</li> </ul> <u>Eléments négatifs :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficulté de prise en main au départ</li> </ul>	<u>Eléments positifs :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendu cartographique clair</li> <li>- Permet de visualiser les possibilités de déplacements des espèces</li> <li>- Simple d'utilisation et temps de calcul rapide</li> </ul> <u>Eléments négatifs :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite l'utilisation de plusieurs outils donc génère beaucoup de couches raster</li> <li>- Ne permet pas l'identification directe des corridors</li> <li>- Nécessite la licence Spatial Analyst (coûteuse)</li> </ul>

Ainsi, Spatial Analyst permet de visualiser les possibilités de déplacement des individus au sein de chaque continuum (forestier, herbacé et humide) (Annexes 3, 4 et 5). Cet outil indique donc jusqu'où peuvent se disperser les espèces, mais aussi avec quel coût en

fonction de la perméabilité des milieux alentours. Nos tests effectués sur des espèces à faible dispersion n'ont cependant pas été concluants avec un gradient de dispersion peu visible, notamment en raison du manque de finesse de la carte d'occupation du sol, qui ne prenait pas en compte les micro-habitats ou les petits éléments paysagers. Certaines zones considérées comme homogènes et défavorables aux espèces à faible dispersion auraient pu se révéler plus favorables aux déplacements de ces espèces si la cartographie était affinée. Spatial Analyst donne des résultats identiques selon la taille de la zone étudiée car le gradient est tracé pixel par pixel et ne prend pas en compte des données directement liées à l'échelle (comme la surface des habitats par exemple).

Graphab a quant à lui l'avantage de pouvoir identifier et hiérarchiser les habitats et les chemins potentiels selon leur contribution à la connectivité du paysage. Il peut ainsi calculer un grand nombre de métriques paysagères à plusieurs niveaux (métriques globales, locales, par composante ou delta-métriques). Les résultats vont donc dépendre de la zone étudiée.

Ces deux outils amènent à une approche différente pour le choix du tracé de corridors : avec Spatial Analyst, une interprétation des voies de passages potentielles doit être effectuée par l'opérateur tandis qu'avec Graphab, des chemins théoriques sont proposés. La superposition des résultats obtenus par Spatial Analyst et Graphab (Annexes 7 et 10) a montré une forte cohérence, le rendu de Spatial Analyst étant davantage soumis à l'interprétation subjective que l'on peut en faire. Ces deux approches semblent donc complémentaires pour une meilleure compréhension des corridors potentiels, mais Graphab offre un aspect plus opérationnel, et répond à l'essentiel des attentes de la présente étude.

Notons pour conclure que des logiciels autres que Graphab et Spatial Analyst permettent également l'identification de corridors écologiques. C'est notamment le cas de Conefor (*Saura et Torné, 2009*) qui permet de hiérarchiser les habitats selon leur diIC, ou de Circuitscape qui propose une modélisation selon la théorie des circuits (extension de la théorie des graphes) (*Avon et Bergès, 2014*).

Le logiciel Graphab, développé pour identifier et caractériser les réseaux écologiques, nous a paru être l'outil le plus approprié pour réaliser les modélisations dans notre cadre d'étude.

### III) Choix des paramètres

La modélisation des réseaux écologiques, selon la démarche adoptée ici, se base sur des cartes d'occupation du sol. Sur ce support cartographique, les déplacements potentiels d'espèces sont modélisés, en fonction des préférences et des besoins des espèces visées. Cette modélisation peut se baser sur différents indices mathématiques, qui traduisent des questions différentes, et doivent donc être choisis en conséquence.

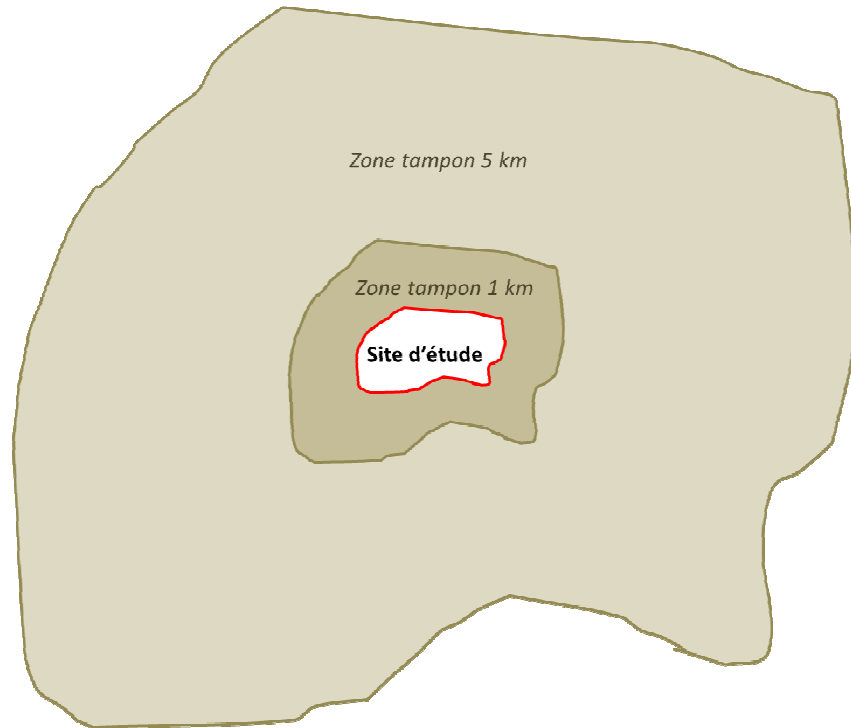
#### 1) Aire d'étude

Le choix de l'aire d'étude est une étape cruciale, qui peut avoir de fortes implications sur les résultats finaux. C'est donc une question à ne pas négliger et à bien préciser dès le départ, en fonction des caractéristiques du site d'étude et des objectifs de l'étude. De plus, les étapes suivantes de cartographie, et dans une moindre mesure, de modélisation, sont très chronophages et proportionnelles à la surface considérée. Il est donc nécessaire de concilier deux exigences contradictoires pour choisir la zone d'étude. Il s'agira de choisir une zone tampon de surface suffisante pour répondre à la question posée, mais pas trop vaste afin de ne pas perdre de temps pour la cartographier.

Nous avons fait dans un premier temps le choix de prendre en considération trois zones d'étude emboîtées, correspondant :

- au site d'étude en lui-même (emprise foncière) ;
- d'une zone tampon d'1 km autour des contours du site d'étude. Ce périmètre de 1 km a été choisi en fonction des capacités de déplacement de plusieurs espèces à faible capacité de dispersion, inférieure à 1 km (invertébrés en particulier) ;
- à une zone tampon de 5 km autour des contours du site d'étude, pour englober les déplacements potentiels d'espèces à capacité de dispersion moyenne, comme la plupart des reptiles et amphibiens.





**Figure 8 - Représentation de la zone d'étude et des deux zones tampons prises en considération**

## 2) Cartographie d'occupation du sol

Préalablement à toute démarche de modélisation de corridors écologiques, une étape de cartographie d'occupation du sol est indispensable. Cette étape préliminaire constitue la base à partir de laquelle vont être déterminés les tracés des corridors potentiels. Le niveau de précision de la cartographie peut avoir une influence forte sur les résultats, et doit être adapté au degré de finesse souhaité.

De nombreuses bases de données d'occupation du sol sont disponibles à l'échelle européenne, nationale et régionale. Citons par exemple CORINE LAND COVER, ou le MOS et l'ECOMOS pour la région Ile-de-France. La cartographie des zones étudiées peut être établie en compilant les différentes couches de données disponibles. Un ajustement est souvent nécessaire, afin d'harmoniser les niveaux de précision d'une couche à l'autre, et de redécouper les polygones obtenus si nécessaire. Le plus souvent, une dernière étape de vérification et de mise à jour est nécessaire, afin d'obtenir une cartographie la plus

possible de l'existant. Cette dernière étape peut aussi permettre de combler les éventuels vides dans la carte.

### 3) Détermination des sous-trames

Afin de réduire les temps d'analyse, la carte d'occupation du sol peut être simplifiée. Il s'agira alors de regrouper différentes modalités d'occupation du sol en un nombre de classes plus restreint. Ces classes doivent être les moins nombreuses possibles, tout en reflétant les préférences des espèces quant aux réseaux écologiques.

Nous avons choisi de prendre en compte cinq classes d'occupation du sol, qui correspondent à des sous-trames régulièrement identifiées par les SRCE, à adapter selon les contextes :

- La sous-trame forestière, qui comprend les formations arbustives et arborées ;
- La sous-trame herbacée, prenant en compte les formations herbacées semi-naturelles telles que les prairies, les friches... Les milieux herbacés artificialisés (jardins, parcs urbains et prairies labourées) ne sont pas compris ;
- La sous-trame agricole, composée des espaces cultivés ;
- La sous-trame humide, rassemblant les milieux aquatiques (plans d'eau, cours d'eau...) et les milieux humides (prairies humides, zones marécageuses...).

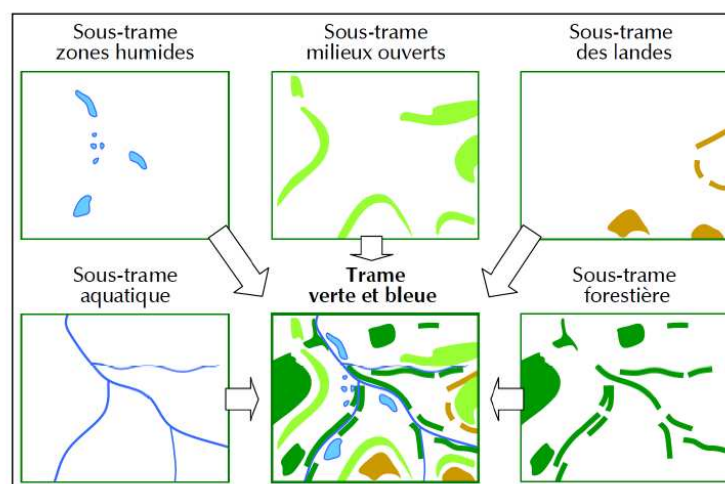


Figure 9 - Exemple de sous-trames composant la Trame Verte et Bleue

La dernière classe d'occupation du sol correspond aux zones urbanisées ou imperméabilisées (tels que les chantiers, les zones d'activités et de transports), qui ont été considérées comme défavorables au déplacement de nombreuses espèces.

La carte des sous-trames obtenue est transformée au format raster, ce qui correspond à une pixellisation de la carte, qui permet notamment de gommer les différences de taille entre divers polygones et d'homogénéiser les éléments pris en compte sur l'ensemble du périmètre.

#### 4) Capacité de dispersion et choix des espèces cibles

Pour alimenter les modèles de réseaux écologiques, il est nécessaire de fournir des distances de dispersion par espèce. Il peut s'agir d'espèces réelles, par exemple d'espèces identifiées comme représentatives des enjeux TVB, d'espèces patrimoniales ou à enjeux, ou au contraire d'espèces communes, potentiellement utilisatrices majoritaires des corridors.

Cependant, le choix de telles espèces est difficile, d'une part en raison de la relative méconnaissance des besoins et des capacités de dispersion des espèces, et d'autre part en raison des finalités de notre démarche, qui se veut applicable à la France entière. La répartition des espèces et leurs traits de vie pouvant varier d'une région à l'autre, il est difficile de généraliser les espèces choisies pour un site.

Le choix a donc été fait pour l'exercice d'identifier pour chacune des trois sous-trames considérées (forestière, herbacée et humide) des guildes d'espèces fictives susceptibles d'utiliser les corridors identifiés :

- une guildes d'espèces à faible capacité de dispersion de l'ordre de quelques dizaines de mètres (distance maximale de dispersion retenue : 100m) ;
- et une guildes d'espèces à capacité de dispersion moyenne de l'ordre de quelques centaines de mètres (distance maximale de dispersion retenue : 1km).

On obtient donc 6 guildes d'espèces fictives : les deux guildes sont en effet déclinées pour chacune des trois sous-trames avec une guildes à faible distance de dispersion d'une part et une autre à moyenne distance de dispersion d'autre part.

Les espèces à forte capacité de dispersion (plusieurs kilomètres) comme les grands ongulés ou les grands carnivores n'ont pas été prises en compte ici, en considérant qu'elles ne seraient que peu concernées à cette échelle d'analyse (peu de marge de manœuvre potentielle des gestionnaires à l'échelle de leur site).

Les données de dispersions retenues se sont basées sur les données disponibles dans la littérature, comme par exemple dans les synthèses de Sordello et al. (2013) ainsi que dans les bases de données de traits de vie des espèces (Grimm et al., 2014 ; Homburg et al., 2013, Trochet & al, 2014).

## 5) Détermination de la perméabilité du paysage

A chaque catégorie d'occupation du sol et pour chaque guildes d'espèces fictives (donc chaque sous-trame), il est nécessaire d'attribuer un coefficient de rugosité (Tableau 4). Ce coefficient est proportionnel à la difficulté qu'aura la guildes ou l'espèce cible à traverser le milieu en question (Elleboode et Bernard, 2009). Nous avons choisi d'utiliser une échelle géométrique pour l'attribution des valeurs, qui permet d'obtenir des résultats contrastés.

**Tableau 4 - Tableau de qualification des coefficients de rugosité**

Qualification des types d'occupation du sol	Coefficient de rugosité
Habitat d'espèces	1
Habitat favorable à la dispersion	10
Habitat neutre/peu favorable	100
Habitat défavorable à la dispersion	1000

## IV) Modélisation des continuités et des corridors écologiques

### 1) Création d'un graphe paysager

La création d'un graphe paysager passe par trois étapes : premièrement la définition des nœuds (taches d'habitats favorables), des liens (chemin à moindres coûts reliant les nœuds) et la finalisation du graphe (ajout d'une métrique paysagère). Pour modéliser le réseau écologique, le logiciel intègre un certain nombre de paramètres tels que les coefficients de rugosité associés à chaque habitat, la distance maximale de dispersion et la métrique paysagère utilisée (ici l'IIC).

Les outils basés sur la théorie des graphes utilisent différentes métriques pour le calcul de la connectivité paysagère. Pour qu'une métrique soit robuste, elle doit être capable de mesurer non seulement la connectivité globale du réseau, mais également l'importance de chaque tache d'habitat et de chaque lien les reliant au sein de cette connectivité (*Pascual-Hortal et Saura, 2006 ; Avon et Bergès, 2014*).

La métrique retenue dans un premier temps est l'**indice intégral de connectivité (IIC)**, proposé par Pascual-Hortal et Saura (2006), qui remplit ces conditions. L'IIC tient compte dans son calcul de deux paramètres : la taille des taches d'habitat (qui illustre la qualité d'un habitat par sa capacité d'accueil) et le nombre de liens dans le plus court chemin les reliant. Pour évaluer l'importance d'une tache ou d'un lien, il est nécessaire de se référer au calcul du dl. Ce dernier traduit l'importance de la tache dans la connectivité globale du site. Son calcul consiste à évaluer dans un premier temps la connectivité globale lorsque la tâche est présente dans le paysage, puis l'impact de la suppression de celle-ci (*Pascual-Hortal et Saura, 2006 ; Foltête et al., 2012*).

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$$

$a_i$  et  $a_j$  : taille des taches  $i$  et  $j$   
 $nl_{ij}$  : nombre de liens entre  $i$  et  $j$   
 $A_L$  : surface totale du paysage

$I$  : valeur de l'IIC global

$I'$  : valeur de l'IIC global après un changement  
(perte d'une tache d'habitat par exemple)

$$dI = 100 \cdot \frac{I - I'}{I}$$

De la même manière qu'il existe plusieurs méthodes pour identifier les corridors écologiques, de nombreuses métriques peuvent être utilisées, dont le choix dépend des objectifs de la modélisation. Parmi celles-ci se retrouve notamment l'indice de Probabilité de Connectivité (PC), couramment utilisé, qui est légèrement plus précis que l'IIC mais demande plus de paramètres d'entrée (probabilités de dispersion des espèces par exemple) (*Avon et Bergès, 2014*). L'ARPE PACA a par ailleurs développé une méthodologie incluant un nouvel indice : l'indice de connexité (*ARPE PACA, 2015*) mais qui est encore peu développé sur le territoire national.

## 2) Hiérarchisation des taches d'habitats et des corridors écologiques

Avec Graphab, il est possible de hiérarchiser les milieux et les corridors identifiés. La hiérarchisation consiste à classer les taches d'habitats (et/ou les corridors) appartenant à une même sous-trame, de la plus stratégique à la moins stratégique pour la connectivité du paysage étudié. Pour cela, il est essentiel de se référer au calcul du dIIC. En effet, plus la valeur de ce dernier est importante, plus le nœud et/ou lien est important pour la connectivité du paysage (*Pascual-Hortal et Saura, 2006*).

Lors de la construction de nos cartes, nous avons choisi de hiérarchiser les corridors et les habitats en trois classes égales selon leur dIIC. Ce choix de représentation en trois catégories a été effectué pour une meilleure lisibilité des cartes. Les éléments paysagers sont ainsi classés selon un fort, moyen et faible potentiel de connectivité. Cette attribution est subjective, mais aide à la prise de décision : les corridors de faible dIIC (considérés comme moins importants pour la connectivité) pourront être intégrés à des opérations de restauration pour rétablir la connectivité, tandis que les corridors ayant un plus fort dIIC seront quant à eux à préserver.

## V) Bilan : première proposition pour une méthode d'identification des réseaux écologiques à l'échelle d'un site

Une première proposition pour une méthode d'identification des réseaux écologiques à l'échelle d'un site est présentée sur le schéma suivant (Figure 10). Il détaille les principales étapes et les principaux éléments à prendre en considération dans ce sens.

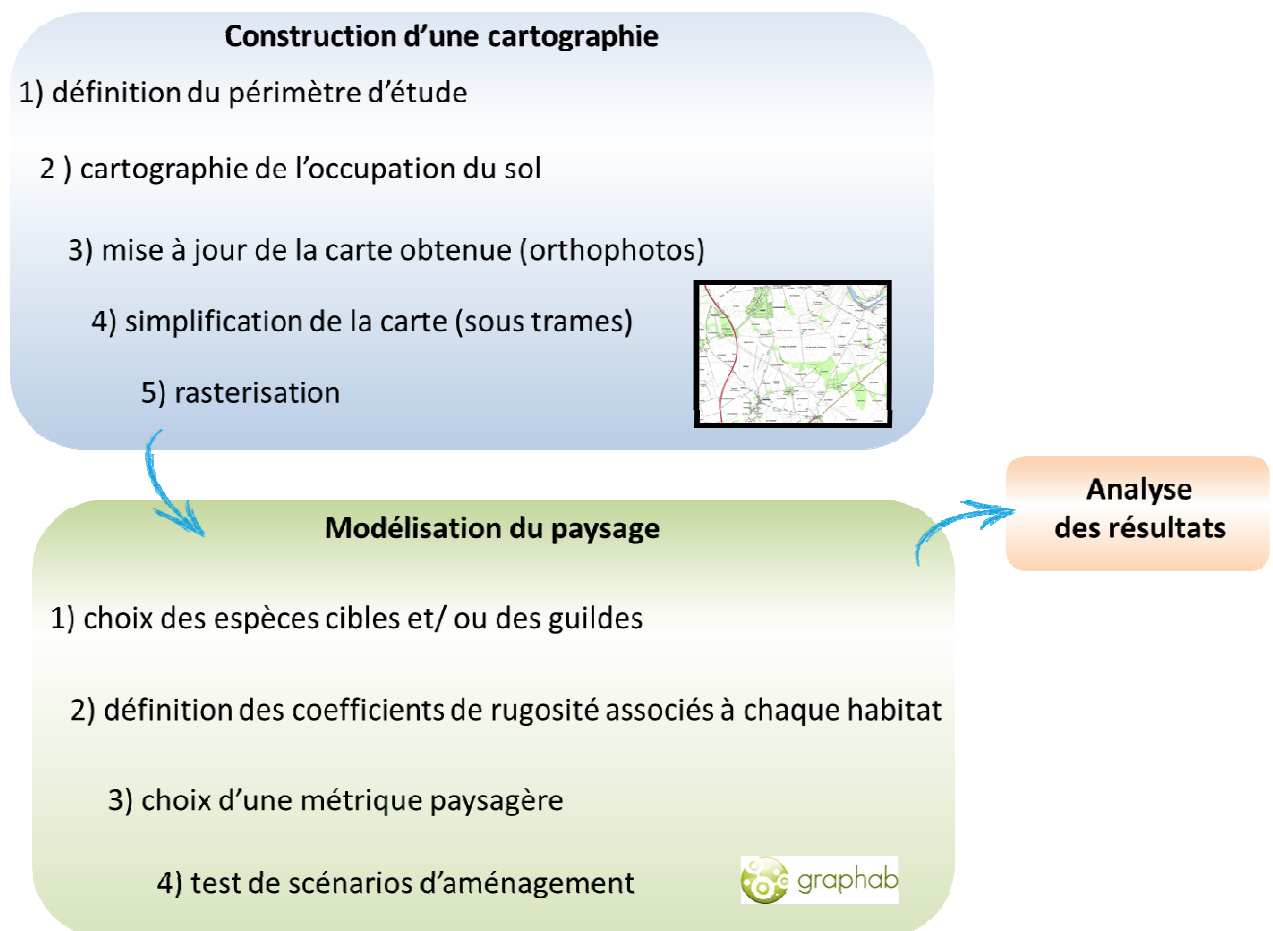


Figure 10 - Proposition de méthode pour la modélisation des réseaux écologiques à l'échelle d'un site

**PARTIE 3 :**  
**TEST DE LA METHODE**  
**PROPOSEE SUR UN SITE PILOTE**





## I) Choix du site pilote

La méthode proposée a été testée sur un site industriel pilote. Parmi le panel de sites d'études potentiels, un premier lot de sites potentiels a été identifié. Ceux-ci présentaient une position stratégique et un intérêt écologique vis à vis de la connectivité, que ce soit en raison de leur situation au cœur d'un corridor existant ou à restaurer à une plus grande échelle (SRCE) ou en raison d'un enjeu de continuité identifié à une échelle plus locale.

Le site pilote retenu est une Installation de Stockage de Déchets (ISD), située à Villeparisis (Île-de-France), classée pour la protection de l'environnement (ICPE). Cette ISD est située dans un milieu fortement anthropisé, en marge de l'agglomération parisienne, au centre d'un corridor forestier clairement identifié à l'échelle du SRCE. Elle est située au niveau d'un goulot d'étranglement d'une vaste continuité forestière, enserrée par des zones urbaines. Ce site, qui occupe presque toute la largeur de ce goulot d'étranglement, peut donc jouer un rôle très fort vis-à-vis de la dispersion des espèces.

## II) Définition des enjeux et des objectifs de l'étude

Le site est artificialisé sur près de la moitié de sa superficie (pistes, bâtiments, zones d'activité et d'exploitation). Des plantations arborées à caractère assez artificiel (essences exotiques et indigènes en mélange, gestion intensive et très jardinée) ponctuent le reste du site majoritairement constitué de prairies mésophiles et, dans une moindre mesure, de friches. Le site revêt cependant un caractère particulier avec la présence de 6 espèces patrimoniales, et de quelques espèces végétales rares. De plus, sa situation stratégique sur une continuité écologique d'importance régionale doit guider les choix d'aménagement et de gestion qui pourraient, en accentuant le caractère naturel de certains espaces, augmenter le potentiel d'accueil de la faune et de la flore.

Suite à la mise en place d'un Indicateur de Potentialité Ecologique (IPE) et des études faune-flore pour un projet portant modification de l'arrêté préfectoral, un plan de gestion et d'aménagement a été proposé pour le site, à dire d'expert. Une étude de la modélisation des enjeux de connectivité sur ce site pourra donc permettre une confrontation des résultats avec les préconisations effectuées.

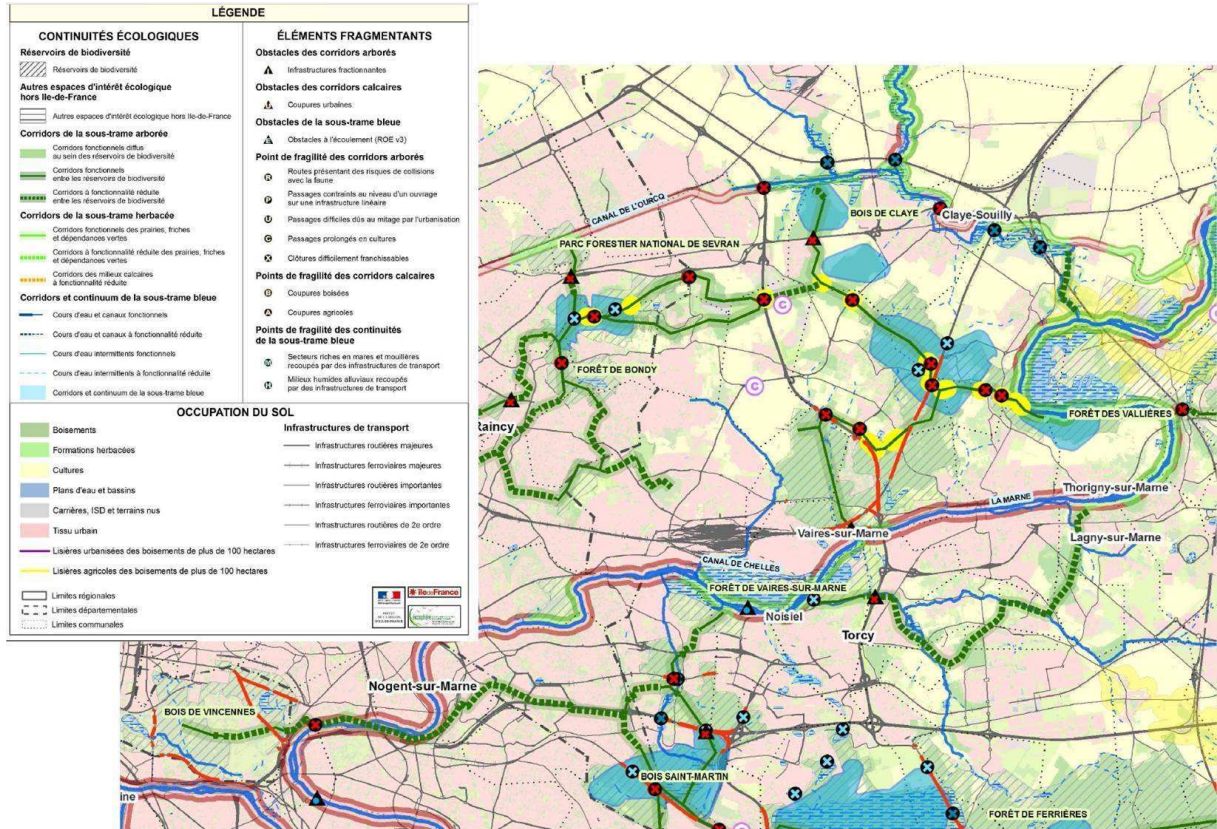


Figure 11 - Continuités écologiques autour du site d'étude (extrait de la carte des composantes de la Trame Verte et Bleue de la région Ile de France, SRCE IDF, 2013)

### III) Définition de l'aire d'étude

Les limites du site d'étude correspondent à l'emprise foncière du site industriel. Nous avons testé la méthode à deux échelles locales. La première s'étend sur une zone de 5 km autour des limites du site industriel, tandis que la seconde, plus proche des enjeux du site, ne s'étendra que sur une distance de 1km. Seule l'occupation du sol à l'intérieur de ces 3 périmètres a été prise en compte dans nos analyses.

## IV) Cartographie de l'occupation du sol

### 1) Utilisation des données cartographiques disponibles

La cartographie du site d'étude lui-même s'est basée sur une étude réalisée au préalable sur l'ISD (Delzons & Thierry, 2015). Afin de réaliser la cartographie des deux zones tampons de 1 km et 5 km, nous nous sommes basés sur un atlas cartographique d'occupation du sol propre à la région Ile-de-France : le Mode d'Occupation du Sol (MOS), publié par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (IAU). Il recense les espaces agricoles, les milieux naturels ainsi que les espaces urbains (classification en 11 postes) en se basant sur des photographies aériennes. Des ajouts ont pu être réalisés à partir de CORINE LAND COVER.

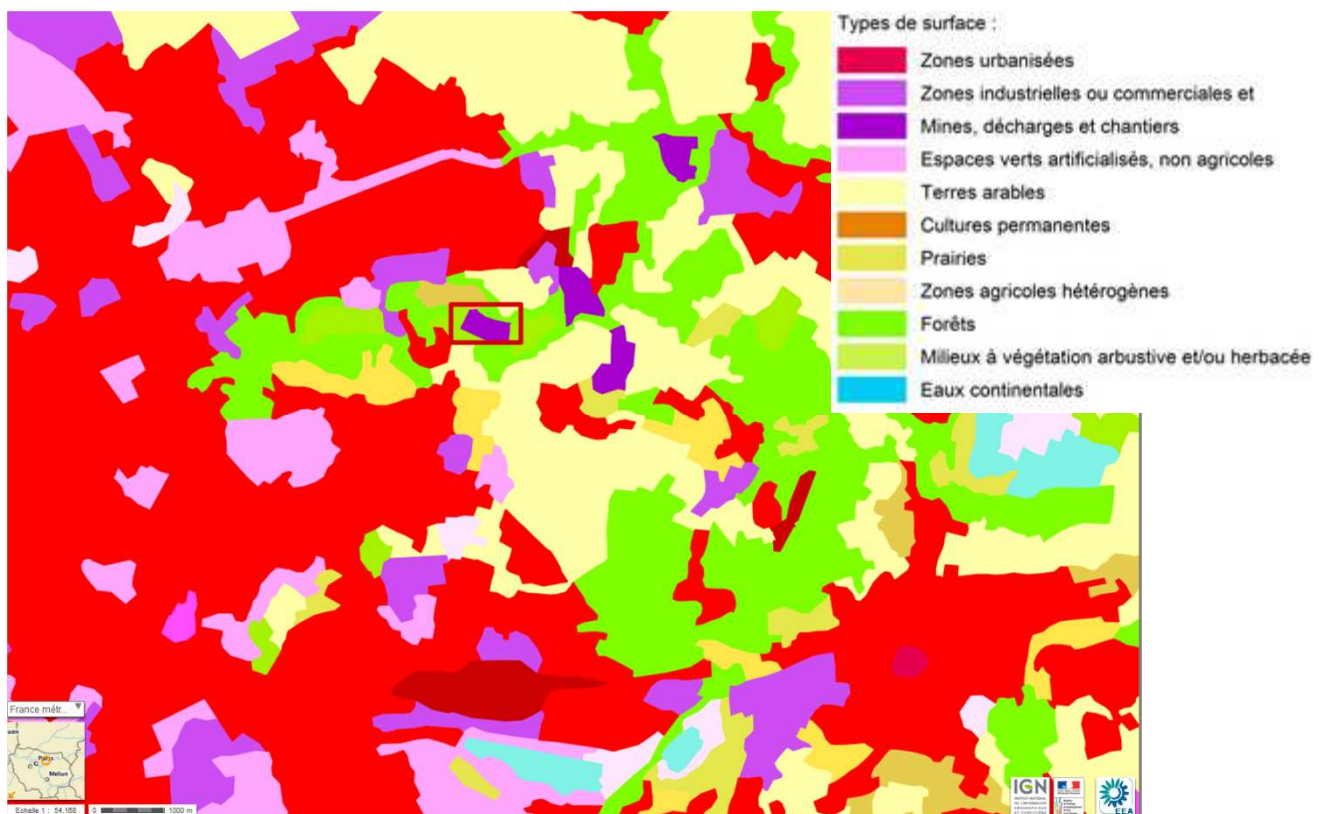


Figure 12 - Cartographie de l'occupation du sol autour du site (CORINE LAND COVER)

Le MOS n'étant pas suffisamment précis sur la détermination des milieux naturels, nous avons utilisé en complément pour ces habitats les données issues d'une variante du MOS, l'ECOMOS. Publié par l'IAU et NATUREPARIF, l'ECOMOS détaille plus finement les habitats naturels présents en Île-de-France (nomenclature Corine Land Cover). Ces cartes sont réalisées au 1/2500<sup>ième</sup> et 1/5000<sup>ième</sup>.

## 2) Mise à jour de la carte

Un travail d'ajustement spatial entre le MOS et l'ECOMOS a été nécessaire pour la réalisation de la carte finale. De plus, les dernières versions de l'ECOMOS et du MOS datant respectivement de 2008 et 2012, l'identification de certains habitats n'était plus valide en 2016. Il a donc été nécessaire de compléter les données d'occupation du sol issues du MOS et de l'ECOMOS par une photo-interprétation basée sur des images aériennes plus récentes (orthophotographies de 2014 fournies par l'IGN). Une prospection sur le terrain a également été effectuée afin de préciser les types d'habitats existants au sein même du site industriel.

La carte d'occupation du sol a ensuite été enrichie de manière à préciser pour chaque habitat s'il s'agit d'un habitat artificiel ou à caractère naturel, s'il est cultivé ou non (grâce aux données fournies par le Registre Parcellaire Graphique, RPG) et enfin si cet habitat possède une nature ordinaire ou remarquable (zones considérées comme cœurs de nature dans le SRCE : ZNIEFF, Natura 2000...).

## 3) Simplification de la carte

Les différentes sources cartographiques utilisées n'étaient pas basées sur une même typologie d'habitat. Un tableau de correspondance a été réalisé entre les différentes typologies d'occupation du sol (EUNIS pour la carte des habitats de l'ISD, Corine Land Cover, MOS et ECOMOS) et les 5 sous-trames choisies, correspondant à certaines sous-trames identifiées dans le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) d'Île-de-France (Annexe 1) :

- sous-trame humide, rassemblant les milieux aquatiques (plans d'eau, cours d'eau...) et les milieux humides (prairies humides, zones marécageuses...);
- sous-trame herbacée, prenant en compte les formations herbacées semi-naturelles telles que les prairies, les friches... On ne tient pas compte ici des milieux herbacés artificialisés (jardins, parcs urbains et prairies labourées);
- sous-trame forestière, qui comprend les formations arbustives et arborées;
- sous-trame agricole, composée des espaces cultivés;
- sous-trame urbaine.

## V) Choix des paramètres et modélisation

### 1) Choix des espèces cibles et/ ou des guildes

Le choix a été fait d'identifier pour chacune des trois sous-trames visées pour la modélisation (forestière, herbacée et humide) des guildes d'espèces fictives susceptibles d'utiliser les corridors identifiés :

- espèces à faible capacité de dispersion, de l'ordre de quelques dizaines de mètres (distance maximale de dispersion retenue : 100m) ;
- espèces à capacité de dispersion moyenne, de l'ordre de quelques centaines de mètres (distance maximale de dispersion retenue : 1km).

Six espèces théoriques ou guildes d'espèces fictives sont ainsi obtenues. Chacune des trois sous-trames est caractérisée par des espèces à faible distance de dispersion d'une part et à moyenne distance de dispersion d'autre part.

### 2) Définition des coefficients de rugosité associés à chaque habitat

Un coefficient de rugosité a été attribué pour chaque catégorie d'occupation du sol et pour chaque guildes d'espèces fictives (donc chaque sous-trame) (Tableau 5).



Tableau 5 - Valeurs de rugosité pour chaque type d'habitat selon les guides d'espèces fictives

	Distance max de déplacement	Espèce fictive de milieux fermés (sous trame forestière)		Espèce fictive de milieux ouverts (sous trame herbacée)		Espèce fictive de milieux humides (sous-trame humide)		Espèce fictive de milieux humides (sous-trame aquatique)	
		Espèce à faible dispersion	Espèce à moyenne dispersion	Espèce à faible dispersion	Espèce à moyenne dispersion	Espèce à faible dispersion	Espèce à moyenne dispersion	Espèce à faible dispersion	Espèce à moyenne dispersion
		100 m	1km	100m	1km	100m	1km	100m	1km
Eau libre	Cours et voies d'eau	1000	1000	1000	1000	1	1	1	1
	Plans d'eau avec végétation aquatique	1000	1000	1000	1000	1	1	1	1
	Plans d'eau permanents libres	1000	1000	1000	1000	1	1	1	1
Zone humide	Autres types de zones humides intérieures	100	100	1	1	1	1	10	10
	Roselières	100	100	1	1	1	1	10	10
	Prairies humides	100	100	1	1	1	1	10	10
	Zones marécageuses avec saules	100	100	1	1	1	1	10	10
Forestier humide	Forêts marécageuses	1	1	100	100	1	1	10	10
	Peupleraies	1	1	100	100	1	1	10	10
Forestier	Résineux	1	1	100	100	100	100	1000	1000
	Feuillus xéro à mésophiles	1	1	100	100	100	100	1000	1000
Arbustif	Formations arbustives liées aux infrastructures	10	10	100	100	100	100	1000	1000
	Autres landes	10	10	100	100	100	100	1000	1000
	Friches arbustives	10	10	100	100	100	100	1000	1000
	Vergers et petits fruits	10	10	100	100	100	100	1000	1000
Herbacé	Friches herbacées	100	100	1	1	100	100	1000	1000
	Végétation clairsemée	100	100	1	1	100	100	1000	1000
	Prairies mésophiles	100	100	1	1	100	100	1000	1000
	Pelouses en carrière	100	100	1	1	100	100	1000	1000
	Jardins en friche	100	100	1	1	100	100	1000	1000
Agricole	Espaces agricoles	100	100	10	10	100	100	1000	1000
Espaces urbanisés	Carrières, décharges et chantiers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Espaces ouverts artificialisés	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Sols à nu décapés	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Habitat individuel	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Habitat collectif	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Equipements	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Activités	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Transports	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

### 3) Choix d'une métrique paysagère

Nous avons retenu comme métrique paysagère l'Indice Intégral de Connectivité (IIC), qui prend en compte la taille des taches d'habitats et le nombre de liens dans le plus court chemin les reliant. Les calculs du dIIC ont permis de hiérarchiser les milieux et les corridors identifiés en classant les taches d'habitats (et/ou les corridors) appartenant à une même sous-trame de la plus stratégique à la moins stratégique pour la connectivité du site. En effet, plus la valeur du dIIC est importante, plus le noeud et/ou lien est important pour la connectivité du paysage (Pascual- Hortal & Saura, 2006).

Pour une meilleure lisibilité des cartes, les corridors et les habitats ont été hiérarchisés en trois classes égales selon leur dIIC afin de classer les éléments paysagers selon un fort, moyen et faible potentiel de connectivité. Rappelons que cette attribution est subjective, mais aide à la prise de décision : les corridors de faible dIIC (considérés comme moins

important pour la connectivité) pourront être intégrés à des opérations de restauration pour rétablir la connectivité, tandis que les corridors ayant un plus fort dlIC seront quant à eux à préserver.

## VI) Résultats

Tous les résultats obtenus ne sont pas présentés dans cette partie, seuls les éléments apportant des informations pertinentes et complémentaires étant exposés.

### 1) Sous-trame humide

Au niveau du site industriel de Villeparisis, la sous-trame humide est peu représentée. Seuls quelques points d'eau et un canal, éloignés les uns des autres, sont présents dans la zone d'étude. Cela explique qu'il n'y ait **pas d'enjeux identifiés par le modèle au niveau de ce site concernant la sous-trame humide**. Au niveau du SRCE, on ne retrouve pas non plus d'enjeu particulier concernant les milieux aquatiques, ce qui est cohérent avec nos résultats.

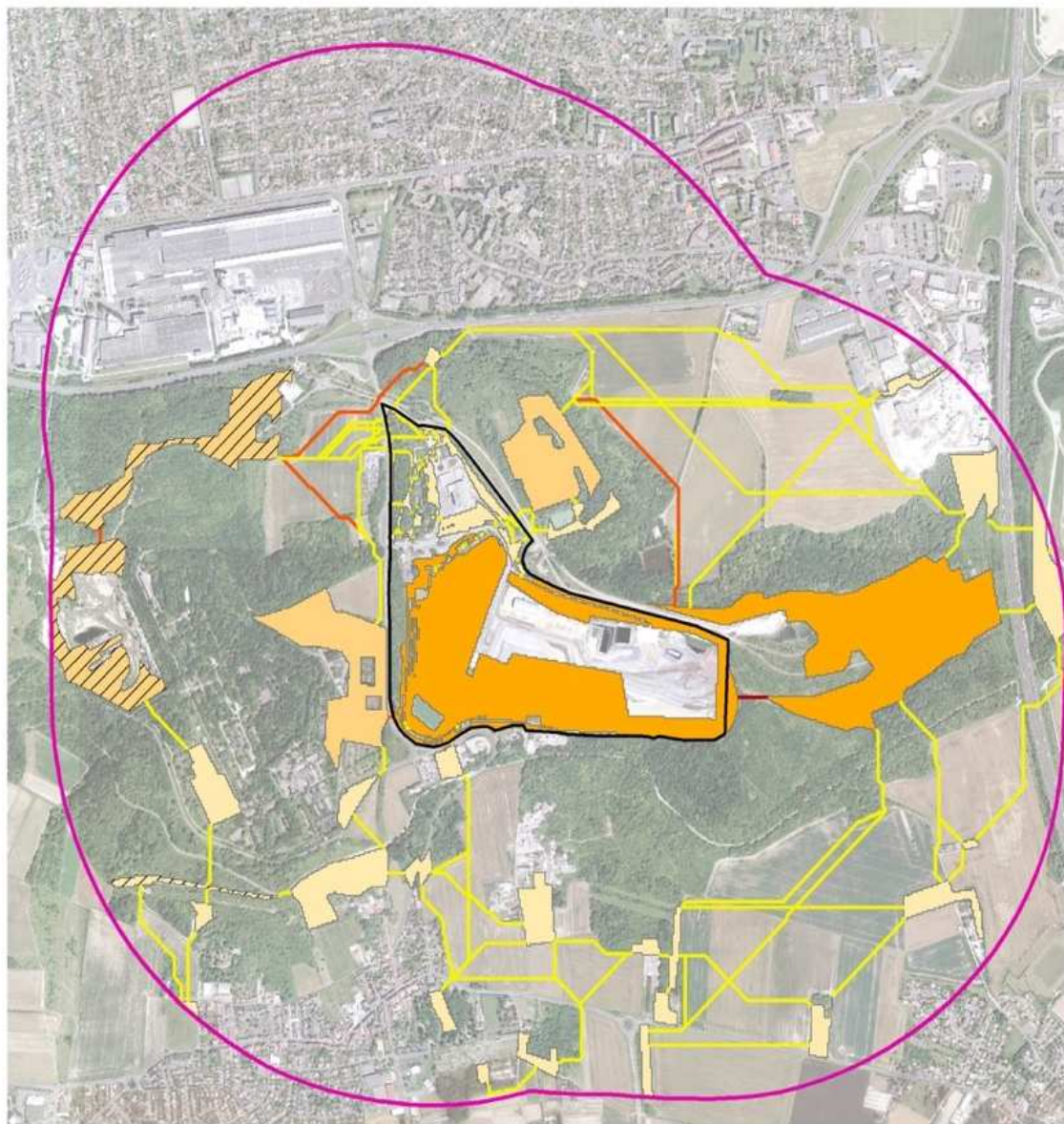
### 2) Sous-trame herbacée

Le site industriel de Villeparisis possède de nombreux espaces herbacés qui participent à la trame herbacée. En effet, **la zone herbacée présente au sein du site peut occuper une place centrale dans les réseaux écologiques**, principalement pour les espèces à moyenne distance de dispersion. Elle est connectée aussi bien avec les habitats herbacés situés au sein du site qu'avec les habitats périphériques grâce à des corridors jugés d'intérêt élevé pour la continuité écologique (Figure 14).



**Figure 13 - Vue sur les prairies du site de Villeparisis**

Pour une zone tampon de 5km, il apparaît que le site est également connecté à un réseau dense de corridors écologiques. Cependant, cet enjeu herbacé n'est pas identifié dans le SRCE. Cela souligne l'intérêt de réaliser une étude à une échelle plus fine, qui apparaît comme pertinente dans l'identification de nouveaux corridors écologiques potentiels, notamment pour des espèces ayant de faibles besoins de dispersions.



Sources: MNHN-SPN, IGN-BDortho®, août 2016



Figure 14 - Hiérarchisation des habitats et corridors herbacés selon leur potentialité dans la continuité écologique. Cas des espèces à moyenne dispersion dans une zone tampon de 1km

### 3) Sous-trame forestière

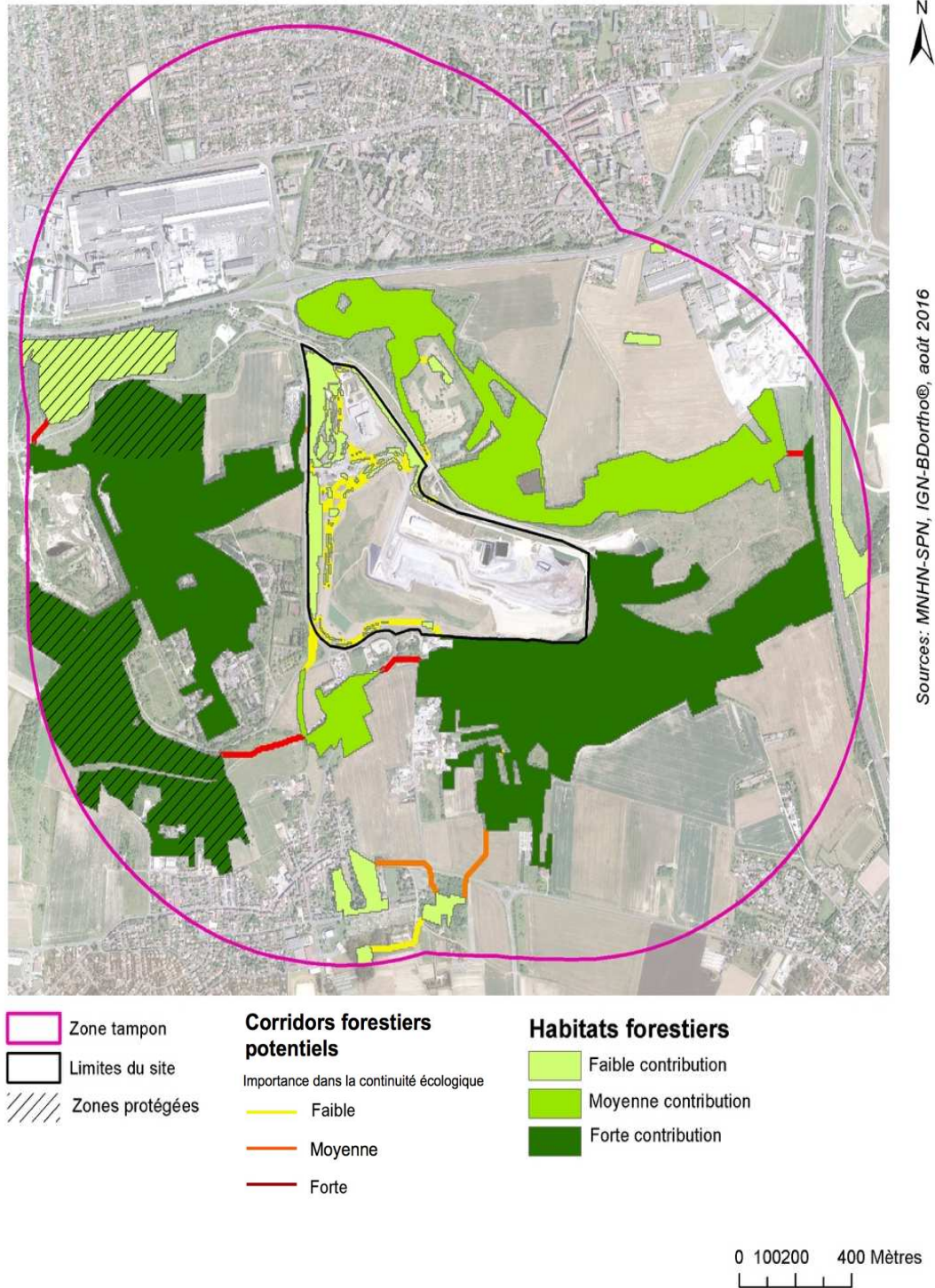
Dans une zone de 1km autour de notre site d'étude (Figure 15), un enjeu forestier, qui concerne à la fois les espèces à moyenne et faible dispersion, a pu être identifié. La hiérarchisation basée sur le dIIC met en évidence la forte contribution de deux massifs forestiers situés de part et d'autre du site industriel, et qui présentent d'importantes surfaces.

Notons également que certains habitats forestiers identifiés comme ayant un rôle majeur dans la connectivité sont aussi des cœurs de nature dans le SRCE (espaces appartenant au réseau Natura 2000 et/ou classés ZNIEFF 1 et 2). Ces derniers sont reliés par des corridors importants dans cette continuité écologique, qui seront à préserver.

Au sein du site industriel, un grand nombre de connexions potentielles relient les diverses taches d'habitats forestiers, mais celles-ci ne sont que peu reliées avec les habitats présents à l'extérieur du site, pour les espèces à moyenne et faible dispersions. Cela s'explique par le fait que les taches forestières à l'intérieur du site sont de petite taille et isolées, et souvent séparées des taches extérieures par des éléments paysagers considérés comme infranchissables pour les espèces cibles. **Le site semble ainsi constituer un élément fragmentant, à l'origine d'une discontinuité avec le paysage qui l'entoure.** Cela confirme la nécessité de mettre en place un plan d'aménagement au niveau du site afin de rétablir cette connexion.

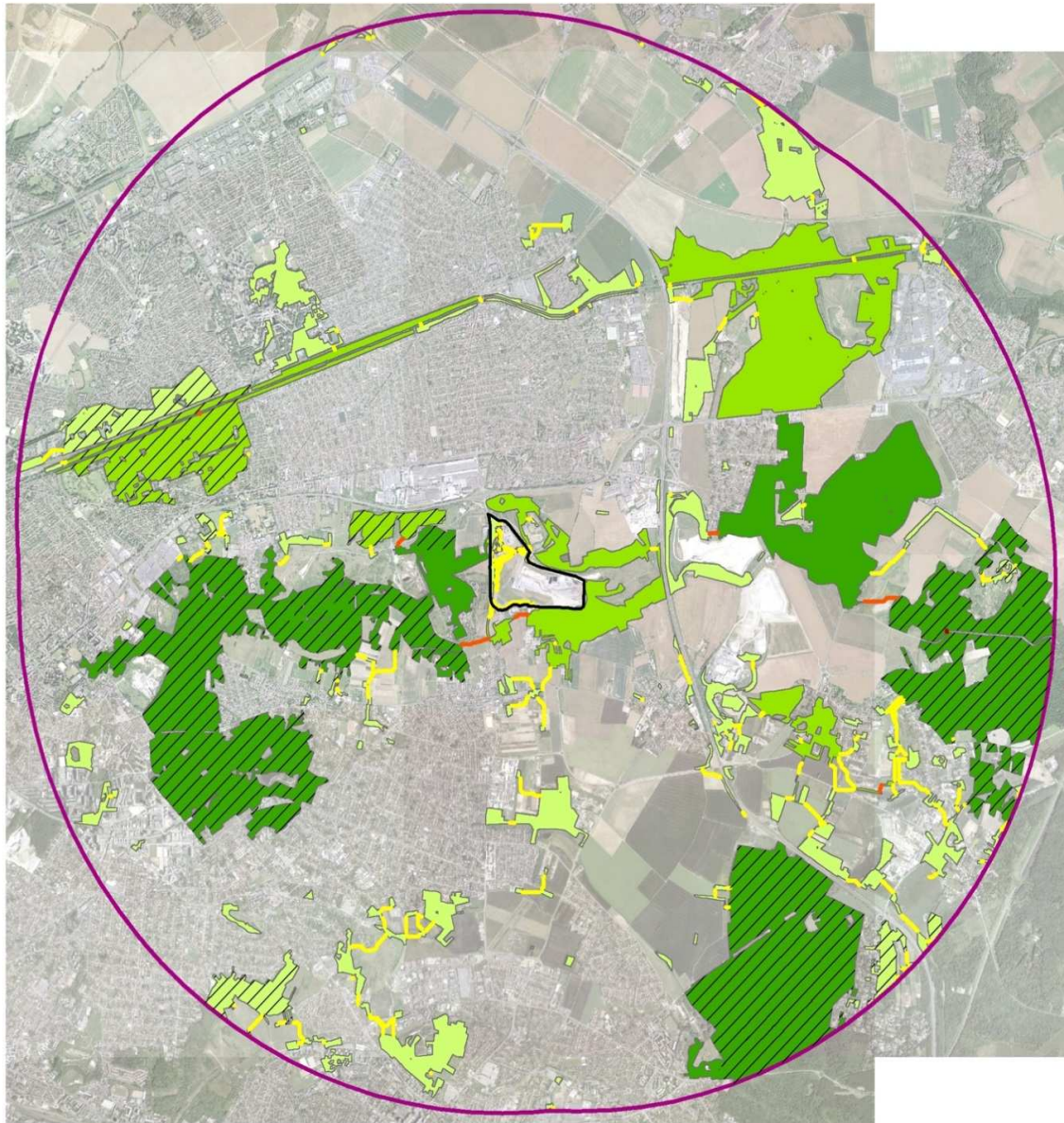
A une échelle un peu plus large (5km) (Figure 16), **cette continuité forestière forte est confirmée, et le site y occupe une position stratégique.** Cela renforce l'importance de ce site au sein de la continuité forestière mais révèle aussi l'impact significatif qu'il peut avoir sur celle-ci. Aussi, nous remarquons en passant de l'échelle de 5km à 1km que certains éléments du paysage sont relativement plus importants à l'échelle locale, à l'image de la tache forestière au sud-est du site. Ce phénomène est également observé dans la sous-trame herbacée.

Cet enjeu forestier est par ailleurs déjà identifié à l'échelle régionale dans le SRCE (Annexe 1), ce qui justifie la cohérence au regard des échelles supérieures et confirme nos résultats.



**Figure 15 - Hiérarchisation des habitats et corridors forestiers selon leur potentialité dans la continuité écologique. Cas des espèces à moyenne dispersion dans une zone tampon de 1km**





Sources: MNHN-SPN, IGN-BDortho®, août 2016

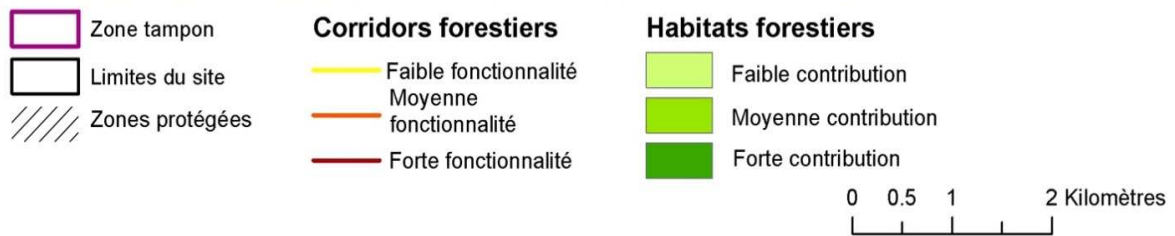


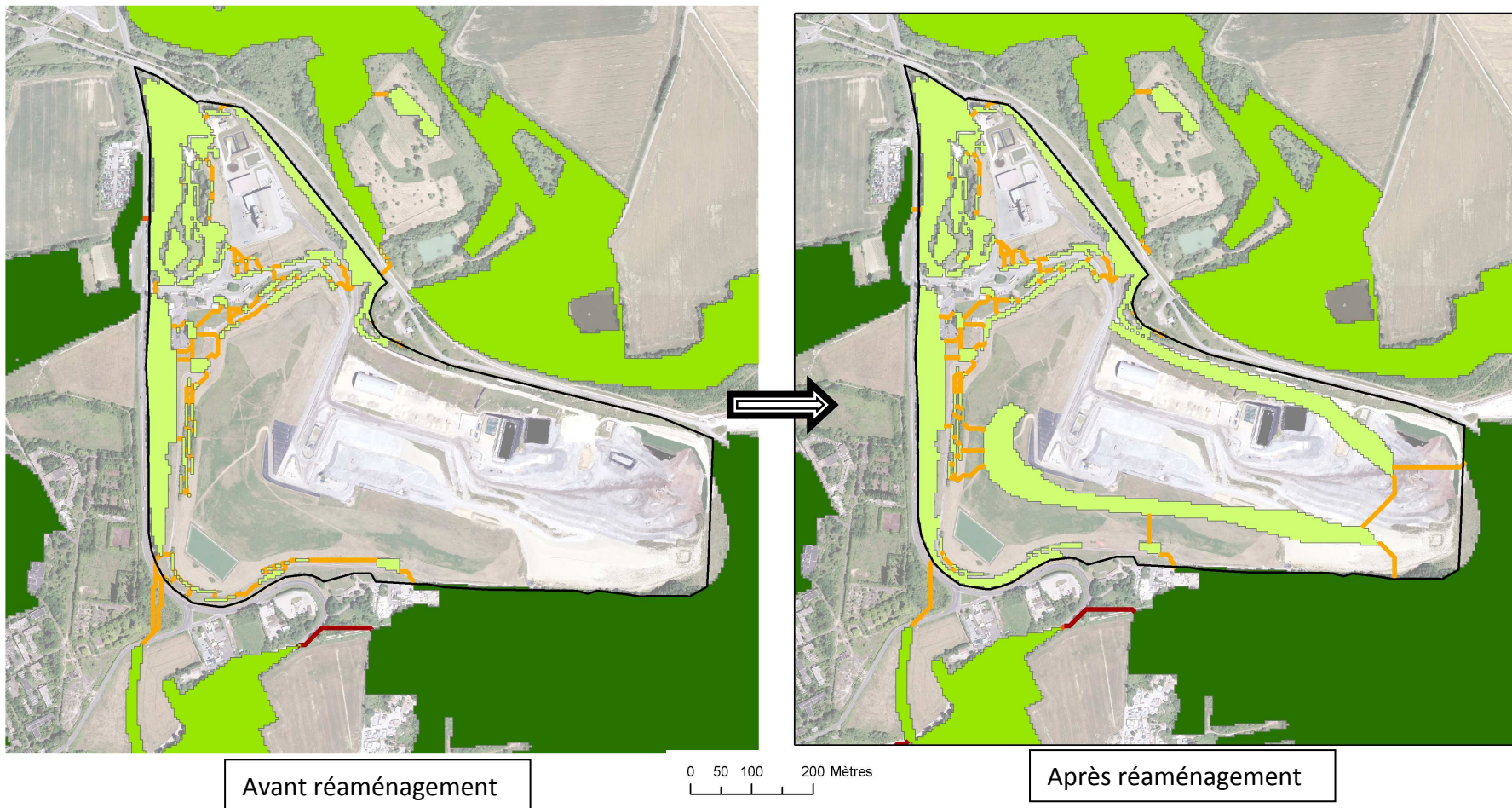
Figure 16 - Hiérarchisation des habitats et corridors forestiers selon leur potentialité dans la continuité écologique. Cas des espèces à moyenne dispersion dans une zone tampon de 5km

#### 4) Scénarios d'aménagements

Un scénario d'aménagement a ensuite été testé (Figure 17). Il est basé sur les préconisations effectuées à l'issue de la mise en place d'un Indice de Potentialité Ecologique sur le site en 2015 (*Delzons et Thierry, 2015*). Ainsi, une plantation de haies a été simulée sur le site, et le résultat en termes de connectivité a pu être comparé entre l'état antérieur à l'aménagement et post-aménagement. Il en ressort que la plantation de haies sur le site permettrait d'améliorer la connectivité entre les deux massifs forestiers situés de part et d'autre de l'ISD et ainsi diminuer son effet fragmentant dans le paysage. Des aménagements adéquats peuvent donc contrer le caractère fragmentant de ce site industriel pour les espèces forestières et favoriser l'intégration du site au sein des réseaux écologiques.

Notons que le corridor forestier potentiel identifié sur le site suite à la plantation de haies est considéré comme étant de faible importance pour la connectivité. Ceci s'explique dans la mesure où les surfaces en habitat favorable du site sont réduites par rapport aux massifs forestiers extérieurs au site. Un aménagement forestier sur la totalité de l'emprise du site augmenterait fortement son importance relative dans la sous-trame forestière, mais ceci se ferait au détriment des habitats ouverts. Or, il a été mis en évidence que les espaces ouverts du site présentaient un intérêt très fort pour la sous-trame herbacée. Il semble donc nécessaire de trouver un compromis entre ces deux impératifs contradictoires, afin que le site conserve sa place dans les réseaux d'espaces ouverts, tout en augmentant son poids dans la trame forestière.

Ces éléments ont pu être mis en perspective avec le plan d'aménagement du site, confortant ainsi la proposition faite de conserver de vastes prairies sur le site, associées avec des boisements et des haies champêtres, orientées est-ouest. Ces conclusions sont à mettre en perspective avec les éléments de discussion détaillés dans la partie suivante, qui mettent en avant des questionnements et des points d'amélioration possibles de la méthode proposée initialement.



**Corridors forestiers potentiels**

Importance dans la continuité écologique

- Faible
- Moyenne
- Forte

**Habitats forestiers**

- Faible contribution
- Moyenne contribution
- Forte contribution

Figure 17 - Exemple d'un scénario d'aménagement pour la sous-trame forestière



**PARTIE 4 :  
DISCUSSION**

## I) La plus-value de l'échelle locale

L'étude réalisée au niveau du site industriel montre l'intérêt de modéliser les corridors écologiques à l'échelle locale. Elle permet notamment de mettre en lumière de nouvelles continuités écologiques et de confirmer celles mises en évidence dans le SRCE. Ainsi, une continuité écologique décrite à une échelle locale peut potentiellement être intégrée dans un ensemble beaucoup plus vaste, identifié à des niveaux supérieurs (*Liénard et Clergeau, 2011*). En effet, une étude des corridors à une échelle aussi fine met en évidence des structures paysagères négligeables à une échelle plus large, mais qui finalement jouent un rôle déterminant dans le déplacement des espèces à faible et moyenne dispersion. C'est le cas notamment du continuum herbacé présent au niveau de Villeparisis. Ce dernier contribue de façon importante à la connectivité à l'échelle locale mais n'est pas considéré au niveau des échelles supérieures.

Une telle finesse dans les résultats obtenus est permise par la précision de la carte d'occupation du sol. A cette échelle, il est possible de considérer des éléments du paysage de faible surface tels que des haies, de petits plans d'eau, des routes... qui apportent plus de détails et donc favorisent un tracé de corridors plus réalistes. L'un des avantages qui apparaît alors est le fait qu'à l'échelle d'un site, il est possible de disposer de données de terrain précises (inventaires faunistiques, éléments locaux de fragmentations...). Travailler à l'échelle du site permet également de localiser précisément les zones à enjeux et les principaux points de conflits à l'origine d'une rupture de la connectivité écologique (*Jakiel et Bernatek, 2015*). C'est donc une échelle pertinente d'un point de vue opérationnel pour la mise en place d'actions locales en faveur de la connectivité.

## II) Retour sur la méthode employée

La majorité des outils reposent sur des techniques de cartographie et de SIG ou font intervenir des paramètres complexes qui ne sont pas toujours facilement exploitables par des non-spécialistes tels que les gestionnaires. Or, ce sont eux qui ont la possibilité de jouer un rôle dans le maintien de la connectivité à l'échelle locale. C'est un des enjeux de la méthode proposée ici, qui se veut à la fois pertinente et accessible pour les non-spécialistes.

### 1) Limites de la démarche

Lors des tests sur le site industriel de Villeparisis, les résultats obtenus par les logiciels Graphab et Spatial Analyst semblent prometteurs mais doivent toutefois être interprétés avec précaution. Il est essentiel de préciser qu'il n'y a pas de méthode idéale et absolue pour évaluer la connectivité. En effet, la continuité d'un paysage relève de phénomènes complexes qui s'interprètent à différentes échelles spatio-temporelles ; il est donc difficile d'établir un consensus afin de mettre en place une méthode standardisée (*Spaggiari et al., 2010 ; Bernier et Théau, 2013*). La méthode définie doit tenir compte des objectifs visés et être établie en toute connaissance des biais méthodologiques principalement dus aux lacunes actuelles de connaissances scientifiques. Lors de la mise en place de la méthode, nous avons ainsi dû faire des choix appuyés sur des dires d'experts.

#### a) Limites liées aux données spatiales

La carte d'occupation du sol utilisée pour le test sur le site de Villeparisis a été créée grâce à l'utilisation de données cartographiques disponibles et mobilisables. Ces ressources, en l'occurrence le MOS et l'ECOMOS, sont produites à partir de photo-interprétation et de télédétection et sont peu actualisées : les cartographies les plus récentes datent respectivement de 2008 et 2012. Le paysage évolue constamment, et cela est d'autant plus marqué dans les zones où l'urbanisation est croissante, comme c'est le cas pour le site de Villeparisis. Entre 2008 et 2012, de nombreux habitats ont été modifiés. Les changements

d'occupation du sol ont pu être mis en évidence grâce à la photo-interprétation sur orthophotographies datant de 2014. De plus, nous avons noté que le MOS et l'ECOMOS, pourtant réalisés au 1/5000<sup>ième</sup>, manquaient parfois de précision, notamment en ce qui concerne les infrastructures telles que les voies. Ces dernières ne sont en effet pas représentées dans leur intégralité (cas par exemple d'une route traversant un massif forestier : seule la partie visible de la route sera représentée sur la cartographie, interrompue par une zone forestière). Cela a pour conséquence de créer un biais important une fois la carte importée dans Graphab, des corridors pouvant être identifiés par erreur. Le MOS et l'ECOMOS ne prennent pas non plus en compte les micro-habitats et n'identifient pas les petites haies ou les layons forestiers. Or, ils sont importants pour la mobilité de certaines espèces et pourraient constituer des corridors. Par ailleurs, les tests effectués avec Spatial Analyst pour les espèces à faible capacité de dispersion ont montré la difficulté pour le logiciel d'identifier clairement un gradient de dispersion, la carte d'occupation manquant de précision.

Par conséquent, les résultats obtenus à l'issue de cette méthode peuvent comporter des biais provenant uniquement des données d'origine qui ont servi de référence. Il sera nécessaire de préciser et de mettre à jour ces données, par une prospection sur le terrain par exemple, afin de fiabiliser l'analyse.

### **b) Limites liées aux choix méthodologiques**

Comme indiqué précédemment, nous avons effectué plusieurs choix méthodologiques (échelle spatiale d'analyse, choix des métriques, représentations cartographiques, etc.) qu'il convient de questionner.

Nous avons par exemple choisi de simplifier les catégories d'habitats dans le but de limiter les erreurs liées à la photo-interprétation, principalement lorsque celle-ci est réalisée par des personnes non expertes. L'impact de cette simplification sur le résultat final pourrait faire l'objet d'une analyse spécifique, l'objectif étant de définir la catégorisation optimale en fonction des objectifs visés et donc des résultats attendus.

Par ailleurs, la hiérarchisation des corridors et des habitats en trois catégories est subjective : il n'y a pas de seuil qui détermine à partir de quelle valeur de dlIC nous pouvons considérer qu'un corridor ou un habitat est essentiel à la continuité. Un travail sur la représentation cartographique des résultats serait également à mener.

En ce qui concerne les espèces cibles, nous avons pris la décision de ne pas prendre en compte certaines espèces, notamment les chiroptères et l'avifaune. En effet, leur déplacement n'est pas toujours en lien direct avec la structure éco-paysagère, bien que certains éléments du paysage puissent être survolés préférentiellement (suivi des haies par des chauves-souris par exemple). Citons le cas des oiseaux qui ne sont pas dérangés dans leur mobilité par la présence d'un canal, alors que celui-ci est considéré comme une barrière infranchissable pour beaucoup d'espèces terrestres.

L'utilisation d'espèces théoriques représentatives d'une sous-trame et non pas d'une espèce réelle présente au sein du site d'étude pourrait aussi être contestée. Toutefois, un de nos objectifs est de mettre en place une méthodologie applicable dans toute la France et le choix d'une espèce fictive représentative d'une guildes d'espèces paraît être plus facilement reproductible.

Par ailleurs, certains facteurs pouvant influencer le déplacement de certaines espèces n'ont pas été considérés lors de la modélisation des corridors. C'est le cas par exemple de la topographie qui peut fortement influencer les déplacements des espèces, notamment dans les zones très accidentées.

La méthode reste en cours de développement et sera donc susceptible d'évoluer suite à de nouveaux tests, notamment afin de limiter les biais techniques et rendre les résultats plus fiables. Un panel plus large de métriques et de représentations pourra également être testé.

## 2) Vers une démarche standardisée



L'objectif est d'obtenir une méthode applicable à tout site présent sur le territoire national. Grâce aux résultats obtenus pour le site de Villeparisis, un premier bilan peut être réalisé.

- **Choix du logiciel**

Pour mener à bien cette méthodologie, l'utilisation du logiciel Graphab semble être le plus pertinent, avec éventuellement l'utilisation de Spatial Analyst en complément. Pour aller plus loin, le logiciel Conefor pourra être testé par la suite afin de donner une valeur aux taches d'habitats en fonction de leur importance dans le réseau de connectivité.

- **Taille de l'aire d'étude**

Dans notre cas d'étude, la zone tampon de 5 km permet d'obtenir une vision d'ensemble et de replacer le site d'étude au sein du paysage écologique. Prendre en compte une zone tampon plus large que la surface d'intérêt permet également d'éviter l'effet de lisière, qui tend à faire diminuer l'importance des taches périphériques. Un périmètre plus restreint autour du site d'étude (zone tampon d'1km) permet quant à lui de faire ressortir des petits éléments du paysage sur lesquels le gestionnaire de site est en mesure de pouvoir agir directement. C'est donc une échelle pertinente par rapport à la capacité d'action des gestionnaires mais qui doit être mise en perspective avec les analyses à plus large échelle. Rappelons ici que le temps nécessaire à la réalisation de la cartographie va dépendre directement de la taille de l'aire d'étude retenue.

- **Une approche multi-scalaire**

Il est indispensable de vérifier que les résultats obtenus à une échelle locale sont cohérents avec les niveaux supérieurs. Cette approche aux différentes échelles spatiales permet également de replacer les objectifs d'aménagement, de gestion ou de restauration des sites industriels par rapport aux enjeux de biodiversité du territoire et aux plans d'actions en faveur de la biodiversité qui y sont définis.

- **Importance de la carte d'occupation du sol**

La finesse de la carte d'occupation du sol est une base essentielle pour obtenir des résultats fiables. Si des ressources cartographiques sont disponibles, il est important que ces

dernières aient été réalisées à une échelle fine (1/5000<sup>ème</sup> par exemple) et qu'elles soient récentes. Des prospections sur le terrain pour affiner la carte permettront d'obtenir des résultats plus réalistes. Ce travail de terrain pourrait également informer sur la présence d'éléments fragmentant (barrières) ou au contraire d'éléments favorisant la continuité (passages à faune) qui ne seraient pas renseignés dans les ressources cartographiques.

- **Une vision par sous-trame**

Chaque continuum sera bénéfique pour une guildes d'espèces, mais pourra être défavorable à la dispersion d'une autre. Il est important de bien distinguer les résultats obtenus selon plusieurs modalités, par exemple chaque sous-trame de la TVB ou par guildes d'espèces cibles.

- **Le rendu cartographique**

Cette méthode doit pouvoir fournir un rendu clair et facilement interprétable. Le tracé des corridors et la hiérarchisation proposés par Graphab ont été déterminants lors de la sélection de cet outil. Ainsi, Graphab permet à la fois d'estimer la contribution d'un site aux réseaux écologiques, mais également d'avoir des pistes d'actions potentielles à mettre en place, ou au contraire de faire ressortir des secteurs à préserver.

### III) Un outil d'aide à la décision pour les aménagements

Malgré les biais exposés, les résultats permettent de poser les premiers jalons d'une méthode pour l'identification de corridors écologiques à une échelle locale qui permettrait notamment de mettre en évidence les zones d'intérêt pour les continuités, en particulier les zones à préserver ou à restaurer.

Le rendu cartographique obtenu à l'issue de la modélisation permet de mieux visualiser l'importance du site au sein d'une sous-trame et de mieux mesurer l'impact qu'il aura sur celle-ci. Ce cas de figure est visible au niveau du site industriel de Villeparisis qui se situe au cœur d'un enjeu forestier important. La déconnexion des habitats forestiers du site avec les habitats périphériques a été mise en évidence. Afin d'améliorer la connectivité, des aménagements sont envisageables tels que des passages à faune ou l'augmentation des zones boisées par la plantation de bois ou de haies, ce qui renforcera ainsi le poids relatif du site dans les continuités. C'est ce qui a été montré par le test d'un scénario d'aménagement avec la plantation de haies sur le site de Villeparisis. Cet aménagement favorise ainsi l'intégration du site dans la sous-trame forestière, en créant un corridor potentiel qui passe par le site et relie les deux massifs forestiers situés à l'extérieur de celui-ci.

En revanche, la prairie présente au centre du site contribue actuellement fortement à la connectivité au sein du continuum herbacé et possède un poids important dans les réseaux écologiques locaux. Cependant, la question se pose quant à la fonctionnalité réelle de ce milieu. Cela souligne la nécessité de mettre en place une gestion réfléchie de cet habitat, pour préserver ou augmenter sa qualité et sa fonctionnalité, afin de ne pas dégrader ou interrompre cette connectivité, voire de la renforcer.

Les objectifs de gestion doivent donc prendre en compte les différentes sous-trames et des compromis doivent être trouvés en fonction des enjeux identifiés, un site pouvant difficilement participer de façon importante à toutes les sous-trames.

La méthode développée permet de tester des scénarios d'aménagements afin de mieux évaluer les impacts, positifs ou négatifs, qu'un projet déjà défini pourrait engendrer. Le gestionnaire peut par ailleurs élaborer un projet d'aménagement en testant divers emplacements pour un même habitat, selon le gain de connectivité qu'ils procureraient. Prenons l'exemple d'un gestionnaire de site qui souhaiterait améliorer la connectivité de la sous-trame aquatique sur son terrain par la mise en place de mares, un enjeu fort y ayant été identifié. Le logiciel Graphab testera les emplacements possibles puis permettra de valider celui qui procurera un gain maximal de connectivité. La relation inverse est également envisageable : il est possible d'identifier les zones qui seront les moins sensibles à la construction d'un aménagement défavorable à la biodiversité (cas de la construction d'une route par exemple) (Foltête et al., 2014).

Par ailleurs, un plan de gestion ne prend pas uniquement en compte des enjeux relatifs à la connectivité. Les gestionnaires ont donc la possibilité de tester si leurs aménagements sont bénéfiques ou non pour la connectivité, même si ce n'était pas le but initial. Cette méthode ne concerne pas seulement l'identification des corridors en vue d'en créer, elle permet également d'identifier les zones à restaurer, à agrandir, voire à aménager selon les enjeux.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'échelle locale est tout à fait pertinente pour l'étude des réseaux écologiques, notamment d'un point de vue opérationnel pour la mise en place d'actions locales en faveur de la connectivité. La méthode présentée dans ce rapport permet d'identifier les continuités écologiques à l'échelle d'un site, mais également de fournir aux aménageurs un outil robuste leur permettant d'évaluer les effets de leurs projets sur l'environnement et de comparer différents scénarios, tout en les replaçant dans un contexte plus global. Cette méthode reste cependant en cours de développement et sera susceptible d'évoluer suite à son application dans des contextes variés. Une réflexion élargie à l'échelle d'un réseau de sites pourrait également être menée par la suite.

## Bibliographie générale

Allag-Dhuisme F., Amsallem J., Barthod C., Deshayes M., Graffin V., Lefeuvre C., Salles E. (coord), Barnetche C., Brouard-Masson J, Delaunay A., Garnier CC, Trouvilliez J. (2010). *Choix stratégiques de nature à contribuer à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques – premier document en appui à la mise en oeuvre de la Trame verte et bleue en France*. Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue. MEEDDM ed. 52 p.

Allag-Dhuisme F., Amsallem J., Barthod C., Deshayes M., Graffin V., Lefeuvre C., Salles E. (coord), Barnetche C., Brouard-Masson J, Delaunay A., Garnier CC, Trouvilliez J. (2010b). *Guide méthodologique identifiant les enjeux nationaux et transfrontaliers relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques et comportant un volet relatif à l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique – deuxième document en appui à la mise en oeuvre de la Trame verte et bleue en France*. Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue. MEEDDM ed. 83 p.

Amsallem J., Deshayes M., Bonnevialle M. (2010). *Analyse comparative de méthodes d'élaboration de trames vertes et bleues nationales et régionales*. Sciences, Eaux et Territoires, numéro 3. 34-39.

ARPE PACA - Unité biodiversité et espaces naturels. (2015). *Analyse des continuités écologiques : le cas des piémonts agricoles de l'arrière-pays provençal*. Guide méthodologique. 96 p.

Avon C., Bergès L. (2014). *Outils pour l'analyse de la connectivité des habitats*. Convention Irstea - MEDDE DEB. 33 p.

Baudet C. (2013). *Elaboration de corridors écologiques sur le territoire du SCoT de l'agglomération de Metz*. Rapport de stage de Master 2 en écologie sous la direction de Julien Sorret. Asconit consultants. 46 p.

Bernier A., Théau J. (2013). *Modélisation de corridors écologiques et impacts des choix méthodologiques sur leur configuration spatiale : analyse de cas en Estrie (Québec, Canada)*. *Vertigo - revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 13, n°2. DOI 10.4000/vertigo.14105.

Besnard B. (2014). *Ensemble, valorisons la trame verte et bleue en Haute-Normandie - Guide pratique à l'usage des collectivités, pour la déclinaison des continuités écologiques à l'échelle locale, en application du SRCE* - éd. Région Haute-Normandie, 154 pages.

Bennett A. F. (2003). *Linkages in the landscape - the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN. 262 p.

Bergès, L. Roche P., Avon C. (2010). *Corridors écologiques et conservation de la biodiversité. Intérêts et limites pour la mise en place de la Trame Verte et Bleue*. *Sciences, Eaux et Territoires*, 3, 34-39. URL : [www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2010-3-page-34.htm](http://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2010-3-page-34.htm).

Burel F., Baudry J. (1999). *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*. Technique & Documentation. 362 p.

Berthoud G. (2010). *Guide méthodologique des réseaux écologiques hiérarchisés. Dix années d'expériences en Isère*. 139 p.

Bourdil C., Vanpeene-Bruhier S. (2013). *Séquence ERC et Continuités écologiques. Réflexions sur la prise en compte des atteintes portées aux continuités écologiques dans la compensation des projets d'aménagement. Note d'analyse bibliographique*. Irstea. 62 p.

Brimont F. (2010). *La trame Verte et bleue dans les territoires du Nord-Pas-de-Calais. Tome 1 - Comment passer à l'action ?* Espaces naturels régionaux. 48 p.

Brouard-Masson J., Cheret M., Letessier L. (2013). *Trame verte et bleue et documents d'urbanisme - Guide méthodologique.* Ministère de l'écologie, 54 p.

Delzons O., Thierry C. (2015). *Evaluation de la biodiversité des sites de SUEZ RVF : Indicateur de Potentialité Ecologique du site de Villeparisis, 2015.* Service du Patrimoine Naturel, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 85 p.

Delzons O., Thierry C. (2017). *Les sites industriels et la Trame Verte et Bleue. Guide à l'attention des gestionnaires de sites pour la prise en compte des réseaux écologiques.* Service du Patrimoine Naturel, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 19 p.

ECOSPHERE, SPN-MNHN, Llorens A.-M., SITA France. (2014). *Guide pour l'intégration de la biodiversité à la gestion des Installations de Stockage de Déchets.* Collection Savoirs et Devoirs, Sita France. 282 p.

Elleboode C., Bernard C. (2009). *Cartographie du réseau écologique sur le territoire de la région Centre.* Rapport Biotope. 60 p.

Foltête J.-C., Clauzel C., Vuidel G. (2012). *A software tool dedicated to the modelling of landscape network.* Environmental Modelling & Software, 38, 316-327.

Foltête J.-C., Girardet X., Clauzel C. (2013). *A methodological framework for the use of landscape graphs in land-use planning.* Landscape and Urban Planning. Vol 124, 140-150.

Galpern P., Manseau M., Fall A. (2011). *Patch-based graphs of landscape connectivity : A guide to construction analysis and application for preservation.* Biological Conservation, 144, 44-55.



Goddard M. A., Dougill A. J., Benton T. G. (2010). *Scaling up from Gardens: Biodiversity Conservation in Urban Environments*. Trends in Ecology & Evolution 25, no. 2, 90–98. DOI 10.1016/j.tree.2009.07.016.

Grimm A., Ramirez A.-M.-P., Moulherat S. (2014). *Life history trait database of European reptile species*. Nature Conservation, 9, 45-67.

Gutzwiller K. (2002). *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. Springer Science & Business Media New York, 518 p. DOI 10.1007/978-1-4613-0059-5.

Heller N. E., Zavaleta E. S. (2009). *Biodiversity Management in the Face of Climate Change: A Review of 22 Years of Recommendations*. Biological Conservation 142, no. 1, 14–32. DOI 10.1016/j.biocon.2008.10.006.

Homburg K., Homburg N., Schäfer F., Schuldt A., Assmann T. (2013). *Carabids.org : A dynamic online database of ground beetle species traits (Coleoptera, Carabidae)*. Insect Conservation and Diversity. 11 p.

Jakiel M., Bernatek A. (2015). *Assessment of an Ecological Network at Local Scale in the Context of Landscape Changes : a case study from NE Poland*. Landscape Analysis and Planning. 245-256.

Kindlmann P., Francoise B. (2008). *Connectivity Measures : A Review*. Landscape Ecology, 23, 879–890. DOI 10.1007/s10980-008-9245-4

Landas M. (2013). *Rapport d'étude – Les outils de nature contractuelle mobilisables pour la TVB*. Fédération des Parcs naturels régionaux de France. 36 p.

Liénard S., Clergeau P. (2011). *Trame Verte et Bleue : Utilisation des cartes d'occupation du sol pour une première approche qualitative de la biodiversité*. Cybergeog : European Journal of

Geography. Environnement, Nature, Paysage, document 519, Paysage, document 519.  
DOI 10.4000/cybergeo.23494.

Minor E.-S., Urban D.-L. (2008). *A graph-theory framework for evaluating landscape connectivity and preservation planning*. *Preservation Biology*, 22, 297-307.

Nature Midi-Pyrénées. (2013). *Trame verte et bleue en Midi-Pyrénées. Guide pratique*. 16 p.

Noss R.F. (1991). *Landscape connectivity : different functions at different scales*. *Landscape Linkages and Biodiversity*, Ed. W.E. Hudson, Island Press : Washington DC, 27–39.

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*, vol. 21, issue 7, 959-967.

Piel A., Vanpeene S. (2010). *Pour une analyse pratique des continuités écologiques à diverses échelles de territoire – exemple de quelques éléments méthodologiques initiés avant la trame verte et bleue*. *Sciences Eaux & Territoires*, n°3, 116-121.

Saura, S. & J. Torné. 2009. *Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity*. *Environmental Modelling & Software* 24: 135-139.

Serret H. (2014). *Espaces verts d'entreprise en Île-de-France : quels enjeux pour la diversité urbaine ?* Thèse en écologie sous la direction de Nathalie Machon. Muséum National d'Histoire Naturelle. 251 p.

Sordello R., Conruyt-rogeon G., Merlet F., Houard X., Touroult J. (s.d.). (2013). *Synthèses bibliographiques sur les traits de vie de 39 espèces proposées pour la cohérence nationale de la Trame Verte et Bleue relatifs à leurs déplacements et besoins de continuité écologique*.

*Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) - Service du Patrimoine Naturel (SPN) et Office pour les insectes et leur environnement (Opie). 20 p. + 39 fiches.*

Soulé M. E., Terborgh J. (1999). *Conserving Nature at Regional and Continental Scales – a Scientific Program for North America*. *BioScience* 49, no. 10, 809–17. DOI 10.2307/1313572.

Spaggiari J., Ichter J., Lefeuvre J. C. (2010). *Mise au point d'une méthode d'identification des continuités écologiques dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie. Synthèse bibliographique et proposition d'une démarche*. Rapport final. Nouméa. 99 p.

Trochet A., Moulherat S., Calvez O., Stevens V., Clobert J., Schmeller D. (2014). *A database of life-history of European amphibians*. *Biodivers Data J.* 2014; (2): e4123.

Urban D., Keitt T. (2001). *Landscape connectivity : a graph-theoric perspective*. *Ecology*, 82, 1205-1218.

## Sitographie

Centre de ressources de la Trame Verte et Bleue. Consulté en août 2016 sur [www.trameverteetbleue.fr](http://www.trameverteetbleue.fr)

DRIEE Ile-de-France. SRCE d'Ile-de-France adopté (2013). Consulté en août 2016 sur [www.driee.ile-de-France.developpement-durable.gouv.fr](http://www.driee.ile-de-France.developpement-durable.gouv.fr)

Géoportail, IGN : <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>

Institut d'Aménagement et d'Urbanisme. Mode d'occupation du sol (MOS). Consulté en mai 2016 sur [www.iau-idf.fr](http://www.iau-idf.fr)

Ministère de l'environnement, de l'Energie et de la Mer (2012). La Stratégie Nationale pour la Biodiversité. Consulté en mai 2017 sur [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

Ministère de l'environnement, de l'Energie et de la Mer (2014). La Trame Verte et Bleue. Consulté en août 2016 sur [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

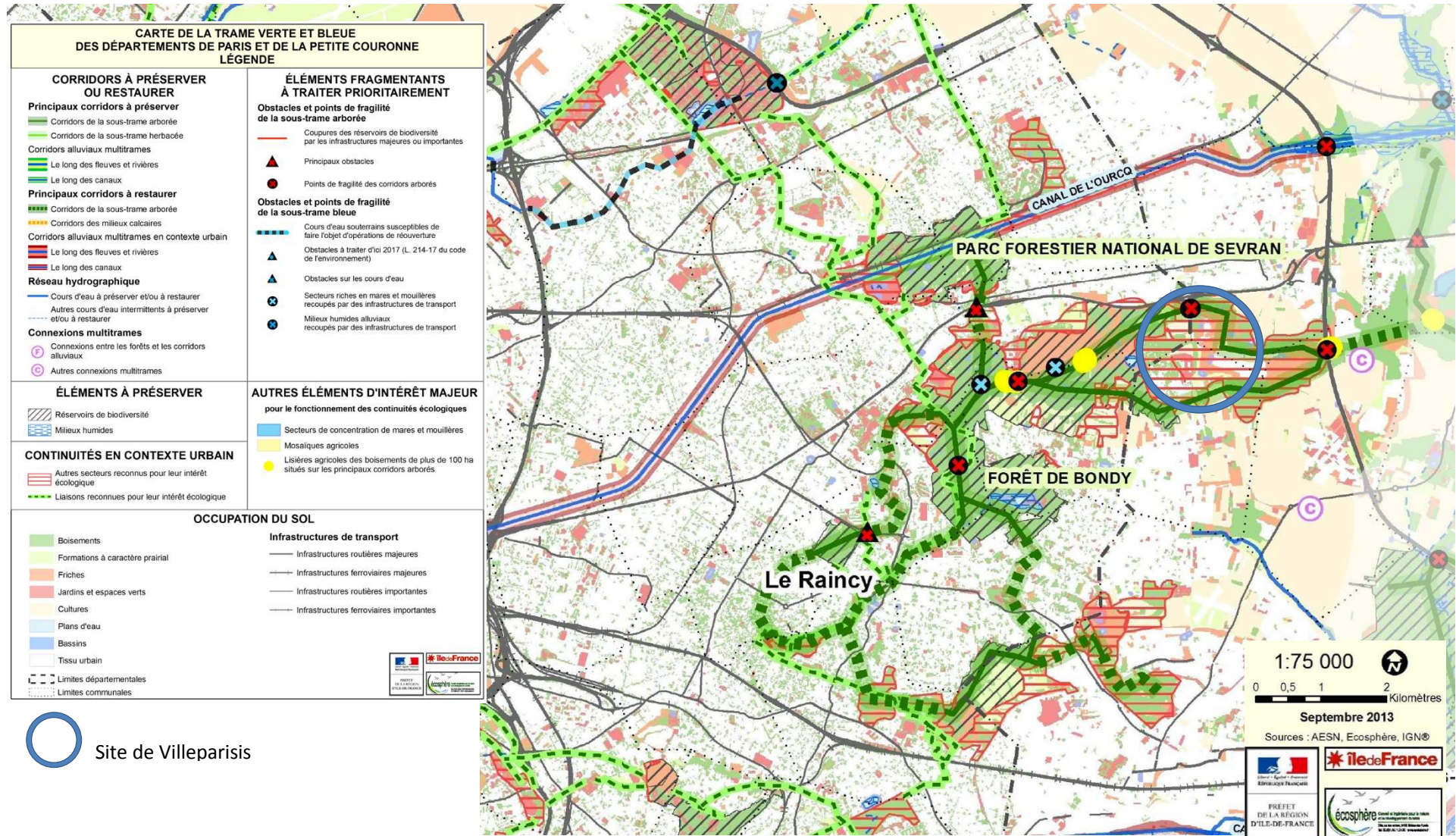
Natureparif. ECOMOS 2008 : la cartographie des milieux naturels franciliens. Consulté en mai 2016 sur [www.natureparif.fr](http://www.natureparif.fr)

Service du Patrimoine Naturel. Consulté en septembre 2016 sur [www.spn.mnhn.fr](http://www.spn.mnhn.fr)

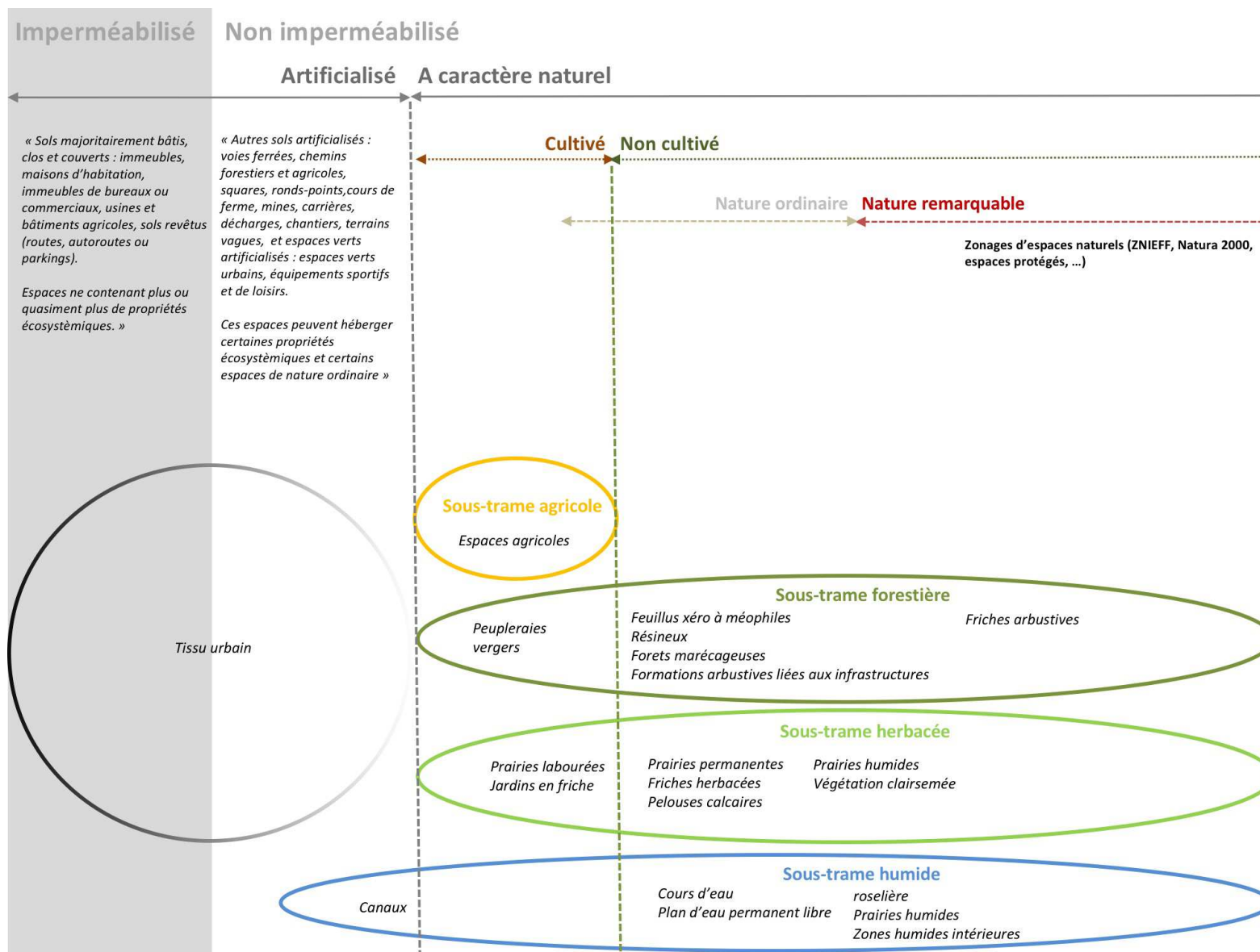
## ANNEXES

- **Annexe 1** : SRCE d'Ile de France (2013)
- **Annexe 2** : Enrichissement de la carte d'occupation du sol
- **Annexe 3** : Méthode d'utilisation de Spatial Analyst
- **Annexe 4** : Les étapes de la modélisation de la Trame forestière sous Spatial Analyst
- **Annexe 5** : Carte des coûts de déplacement au sein du continuum forestier. Cas des espèces à moyenne dispersion au sein d'une zone tampon d'1km (Spatial Analyst)
- **Annexe 6** : Méthode d'utilisation du logiciel Graphab
- **Annexe 7** : Carte du continuum forestier dans le cas d'espèces de moyenne dispersion  
au sein d'une zone tampon d'1km (superposition des résultats issus de Graphab et Spatial Analyst)
- **Annexe 8** : Hiérarchisation des habitats et corridors forestiers dans le cas d'espèces de faible dispersion au sein d'une zone tampon d'1km (Graphab)
- **Annexe 9** : Hiérarchisation des habitats et corridors herbacés dans le cas d'espèces de faible dispersion au sein d'une zone tampon d'1km (Graphab)
- **Annexe 10** : Carte du continuum herbacé dans le cas d'espèce de moyenne dispersion au sein d'une zone tampon de 5km (superposition des résultats issus de Graphab et Spatial Analyst)
- **Annexe 11** : Schéma général de la mise en place de la méthodologie d'identification des corridors écologiques à une échelle locale

## Annexe 1 : SRCE d'Ile de France (2013)



## Annexe 2 : Enrichissement de l'occupation du sol



## **Annexe 3 : Méthode d'utilisation de Spatial Analyst sous ArcGis 10**

### **ETAPE 1 : Rasterisation**

« *Spatial Analyst* » → « *Convertir* » → « *polygone vers raster* »

A partir de la carte vectorielle d'occupation du sol

### **ETAPE 2 : Reclassification selon les coefficients de rugosité**

« *Spatial Analyst* » → « *reclassification* ». Il suffit de remplacer les valeurs existantes relatives au type d'occupation du sol par les coefficients de rugosité correspondants.

### **ETAPE 3 : Extraction des zones nodales**

« *Spatial Analyst* » → « *Extraction* » → « *Extraction par attributs* ».

- Le raster en entrée est le raster issu de l'étape de reclassification précédente.
- Clause : « *value = 1* » (pour extraire uniquement les habitats dont le coefficient de rugosité est 1, c'est à dire les habitats de référence = zones nodales)

### **ETAPE 4 : Calcul du coup de déplacement**

« *Spatial Analyst* » → « *Distance* » → « *Distance de coût* »

- Raster source : le raster des zones nodales obtenu à l'issue de l'étape 3
- Raster de coût : le raster avec l'ensemble des habitats reclassés selon les coefficients de rugosité obtenu lors de l'étape 2
- Distance maximale de dispersion à préciser : 100 ou 1000 (distance exprimée en mètres)

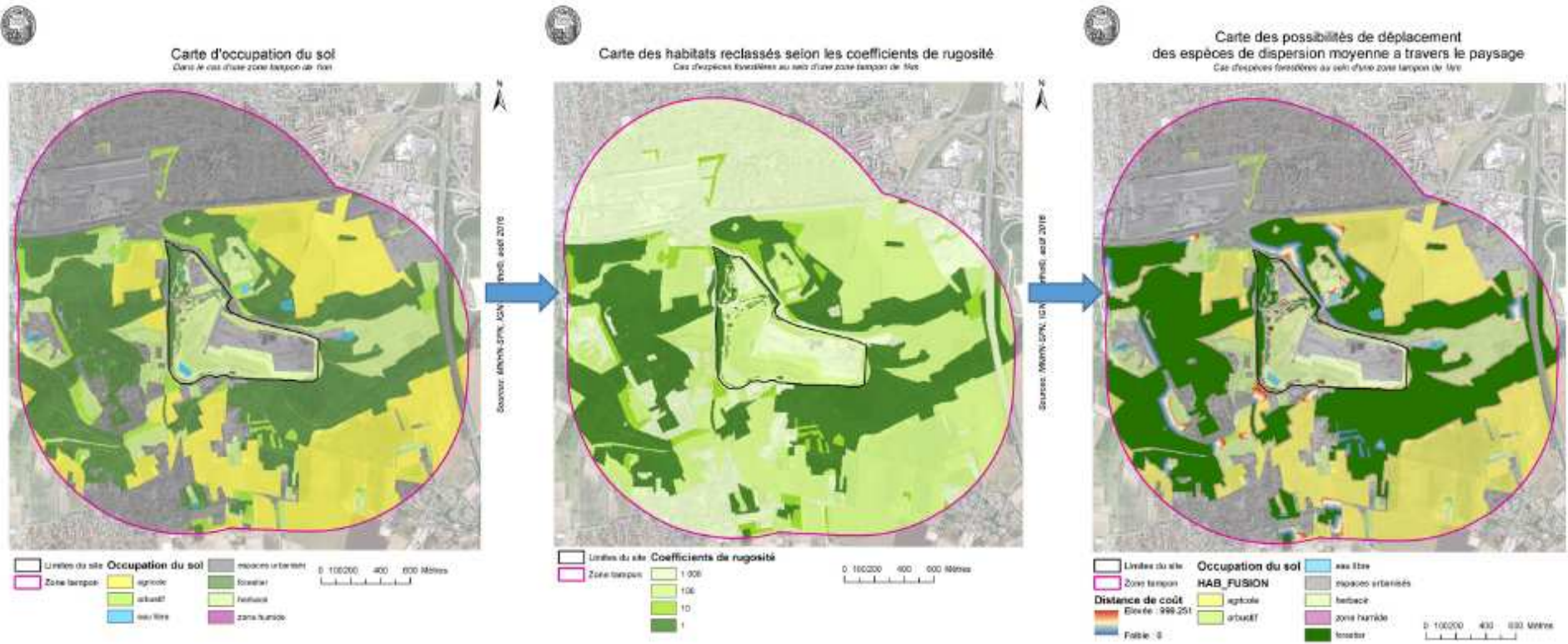
#### Sources :

Aide ArcGis ([desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox](http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox))

Roux A. (2013). *Le rôle de la Trame Verte et Bleue communale dans la préservation de la biodiversité. Étude réalisée dans le cadre de l'Inventaire de Biodiversité Communale de Berchères-sur-Vesgre. Rapport de stage Master 2 Écologie – Environnement. Zones humides continentales et littorales. Écologie, Écoingénierie, Bio-indicateurs. Université d'Angers. 41p.*



## Annexe 4 : Les étapes de la modélisation de la Trame forestière sous Spatial Analyst

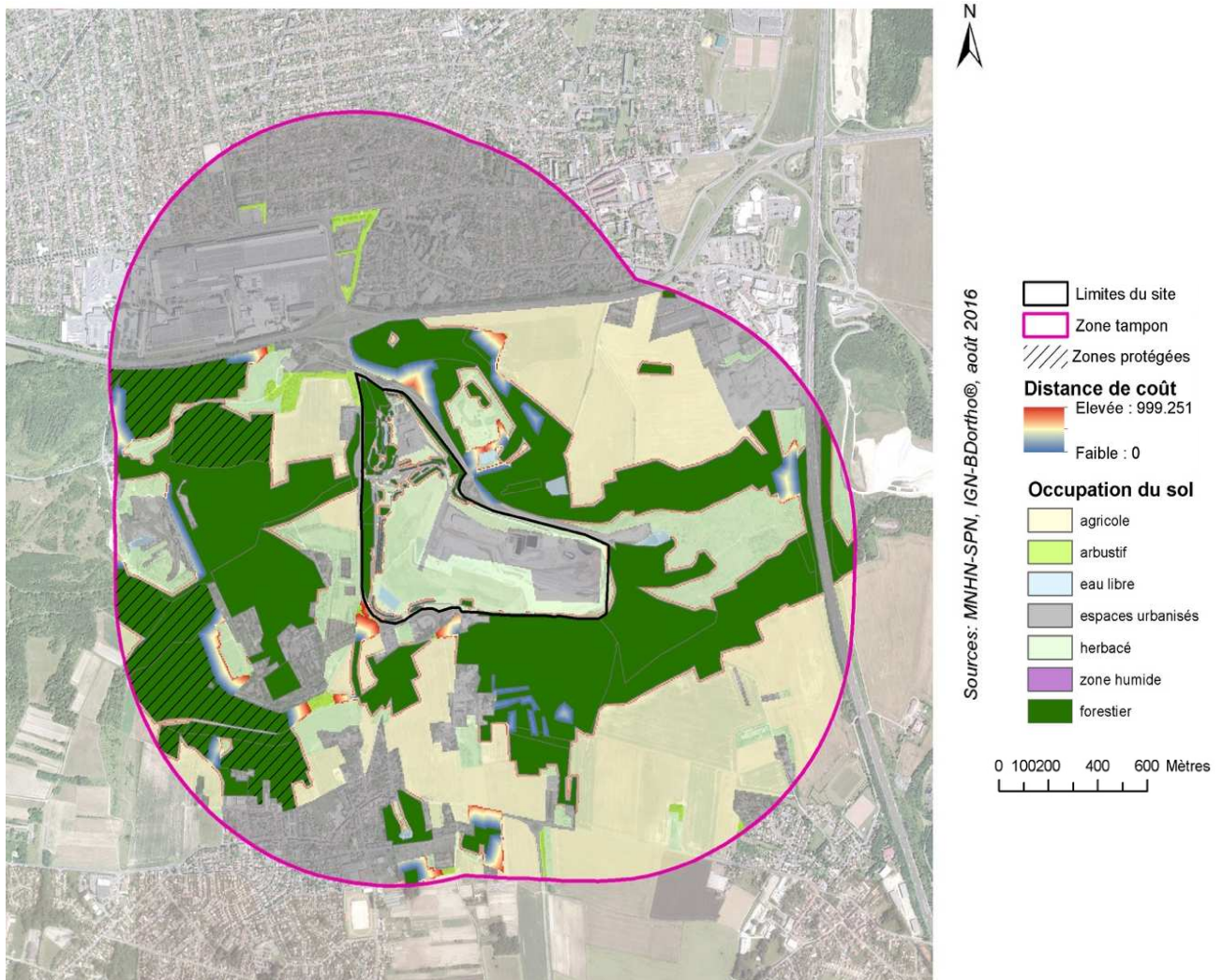


Etape 1 : rasterisation de la carte d'habitats

Etape 2 : reclassification selon les coefficients de rugosité

Etape 3 : calcul de la distance de coût

**Annexe 5 : Carte des coûts de déplacement au sein du continuum forestier.  
 Cas des espèces à moyenne dispersion au sein d'une zone tampon d'1km  
 (Spatial Analyst)**



## Annexe 6 : Méthode d'utilisation du logiciel Graphab

### ETAPE 1 : Nouveau projet

Entrer la carte d'occupation du sol au format raster (.tif)

- ➔ Vérifier que le séparateur est bien le point et non la virgule (dans panneau de configuration de l'ordinateur)

### ETAPE 2 : création d'un jeu de liens

- 1) Choix de l'habitat considéré (habitat préférentiel) selon le code qui lui est attribué dans la table attributaire du raster (ex : valeur 4 = forêt)
- 2) Si présence d'un code dans la liste qui n'est pas censé être là : le préciser *dans* « code hors-zone » afin qu'il ne soit pas pris en compte dans l'analyse.
- 3) Connexité entre les taches : 4
- 4) Typologie : complet (prise en compte de tous les liens)
  - ➔ Distance max : 5000 (distance au-delà de laquelle deux taches ne sont plus considérées comme « reliables »)
  - ➔ Cocher « *supprimer les liens traversant les taches* »
- 5) Coût à partir de la carte de paysage : rentrer les coefficients de rugosité associés à chaque habitat

### ETAPE 3 : ajout d'un graphe

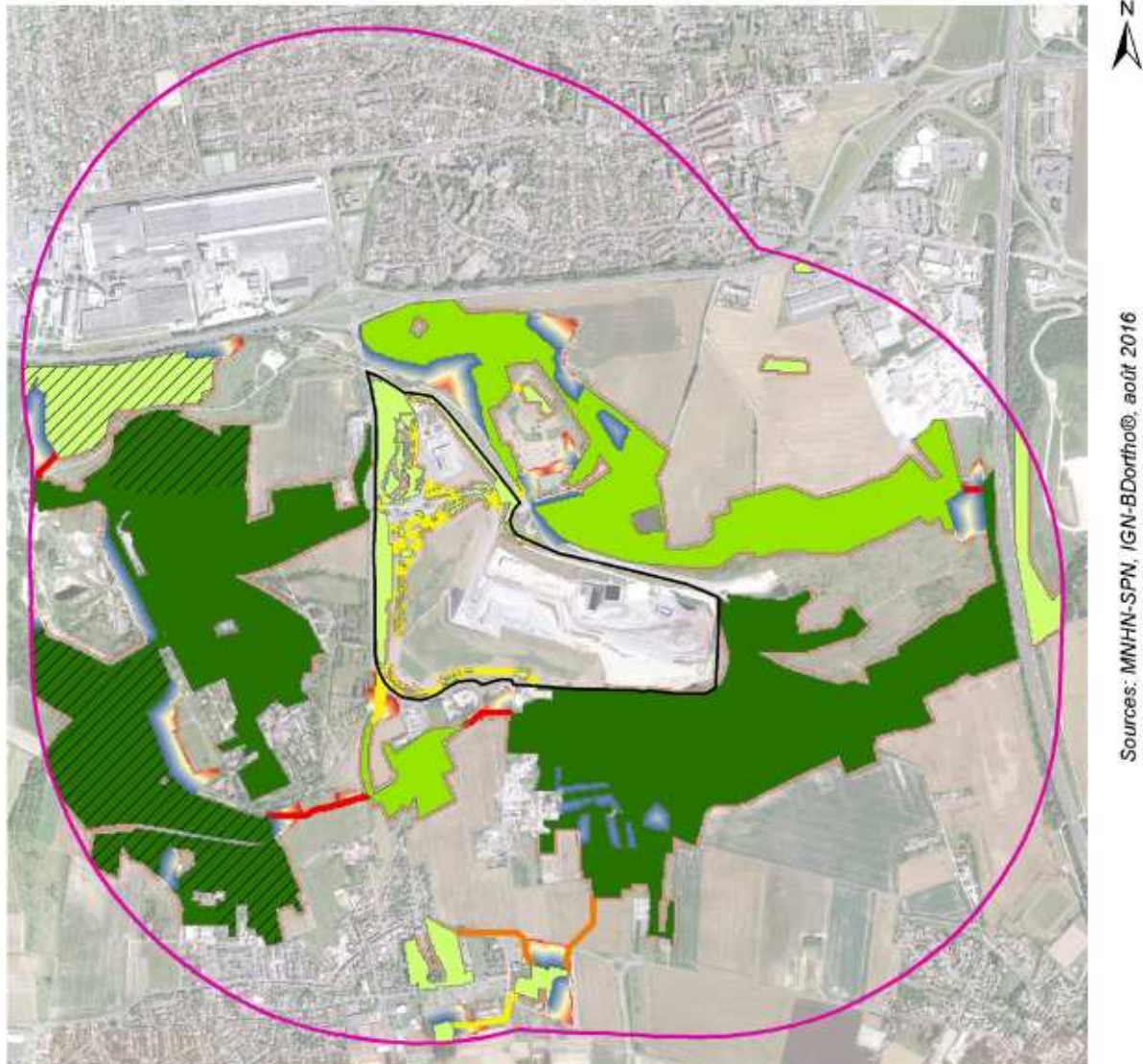
- 1) Définir la capacité des taches (indicateur de qualité des taches)
  - ➔ « données » → « définir la capacité des taches » → « surface de la tache »
- 2) Créer un graphe seuillé
  - ➔ Au préalable : déterminer la distance max qui est exprimée en unité de coût  
Pour cela : clic droit sur le jeu de lien puis « *conversion dist* », entrer la valeur en mètres de la distance maximale de dispersion → donne l'équivalence en unité de coût
  - ➔ « graphe » → « créer un graphe »
  - ➔ Dans la fenêtre de création de graphe : sélectionner le jeu de lien puis cocher « graphe seuillé » en précisant la distance exprimée en unité de coût

### ETAPE 4 : calcul des métriques de connectivité

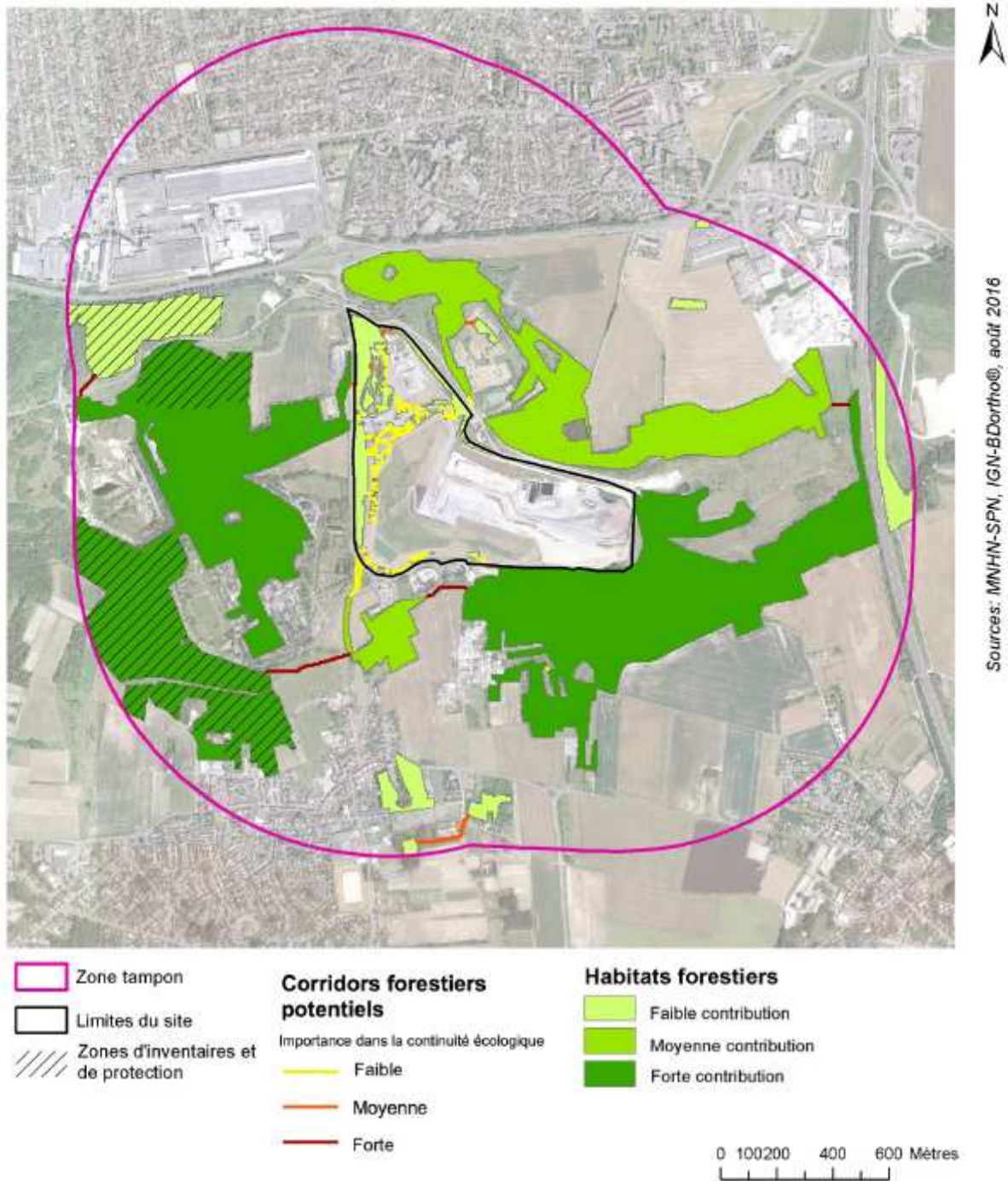
- ➔ Delta métriques (IIC appliqué sur nœuds et taches)
- ➔ Pour avoir une vue réaliste et non topologique des tracés : clic droit sur le nom du graphe puis « vue réaliste »
- ➔ Exporter les résultats en format shapefile

Les valeurs des dIIC sont présentes dans la table attributaire de la couche considérée, permettant une hiérarchisation des données.

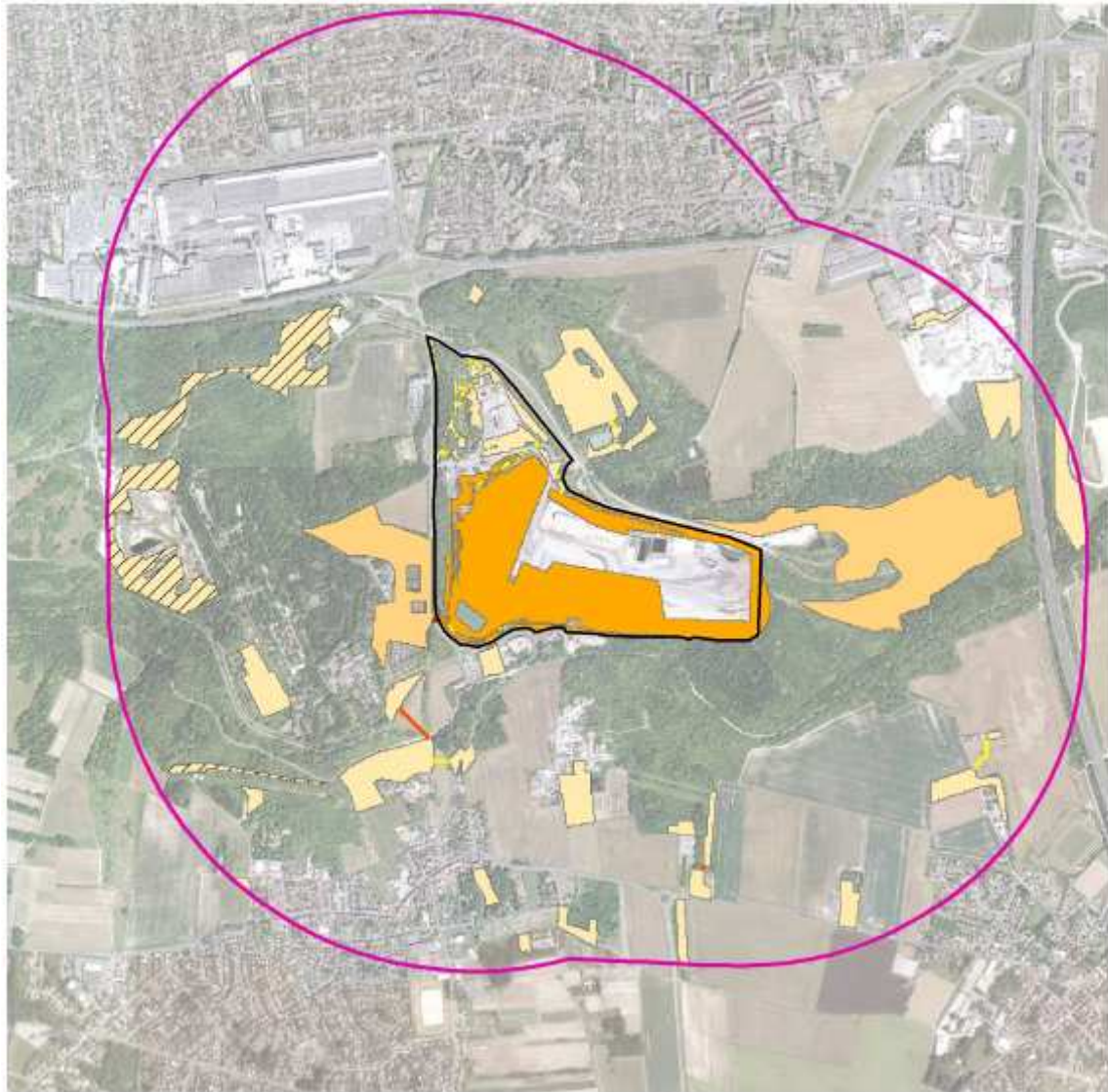
**Annexe 7 : Carte du continuum forestier dans le cas d'espèces de moyenne dispersion au sein d'une zone tampon d'1km (superposition des résultats issus de Graphab et Spatial Analyst)**



**Annexe 8 : Hiérarchisation des habitats et corridors forestiers dans le cas d'espèces de faible dispersion au sein d'une zone tampon d'1km (Graphab)**



**Annexe 9 : Hiérarchisation des habitats et corridors herbacés dans le cas d'espèces de faible dispersion au sein d'une zone tampon d'1km (Graphab)**



Sources: MNHN-SPN, IGN-BDortho®, août 2016

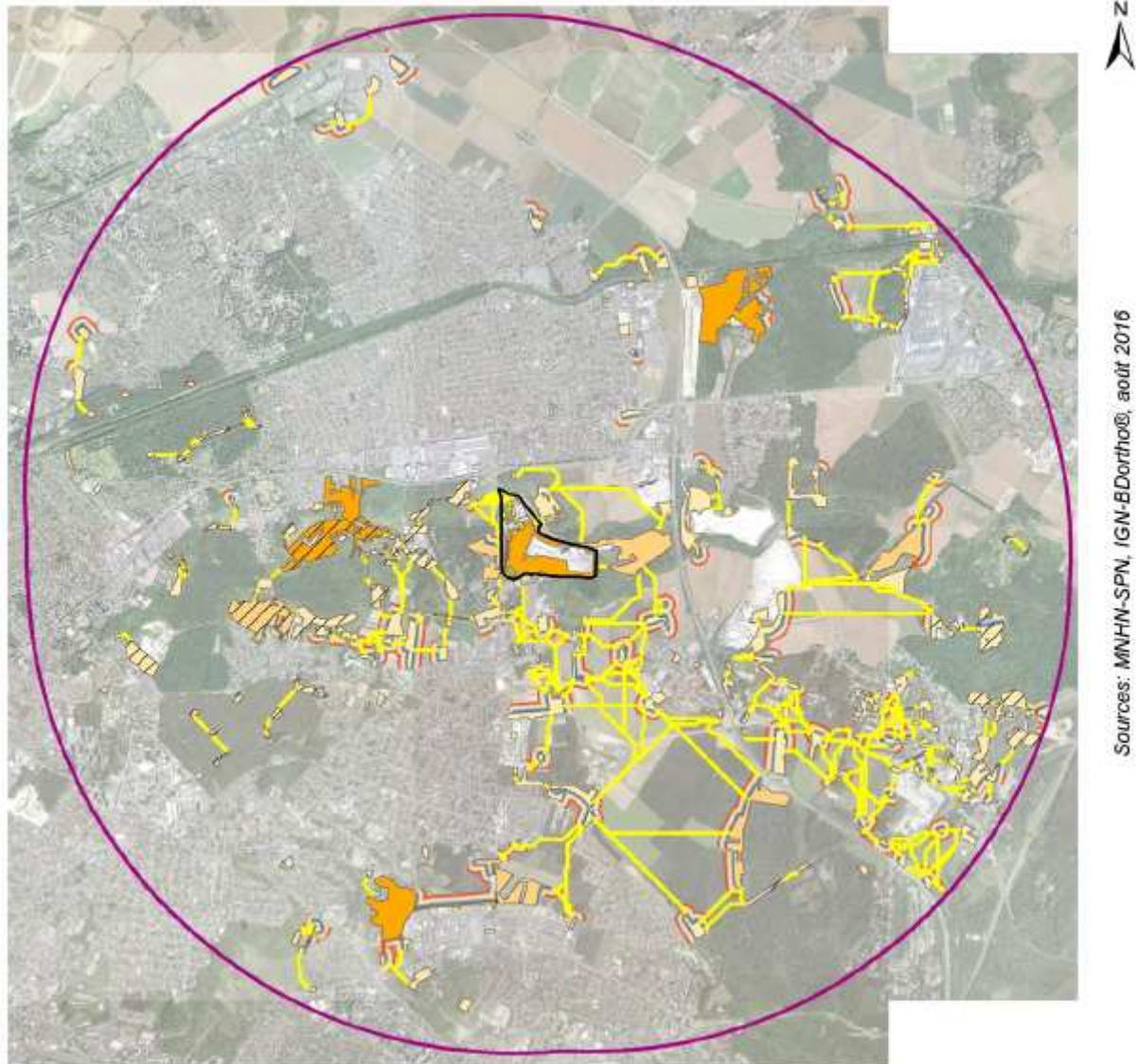
- Zone tampon
- Limites du site
- Zones d'inventaires et de protection

- Corridors herbacés potentiels**  
Importance dans la continuité écologique
- Faible
  - Moyenne
  - Forte

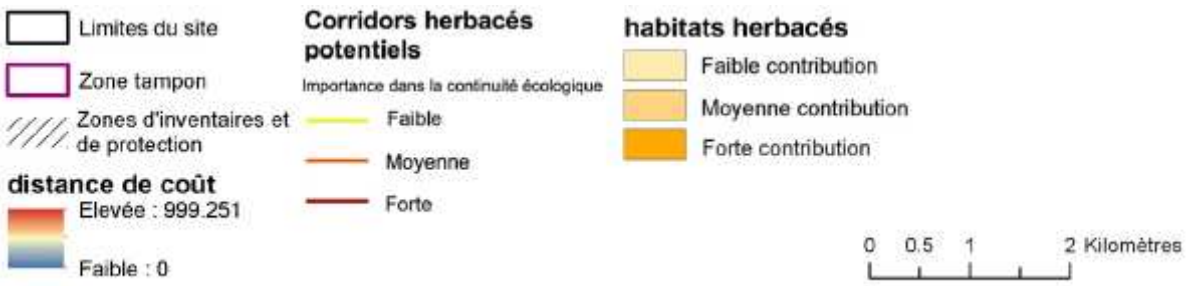
- Habitats herbacés**
- Faible contribution
  - Moyenne contribution
  - Forte contribution

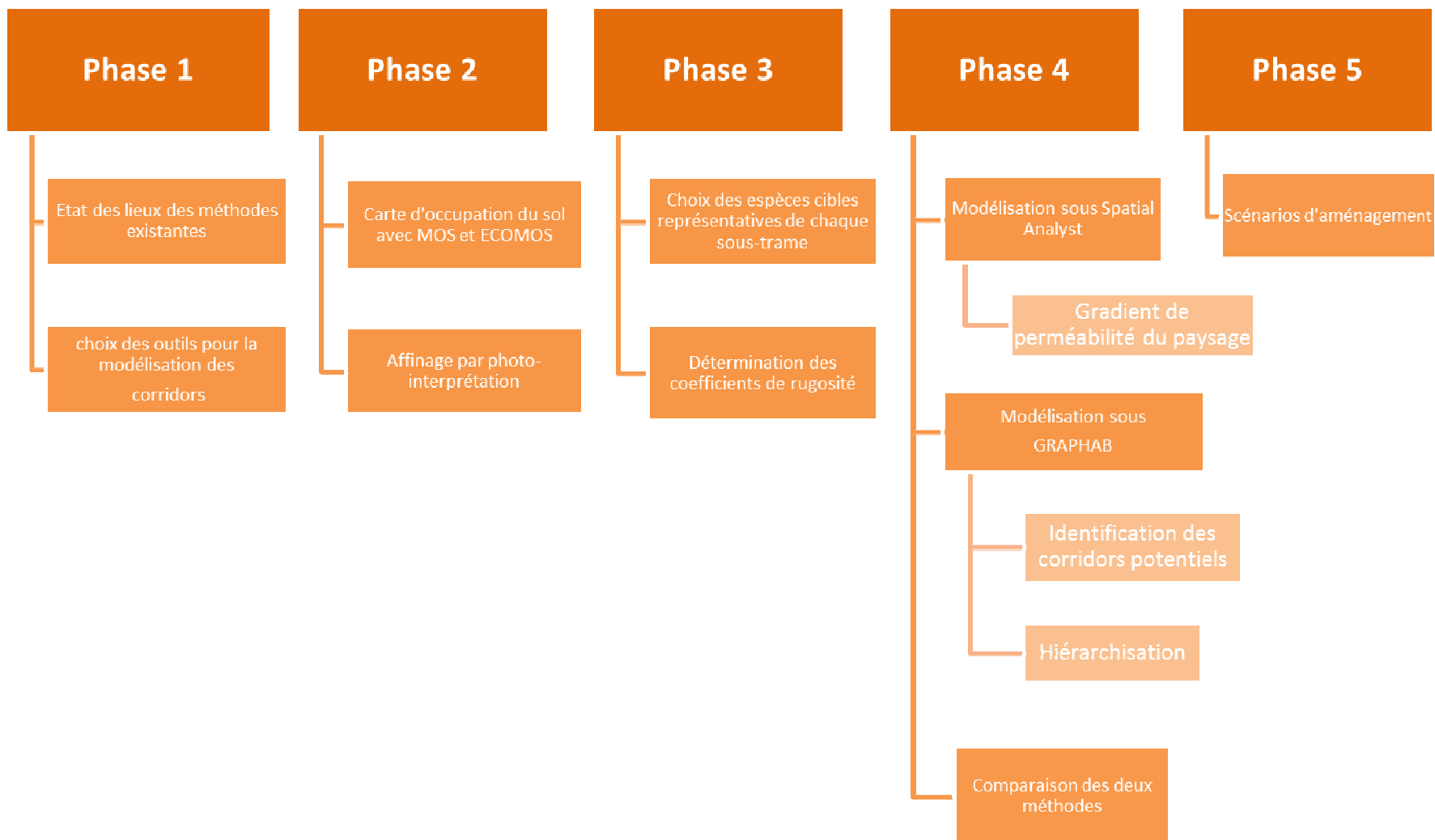
0 100 200 400 600 Mètres

**Annexe 10 : Carte du continuum herbacé dans le cas d'espèces de moyenne dispersion au sein d'une zone tampon de 5km (superposition des résultats issus de Graphab et Spatial Analyst)**



Sources: MNHN-SPN, IGN-BDortho®, août 2016





**Annexe 11 : Schéma général de la mise en place de la méthodologie d'identification des corridors écologiques à une échelle locale**





## RESUME

Parmi les causes majeures de l'érosion de la biodiversité figurent la fragmentation et la destruction des habitats qui résultent des activités humaines. Dans ce contexte, le maintien et la restauration des continuités écologiques sont essentielles pour favoriser le déplacement et la dispersion des espèces et donc préserver la biodiversité. Pour cela, il convient de limiter l'impact des activités et des usages sur les réseaux écologiques.

Ce document s'attache en particulier à présenter une démarche méthodologique pour l'obtention d'une méthode standardisée de l'étude des réseaux écologiques à l'échelle d'un site, notamment industriel.

Une première version de cette méthode a été testée sur un site pilote. Des scénarios d'aménagement ont été testés, afin de modéliser leurs conséquences prévisibles sur le paysage et les réseaux écologiques. Les apports et limites de la méthode proposée sont discutés dans une dernière partie, qui propose des pistes d'amélioration.

La méthode, en cours de développement, pourra servir d'outil d'aide à la décision pour les gestionnaires de site, en orientant leurs projets d'aménagements pour une meilleure prise en compte des réseaux écologiques.