

# Combiner modélisation spatiale et données de terrain

Un enjeu pour la gestion des réseaux écologiques

Céline CLAUZEL

LADYSS UMR 7533 CNRS  
Université de Paris (Paris Diderot)

[celine.clauzel@univ-paris-diderot.fr](mailto:celine.clauzel@univ-paris-diderot.fr)




# Mettre en réseau les habitats naturels

June 2010

## Green infrastructure

EN Nature



Europe's landscape has faced more habitat loss and fragmentation than any other continent. This is a major problem for biodiversity.

Although core nature areas are now largely protected under the Natura 2000 Network, species still need to be able to move between these areas if they are to survive in the long term.

A green infrastructure will help reconnect existing nature areas and improve the overall ecological quality of the broader countryside.

A green infrastructure will also help maintain healthy ecosystems so that they can continue to deliver valuable services to society such as clean air and fresh water.

Investing in a green infrastructure makes economic sense: maintaining nature's capacity, for instance in mitigating against the negative affects of climate change, is far more cost-effective than having to replace these lost services with much more costly man-made technological solutions.



A green infrastructure is best achieved through an integrated approach to land management and careful strategic spatial planning.

All land users and policy sectors should be engaged early on in the process of developing a green infrastructure and apportioned a share of the responsibility in its delivery.

The European Commission is developing a strategy for an EU-wide Green Infrastructure as part of its post-2010 biodiversity policy.

Rivers are an important element of green infrastructure

nature



environment



Article 10 : les Etats membres *s'efforcent d'encourager la gestion d'éléments particuliers du paysage afin d'en améliorer la cohérence écologique.*

Les éléments du paysage jugés **importants** sont ceux *qui sont essentiels à la migration, à la distribution géographique et à l'échange génétique des espèces*

# Mettre en réseau les habitats naturels



**Objectif d'Aichi n°11** : « D'ici à 2020, au moins 17 % des zones terrestres et d'eaux intérieures et 10 % des zones marines et côtières, [...], sont conservées au moyen de **réseaux écologiquement représentatifs et bien reliés d'aires protégées** gérées efficacement et équitablement. »

# Mettre en réseau les habitats naturels

## RÉSUMÉ DES PROGRÈS ACCOMPLIS DANS LA POURSUITE DE CET OBJECTIF

ÉLÉMENTS DE L'OBJECTIF (ÉCHÉANCE: 2020)	SITUATION
Au moins 17% des zones terrestres et d'eaux intérieures sont protégées	
Les aires protégées sont bien reliées et intégrées dans l'ensemble du paysage terrestre et marin	

Des initiatives existent visant la création de couloirs et de parcs transfrontières, mais ils ne sont pas encore suffisamment reliés. Les aires protégées d'eau douce demeurent très déconnectées.

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

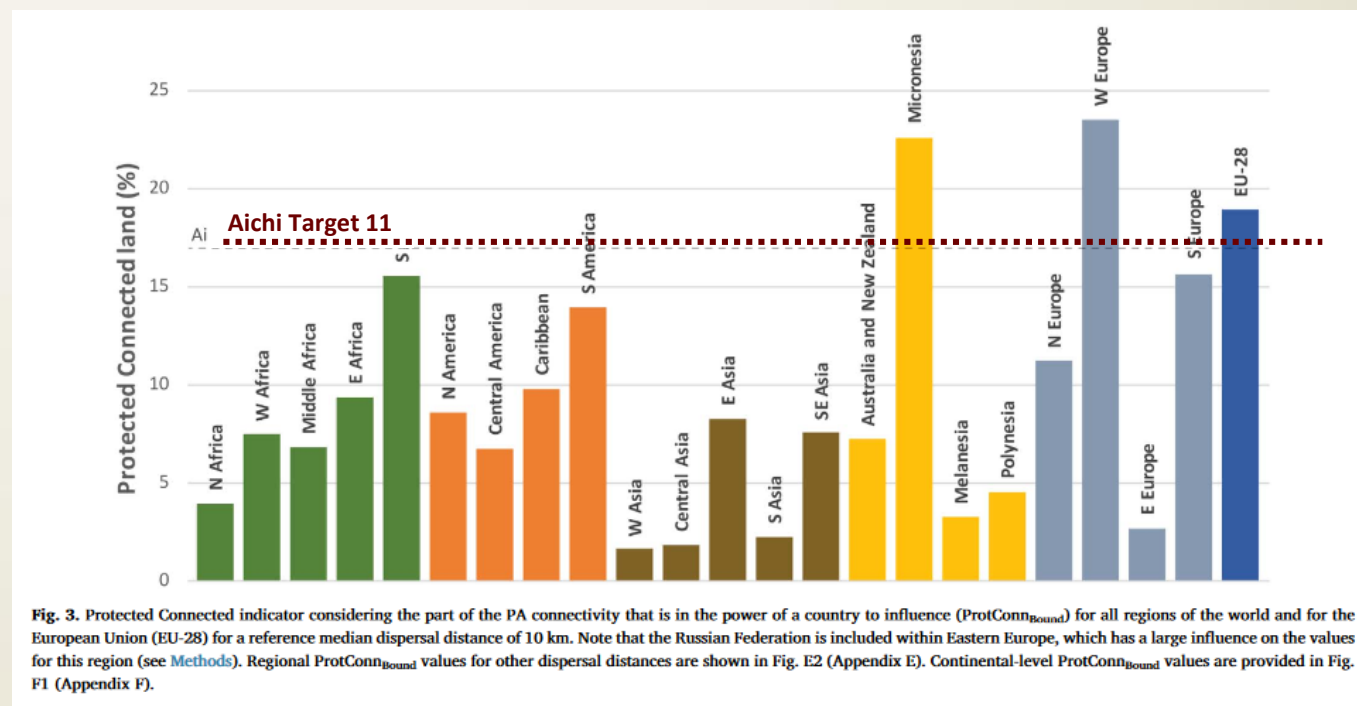
**Biological Conservation**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/biocon](http://www.elsevier.com/locate/biocon)

Protected area connectivity: Shortfalls in global targets and country-level priorities

Santiago Saura\*, Bastian Bertzky, Lucy Bastin, Luca Battistella, Andrea Mandrici, Grégoire Dubois

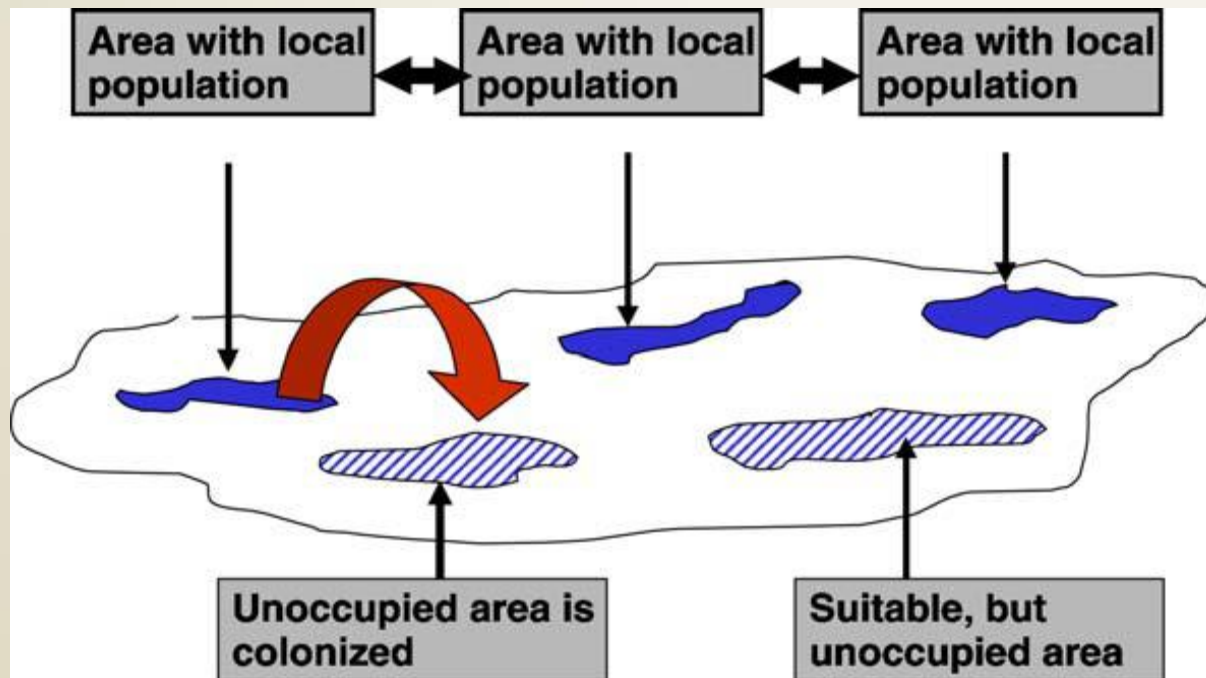
European Commission, Joint Research Centre (JRC), Directorate D - Sustainable Resources, Via E. Fermi 2749, I-21027 Ispra, VA, Italy



# 1 Modéliser les réseaux écologiques

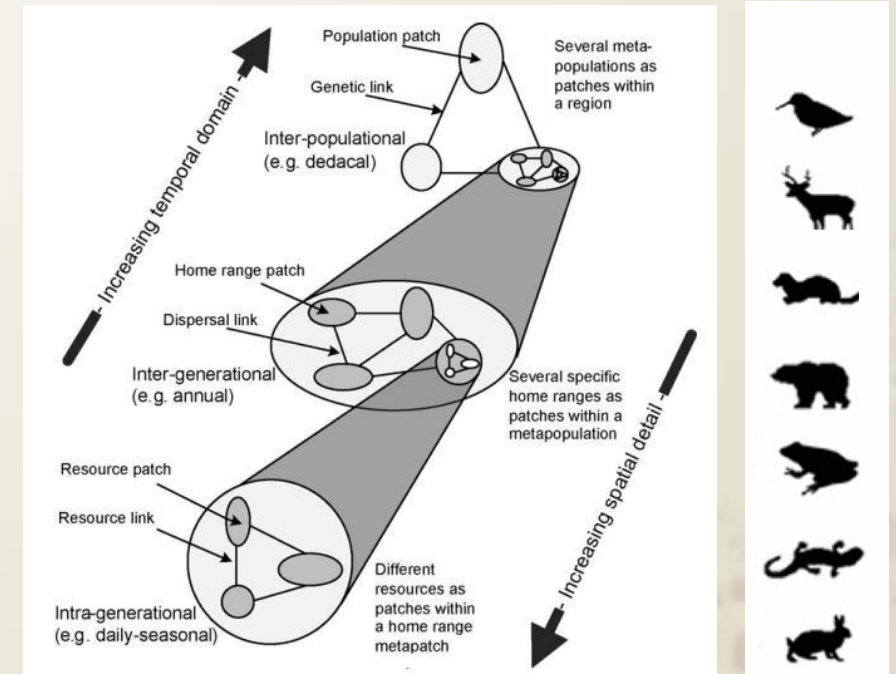
## Concepts, théories

### Réseaux écologiques



Opdam 2006

### Connectivité fonctionnelle du paysage



Zetterberg et al., 2010

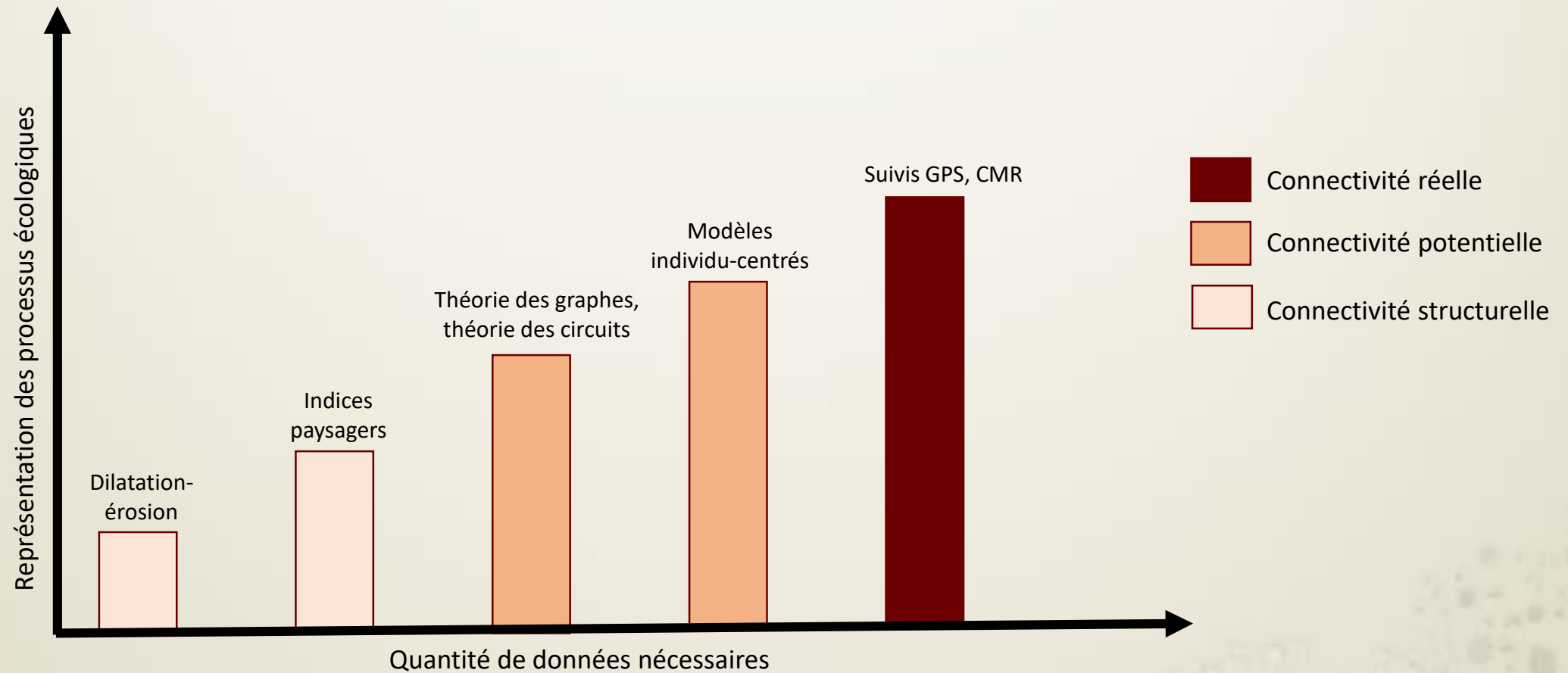
# 1 Modéliser les réseaux écologiques

## Concepts, théories

- Définition variée des concepts : connectivité ; fragmentation  
(Lindenmayer et Fischer, 2007)
- Echelles différenciées : effet de la perte d'habitat vs effet lié à l'isolement  
(Fahrig et al., 2019)
- Diversité de modèles, de paramétrage et de métriques  
(Prugh et al., 2008 ; Kool et al., 2013)
- Manque de confrontation des modèles avec les données de terrain  
(Sawyer et al., 2011 ; Luque et al., 2012)

# 1 Modéliser les réseaux écologiques

## Méthodes

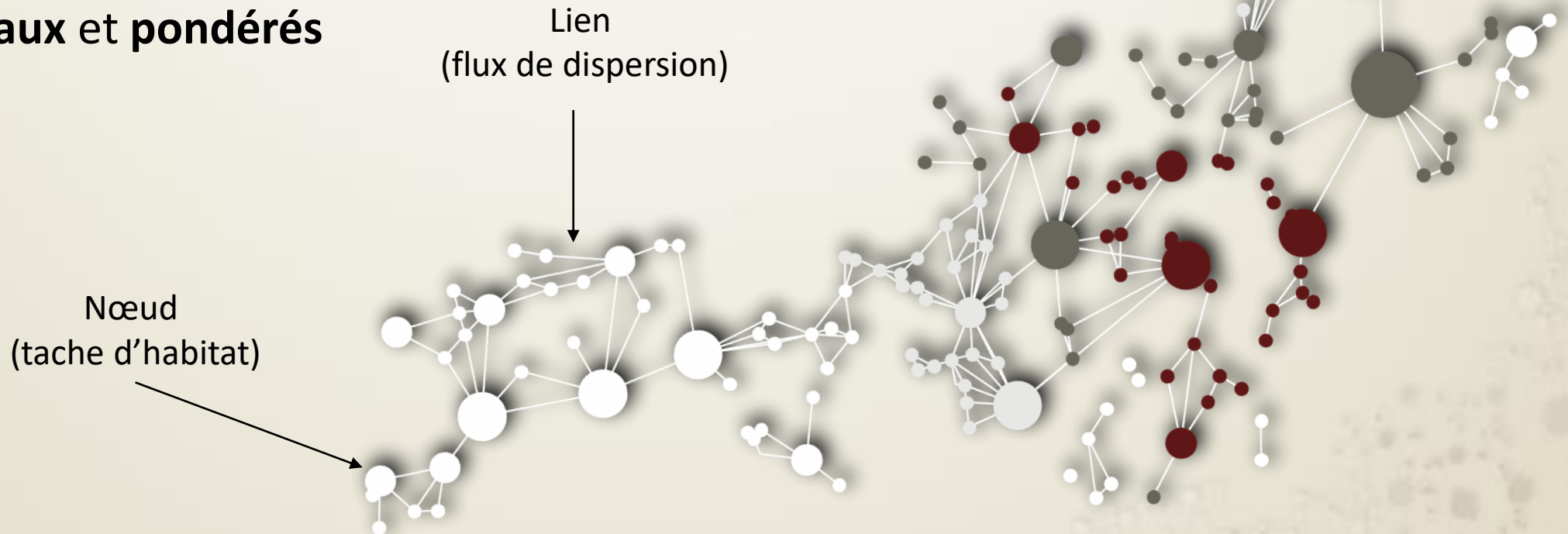


# 1 Modéliser les réseaux écologiques

## Méthodes

### Les graphes paysagers

spatiaux et pondérés





# 1 Modéliser les réseaux écologiques

## Enjeu

**Améliorer l'intégration des données de terrain dans les modèles**

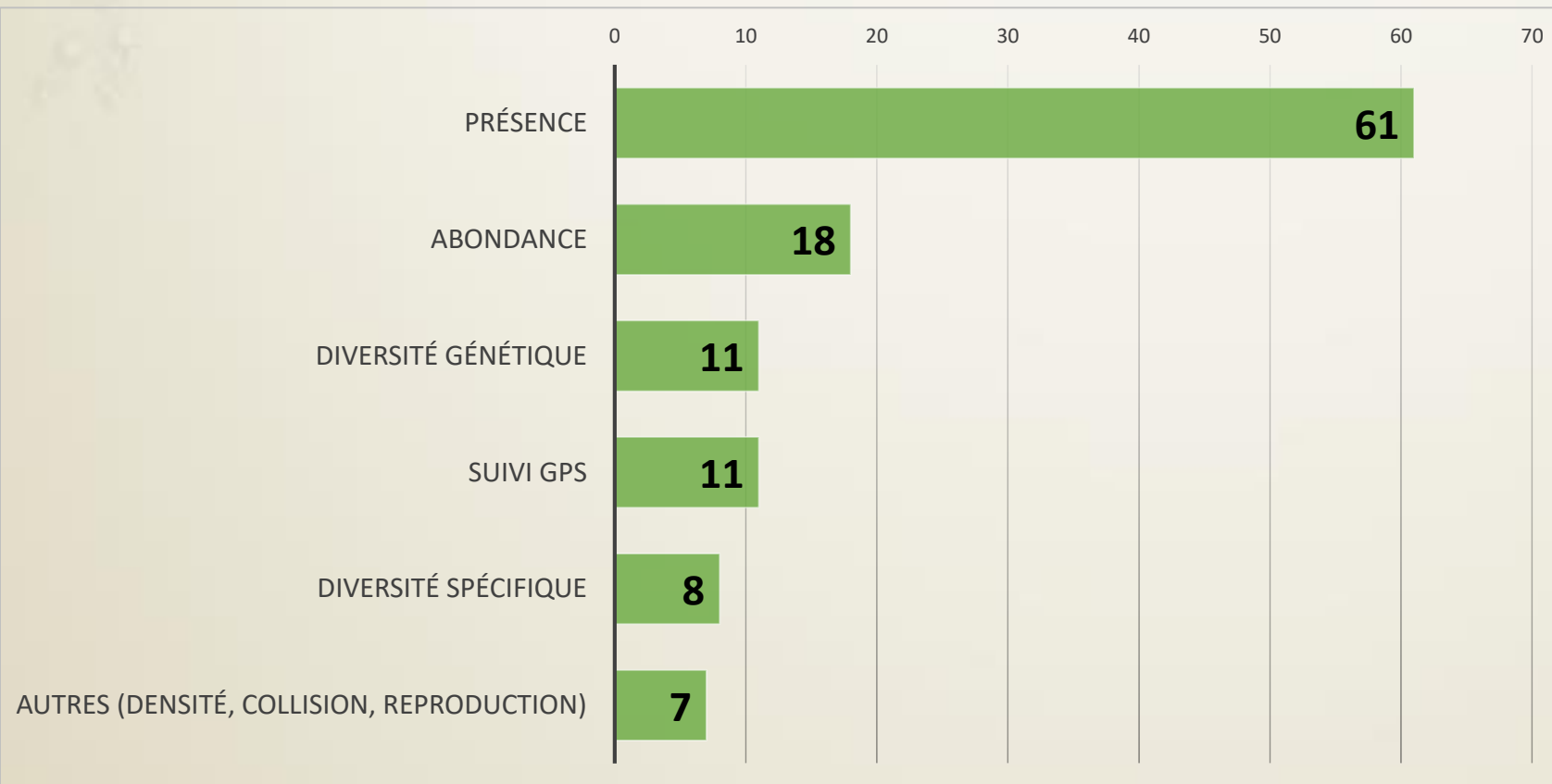
Synthèse bibliographique (71 articles) :

Foltête JC, Savary P., Clauzel C., Bourgeois M., Girardet X., Sahraoui Y., Vuidel G., Garnier S.,

**Coupling landscape graph modelling and biological data: A review.** *Landscape Ecology* (soumis)

# 1 Modéliser les réseaux écologiques

Types de données biologiques mobilisées dans les graphes paysagers (%)



35%



24%



17%



11%



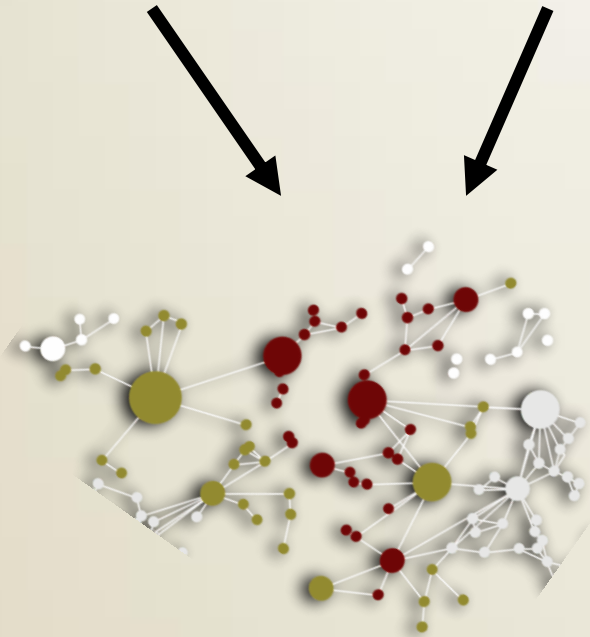
8%



## 2 Graphes paysagers et données de terrain

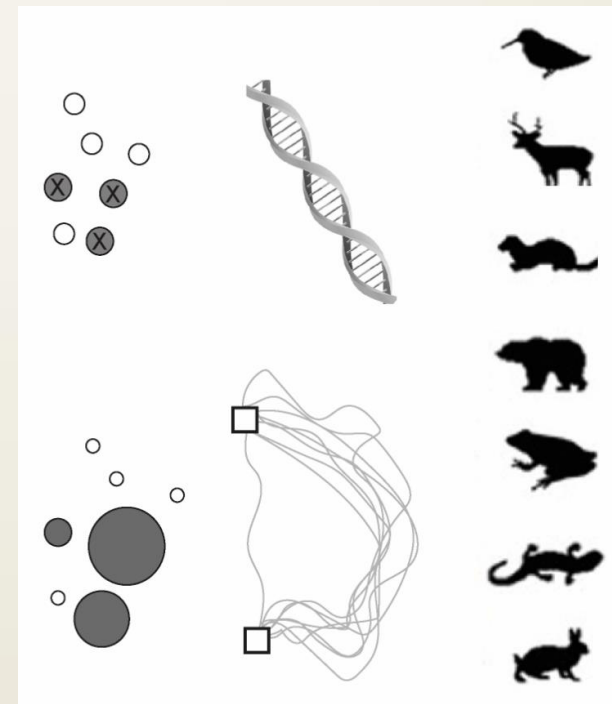
approche hypothético-déductive  
42 % des articles analysés

Hypothèses Dires d'expert



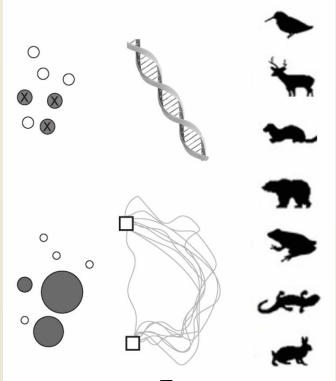
Vérification de la pertinence du modèle

Données de terrain

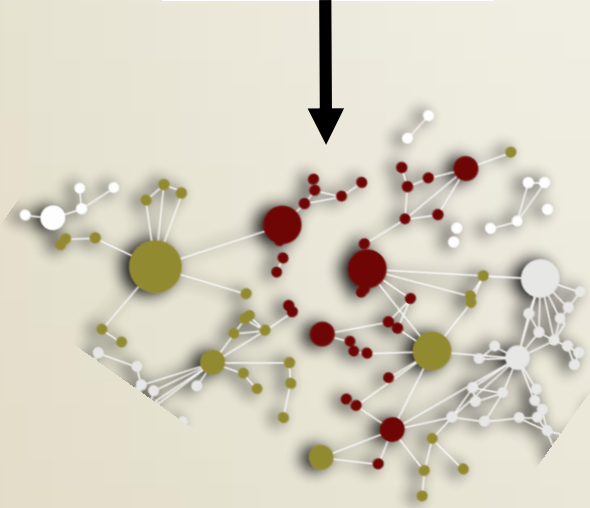


## 2 Graphes paysagers et données de terrain

Données de terrain



approche inductive  
63 % des articles analysés



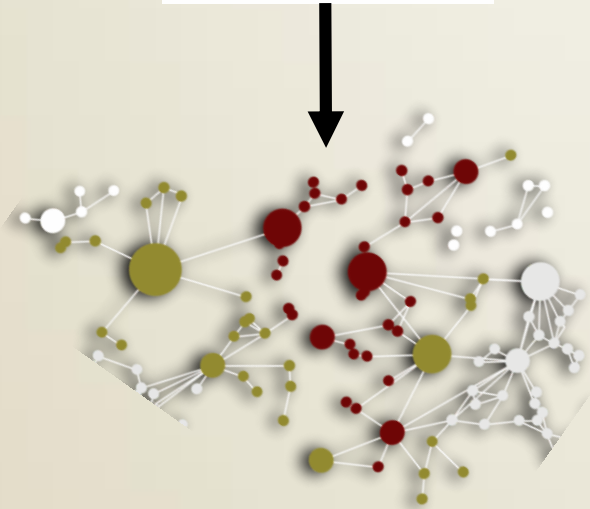
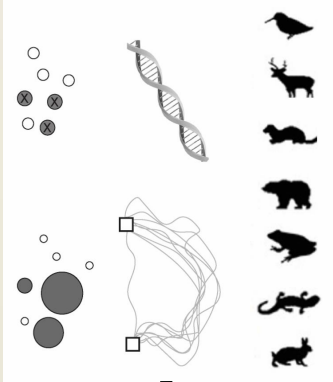
Définition et pondération des nœuds (57%)

Définition et pondération des liens (23%)

## 2 Graphes paysagers et données de terrain

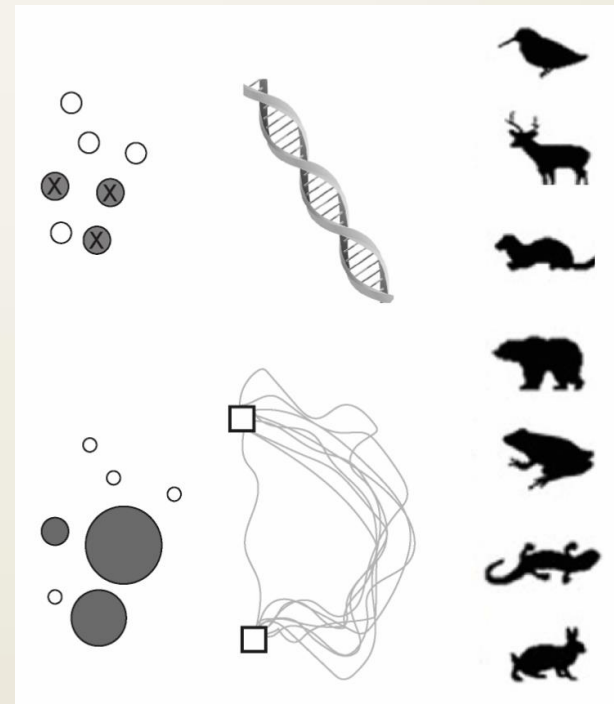
Les 2 approches combinées

Données de terrain 1



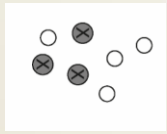
Vérification des hypothèses

Données de terrain 2



## 2 Graphes paysagers et données de terrain

Ribeiro, R., et al., 2011. **The pond network: Can structural connectivity reflect on (amphibian) biodiversity patterns?** *Landscape Ecology* 26, 673–682.

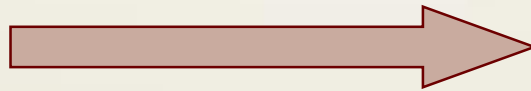


Présence d'amphibiens



*Définition des nœuds*

La connectivité augmente-t-elle la  
richesse spécifique ?

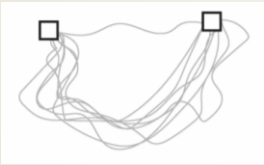


Richesse spécifique



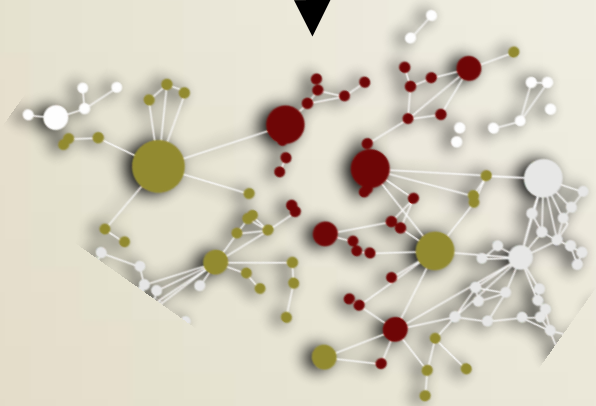
## 2 Graphes paysagers et données de terrain

Galpern, P., Manseau, M., Wilson, P., 2012. **Grains of connectivity: analysis at multiple spatial scales in landscape genetics.** *Molecular Ecology* 21, 3996–4009.

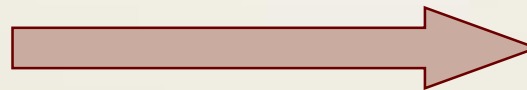


Suivis télémétriques de Caribou

↓  
*Définition des liens*



La connectivité joue-t-elle un rôle sur  
la structure génétique ?



Structure génétique des populations



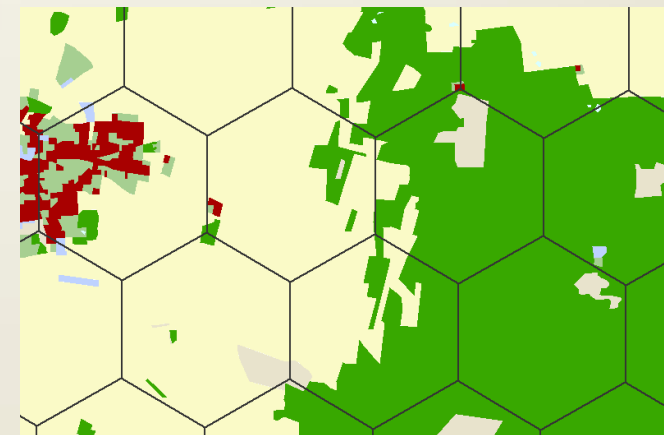
## 2 Graphes paysagers et données de terrain

### Principes de construction

Habitat :

- Type générique de milieu (forêt)
- Type spécifique de milieu (forêt de feuillus humide)
- Type paysager (dominante de forêt, associé à l'agricole)

Habitat préférentiel  
Milieux favorables  
Milieux défavorables  
Éléments barrières

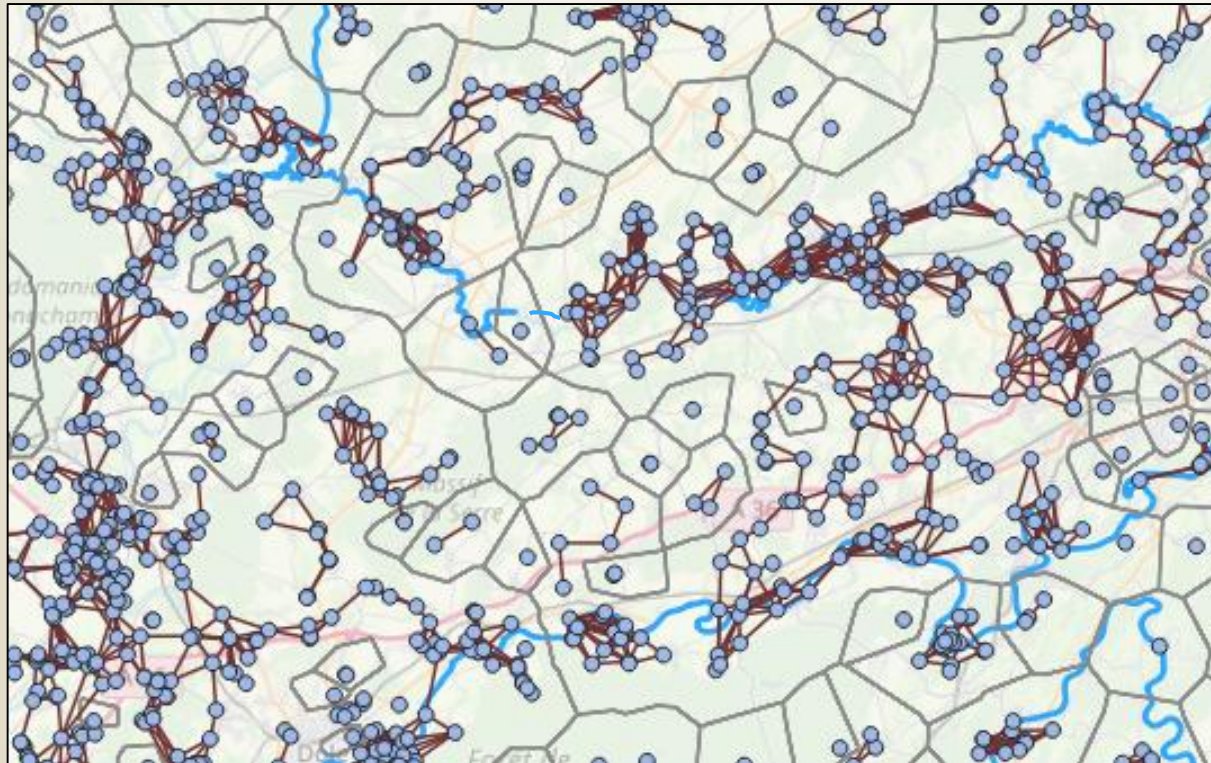




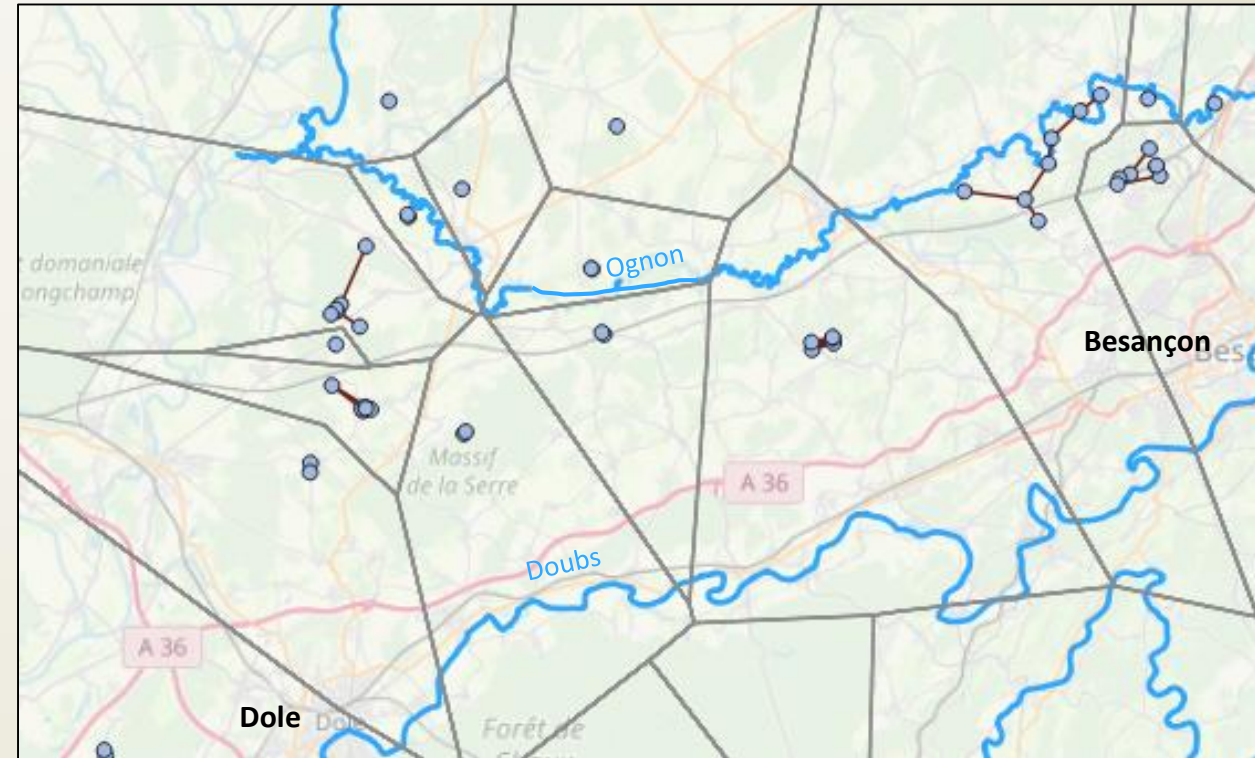
# Utilisation des données de présence pour la définition des nœuds



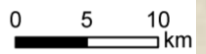
Réseau écologique des mares  
(habitat potentiel)



Réseau écologique de la rainette arboricole  
(présence avérée de l'espèce)

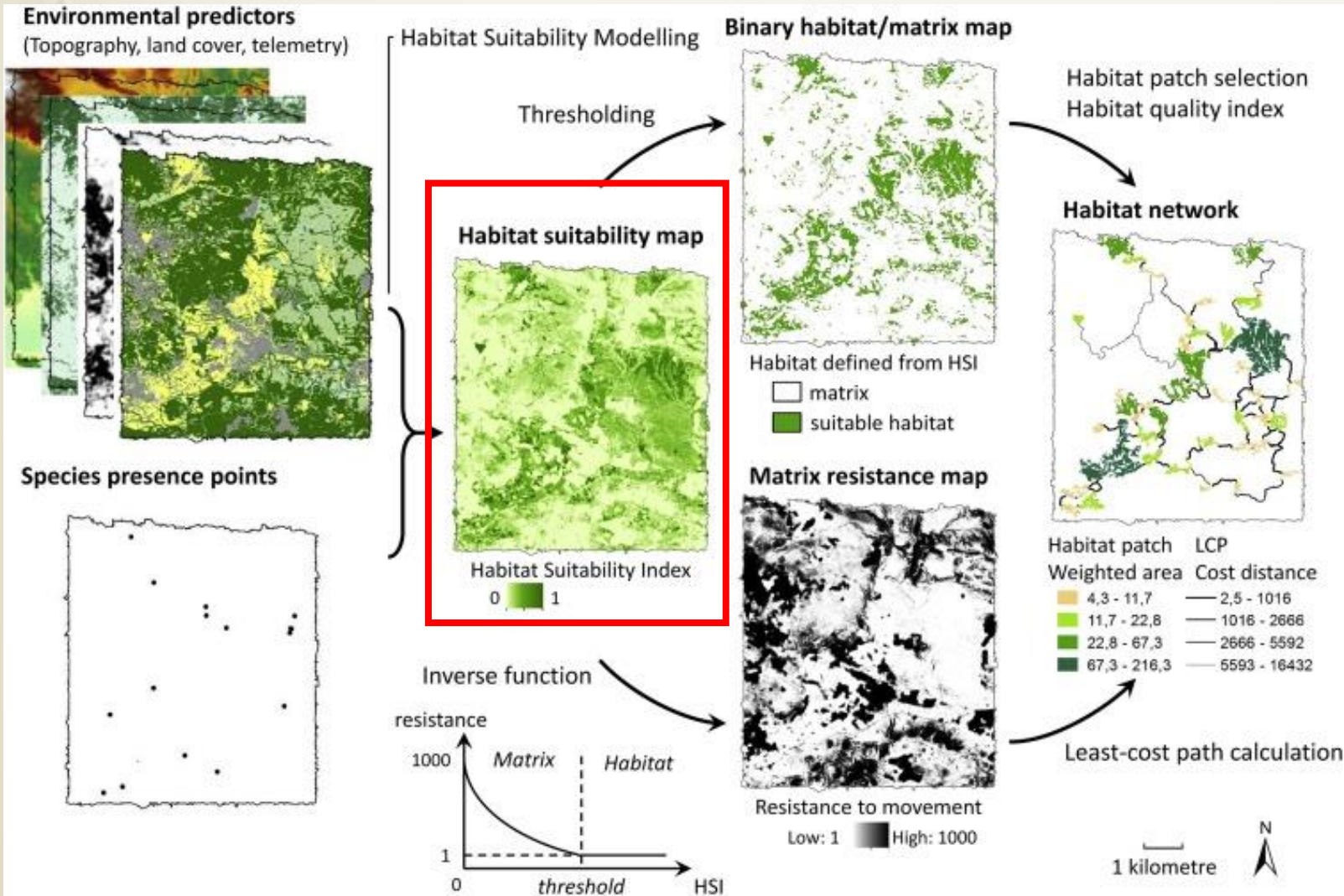


- Nœud du graphe (mares)
- Lien du graphe
- Composante du graphe



## 2 Graphes paysagers et données de terrain

Utilisation de modèle de distribution pour la définition des nœuds et des liens



Duflot, R., Avon, C., Roche, P., Bergès, L., 2018. Combining habitat suitability models and spatial graphs for more effective landscape conservation planning: An applied methodological framework and a species case study. *Journal for Nature Conservation* 46, 38–47.

## 2 Graphes paysagers et données de terrain

### Principes de construction

Carte de paysage  
Modèle de distribution → Définition des  
taches d'habitat

#### *Pondération des taches*

- Surface
- Milieux environnants
- pH
- Présence poissons
- ...

## 2 Graphes paysagers et données de terrain

### Principes de construction

Carte de paysage  
Modèle de distribution → Définition des taches d'habitat → Définition des liens

#### *Pondération des taches*

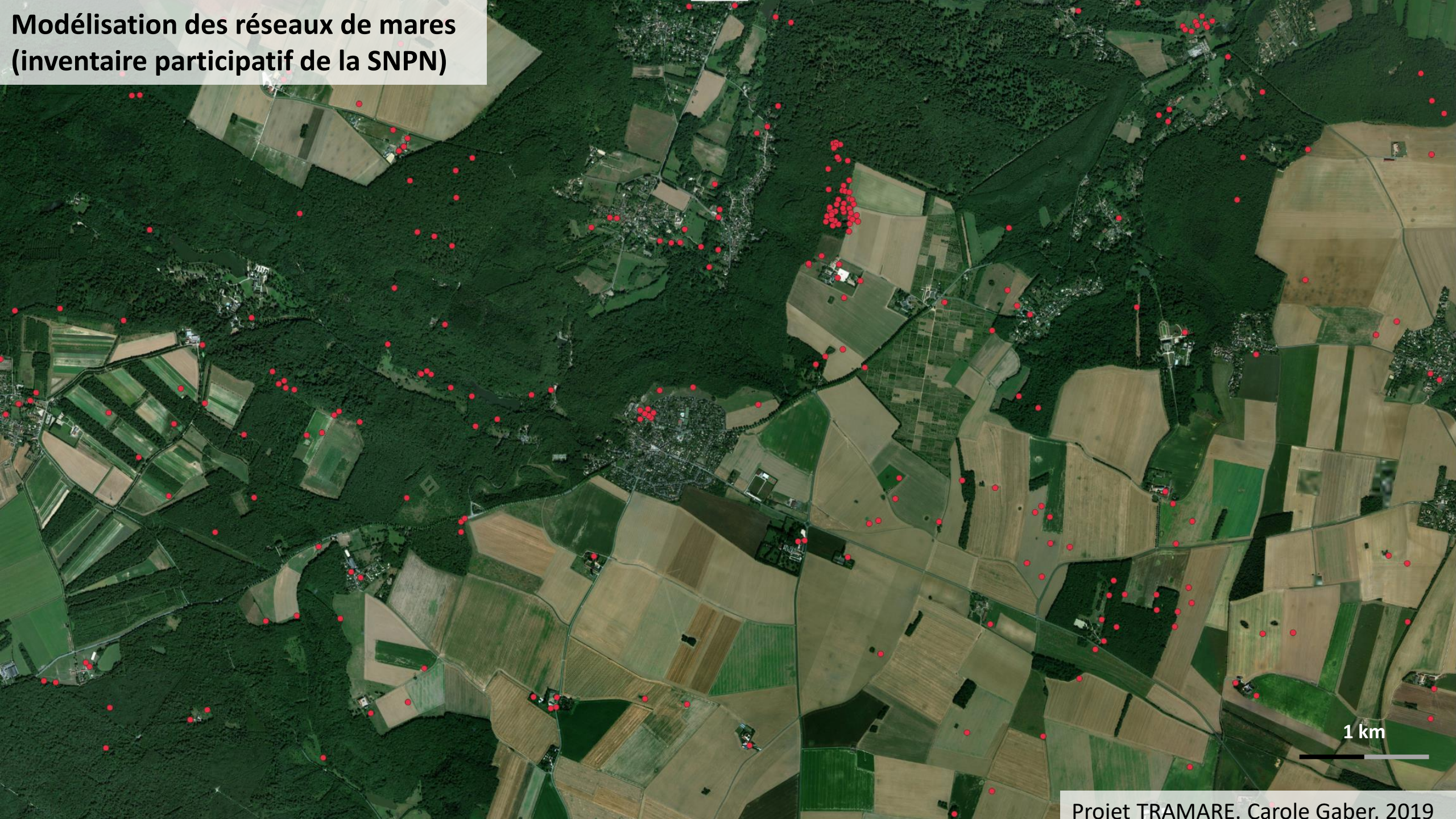
- Surface
- Milieux environnants
- pH
- Présence poissons
- ...

#### *Pondération des liens*

- Distance euclidienne
- Distance coût

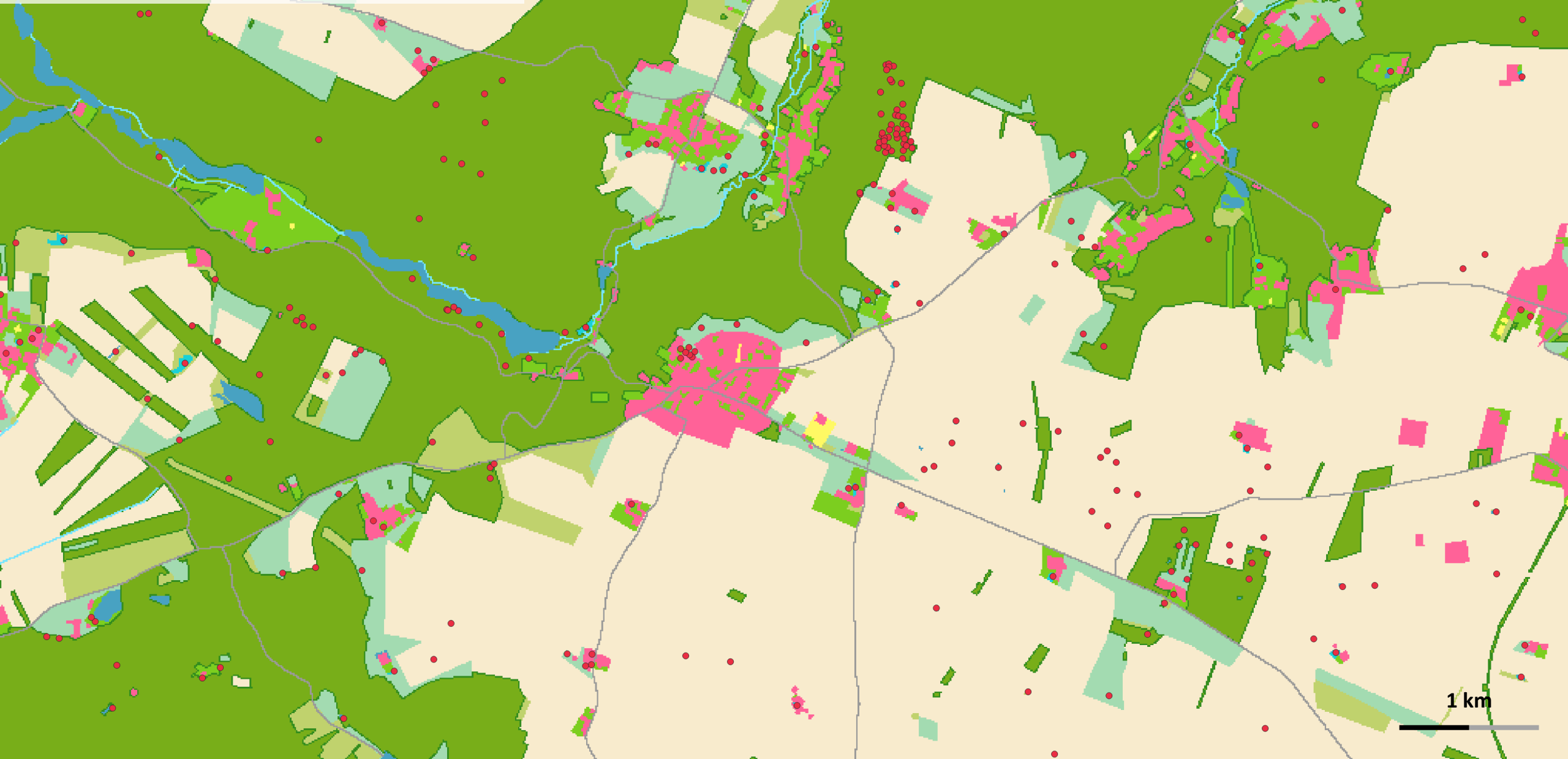
Dires d'expert  
Données de terrain

**Modélisation des réseaux de mares  
(inventaire participatif de la SNPN)**



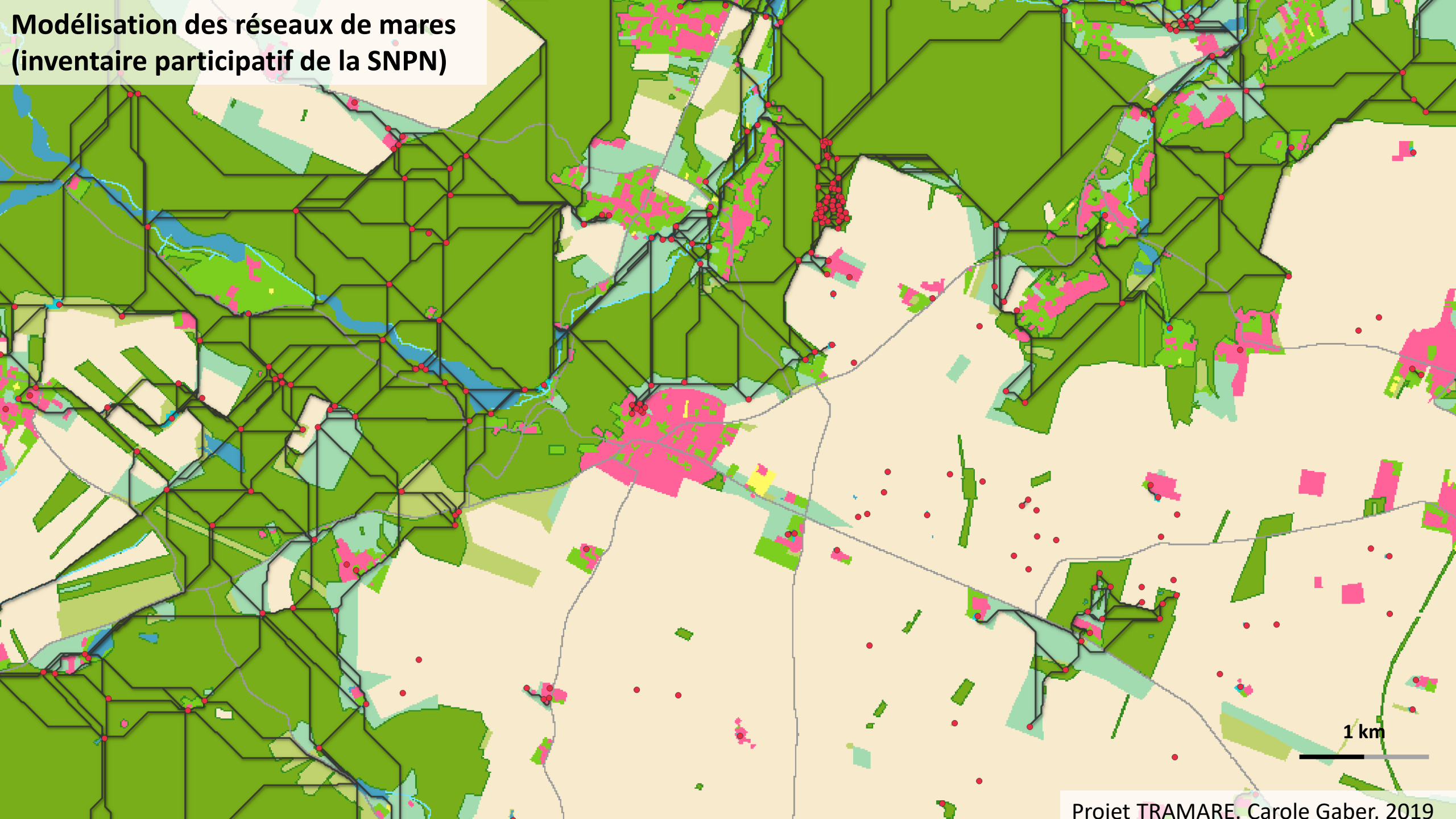
1 km

# Modélisation des réseaux de mares (inventaire participatif de la SNPN)

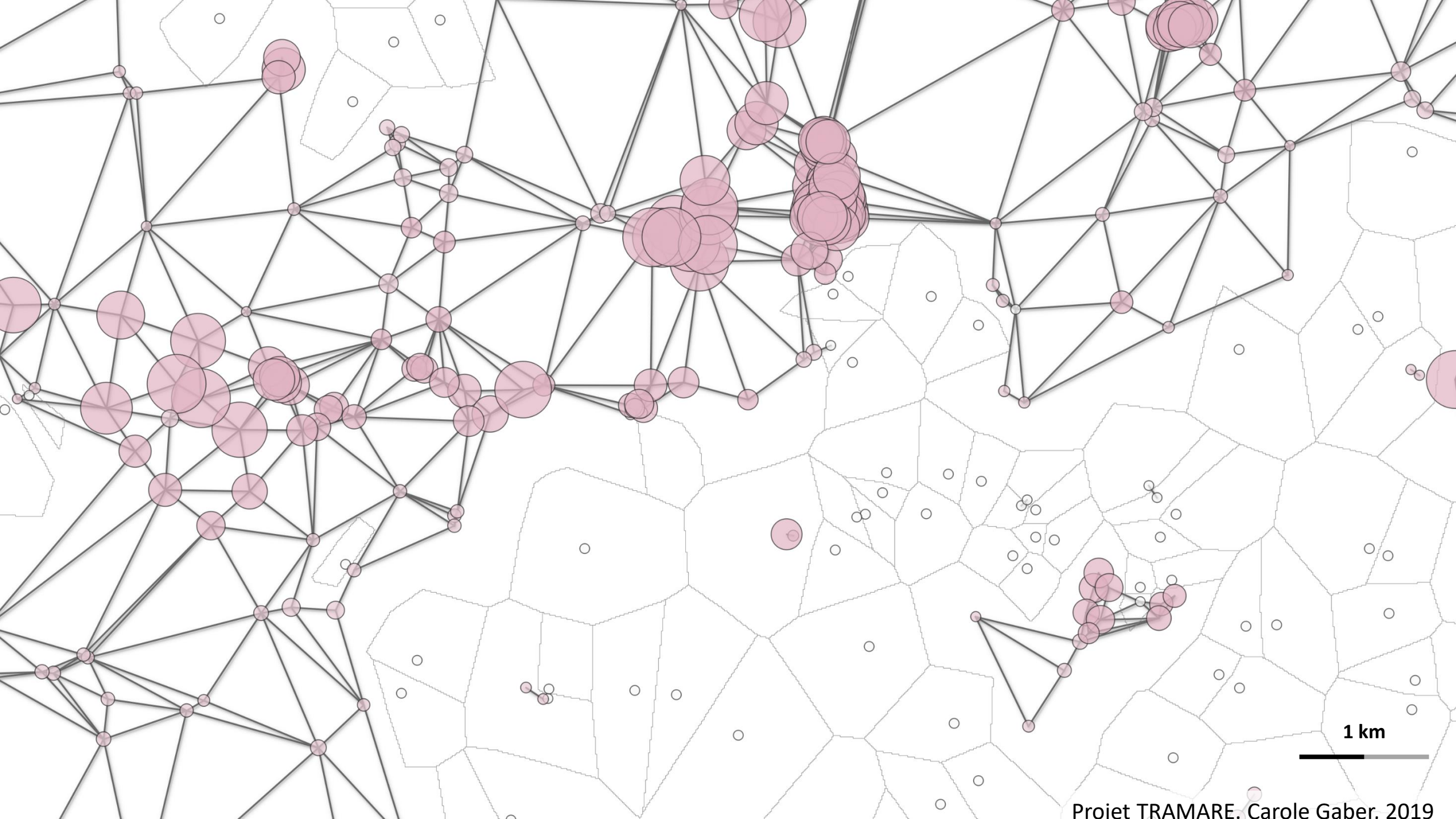


1 km

# Modélisation des réseaux de mares (inventaire participatif de la SNPN)



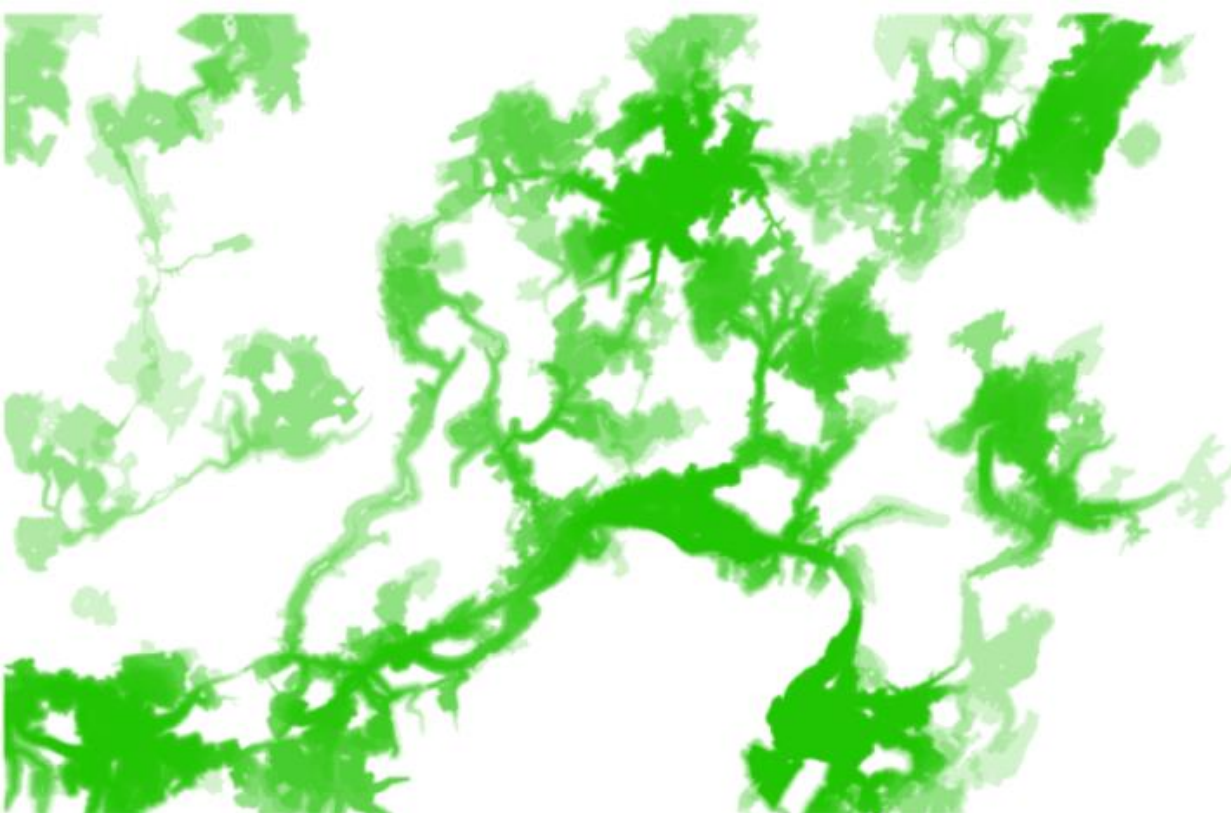
1 km



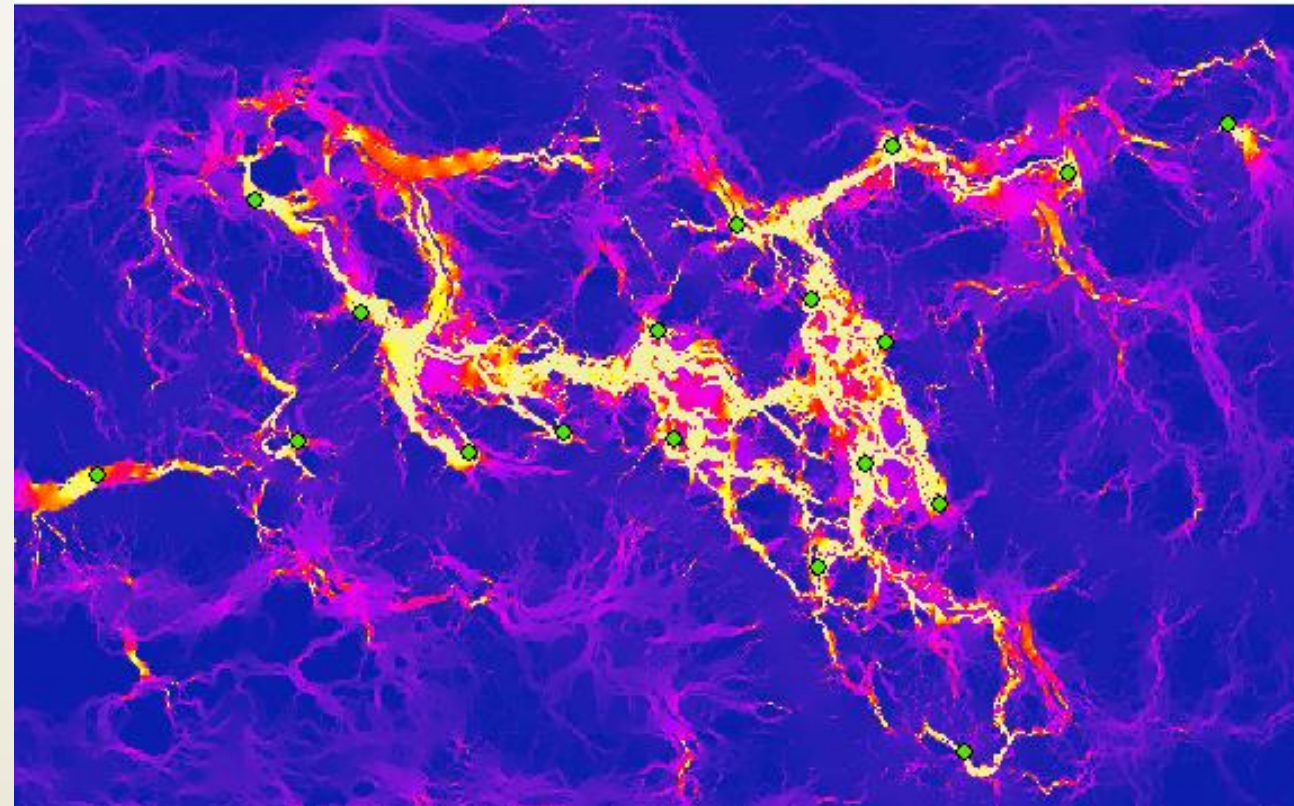


# Aller au-delà des chemins uniques de moindre-coût...

Corridor de moindre-coût (Graphab)

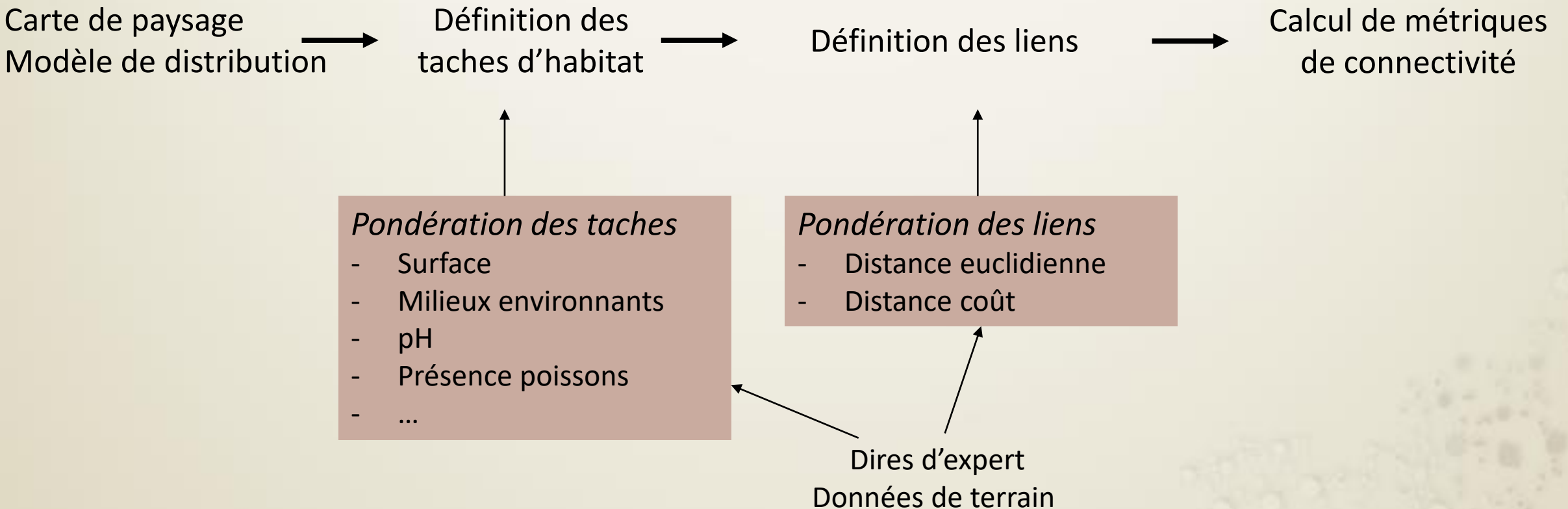


Théorie des circuits (Circuitscape)



## 2 Graphes paysagers et données de terrain

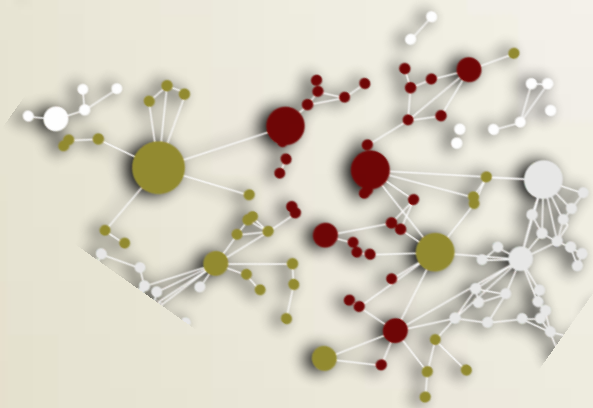
### Principes de construction



## 2 Graphes paysagers et données de terrain

### Métriques de connectivité

Pondération par la capacité des taches  
et la distance entre les taches



#### Probabilité de connectivité (PC)

Saura et al. 2011

quantité d'habitat « atteignable »

$$PC = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^*}}{A_L^2}$$

$n$  : number of nodes,

$a$  : attribute of the node

$A_L$  : total landscape area

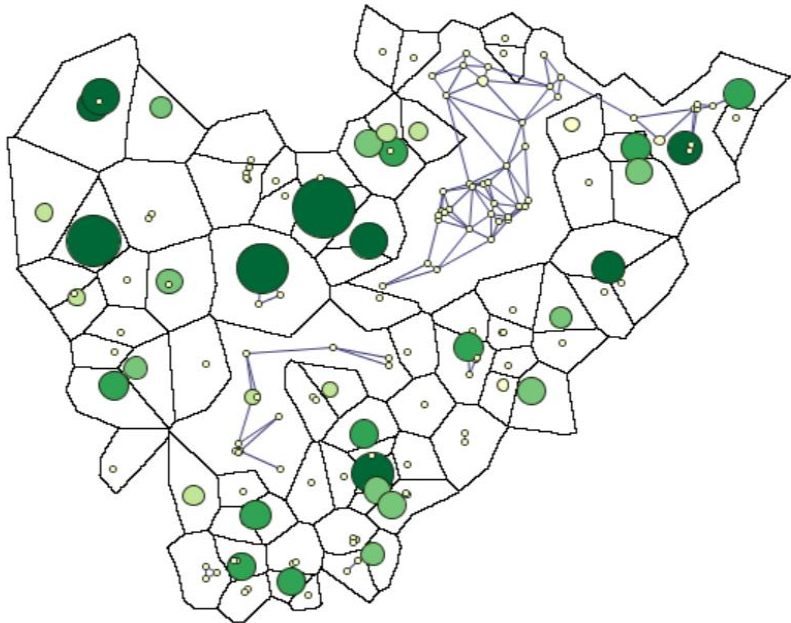
$p_{ij}^*$  : the maximum product probability between node  $i$  and  $j$

## 2 Graphes paysagers et données de terrain

### Métriques locales de connectivité

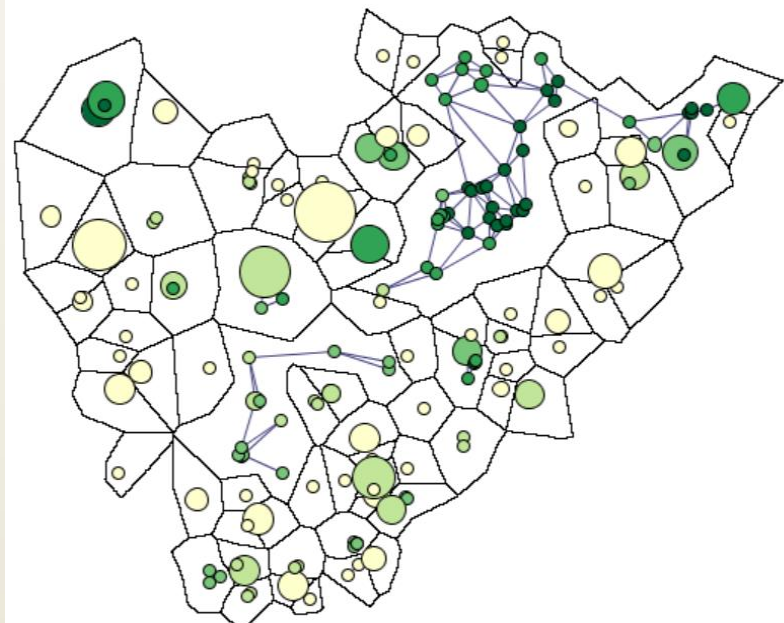
surface d'habitat qu'elle procure (capacité)

$dPC_{area}$



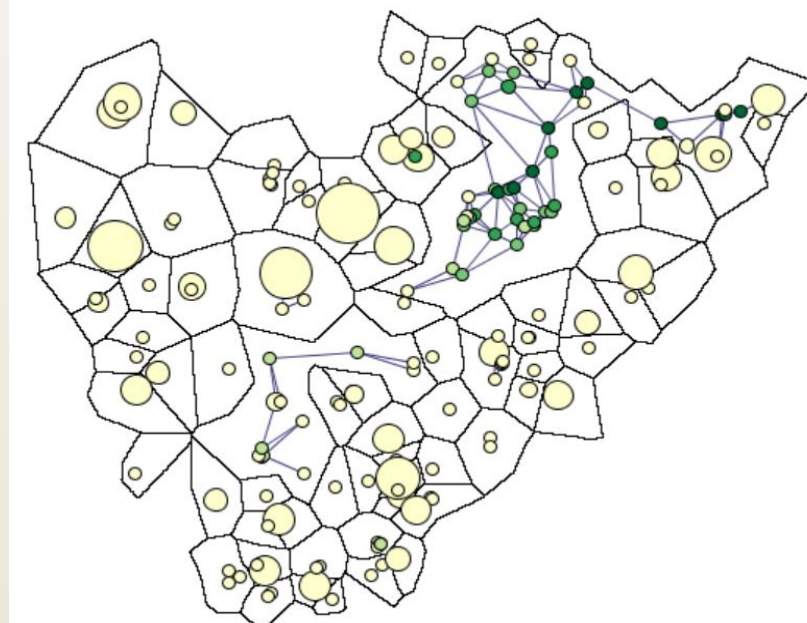
connexions vers les autres taches d'habitat

$dPC_{flux}$



rôle de connecteur à l'intérieur du graphe (*stepping-stone*)

$dPC_{connector}$



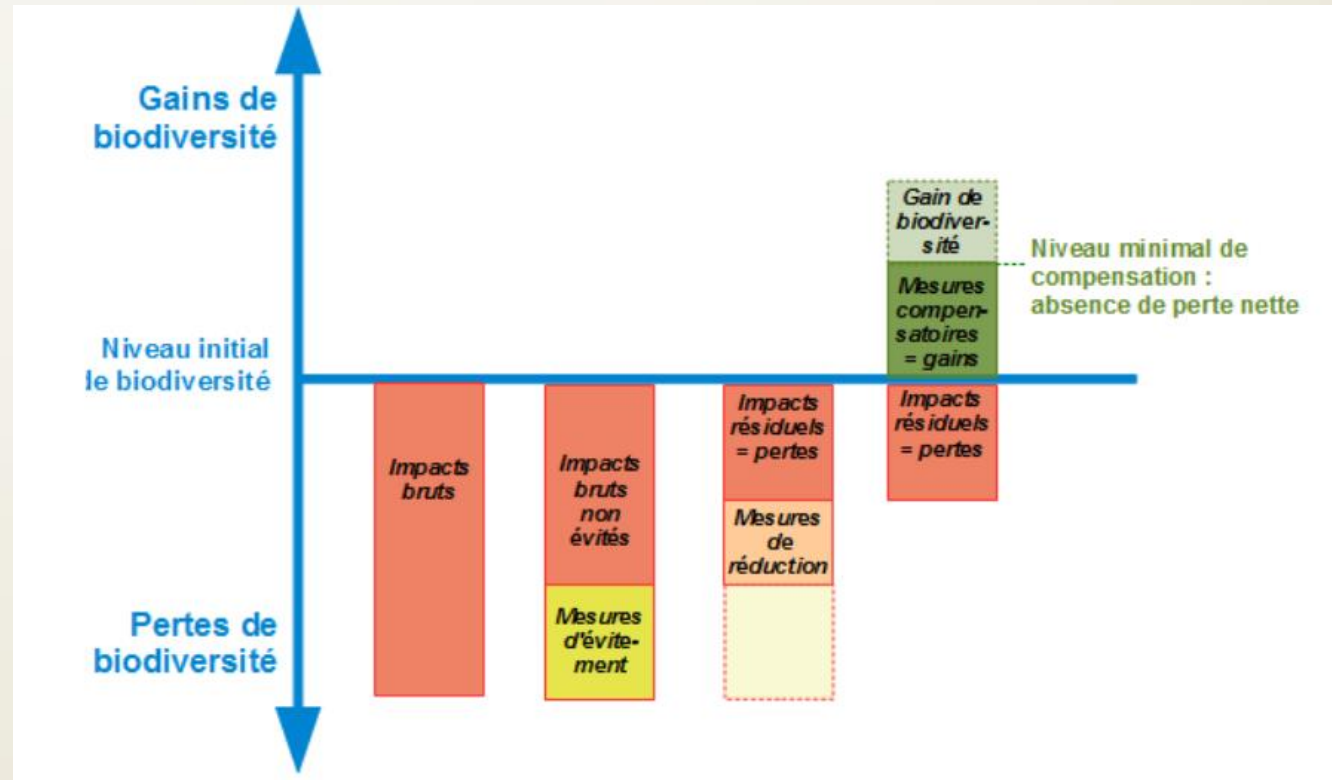
Taille des cercles proportionnelle à la surface des taches

Valeurs faibles de connectivité

Valeurs fortes de connectivité

## 3

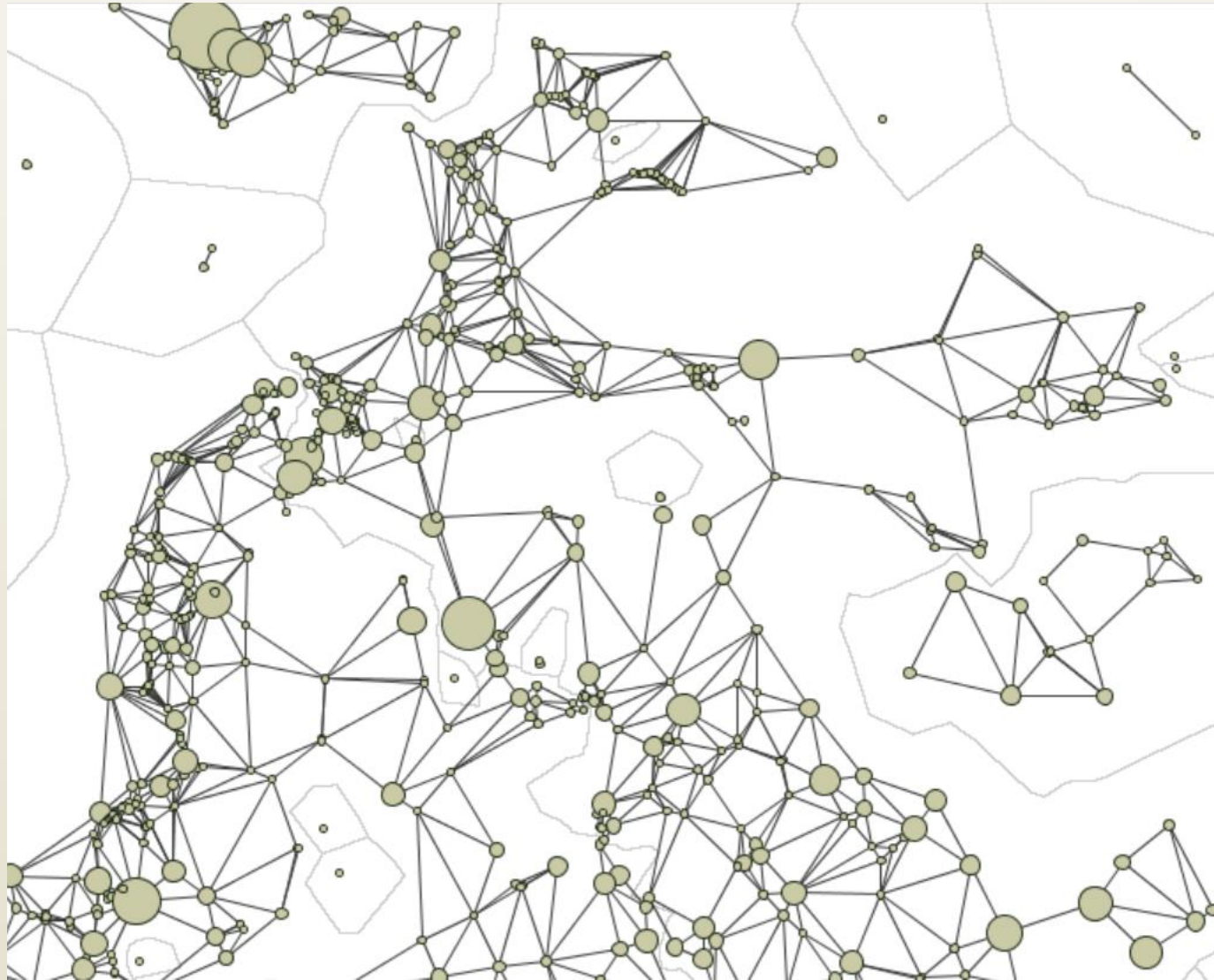
## Applications en aménagement et en conservation



3

## Applications en aménagement et en conservation

**Visualiser la structure d'un réseau écologique**

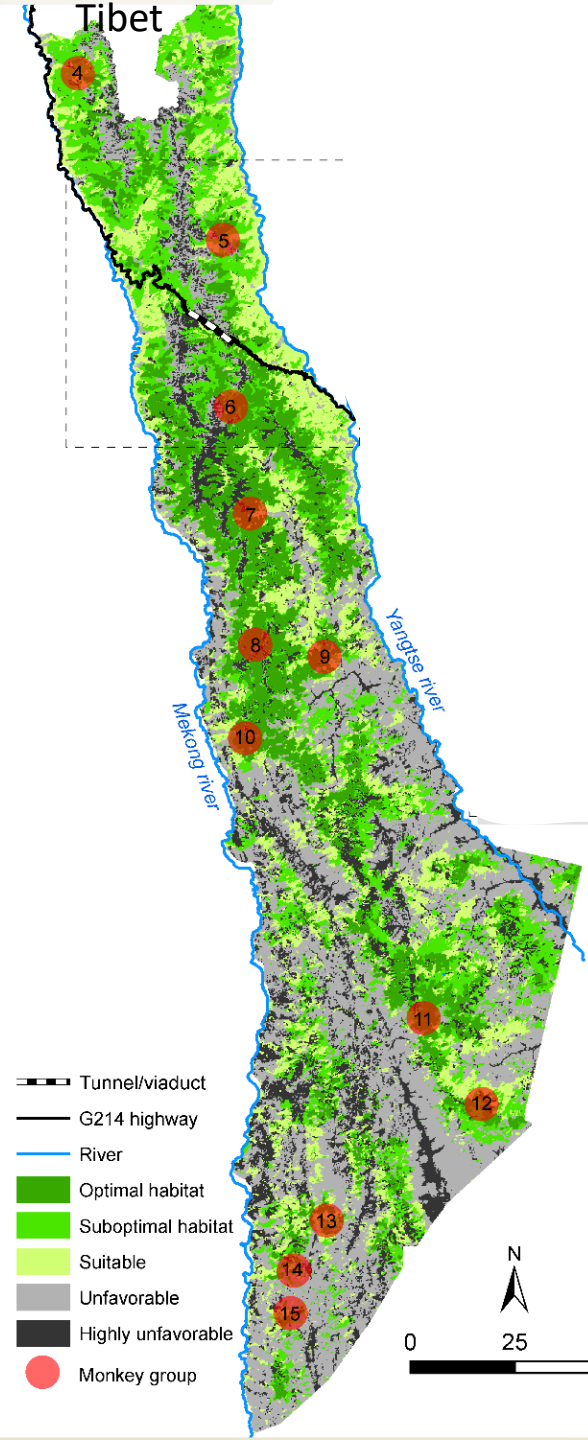




Li, 2015



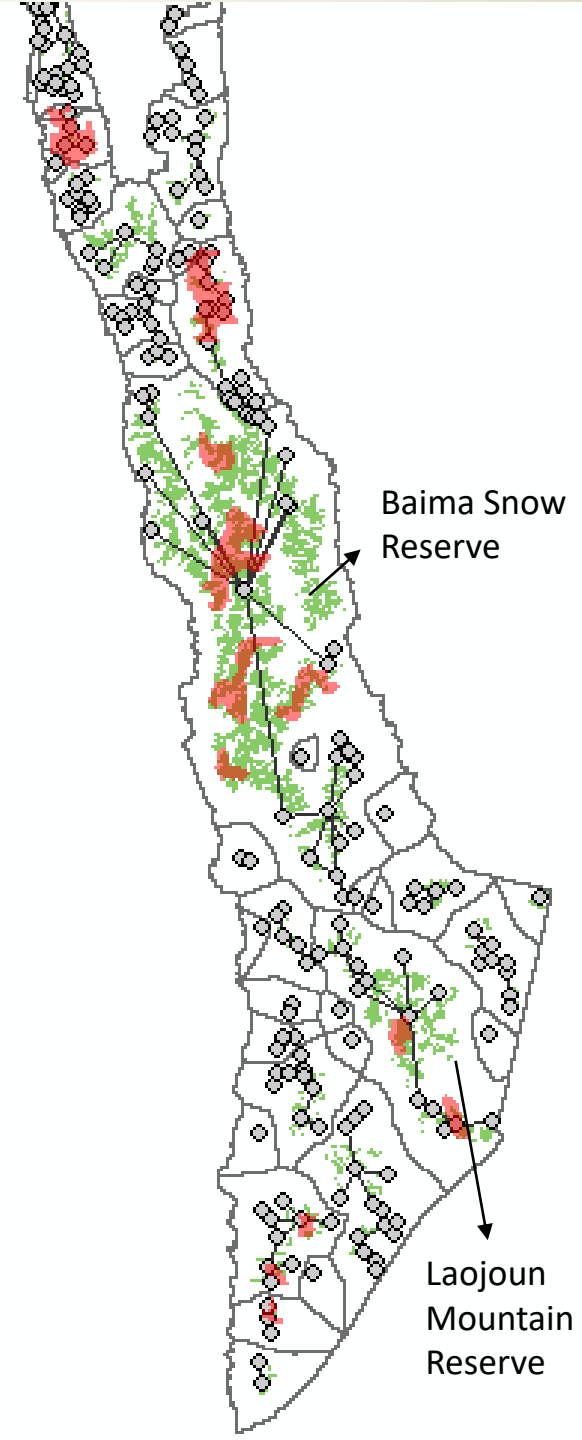
www.earth.com

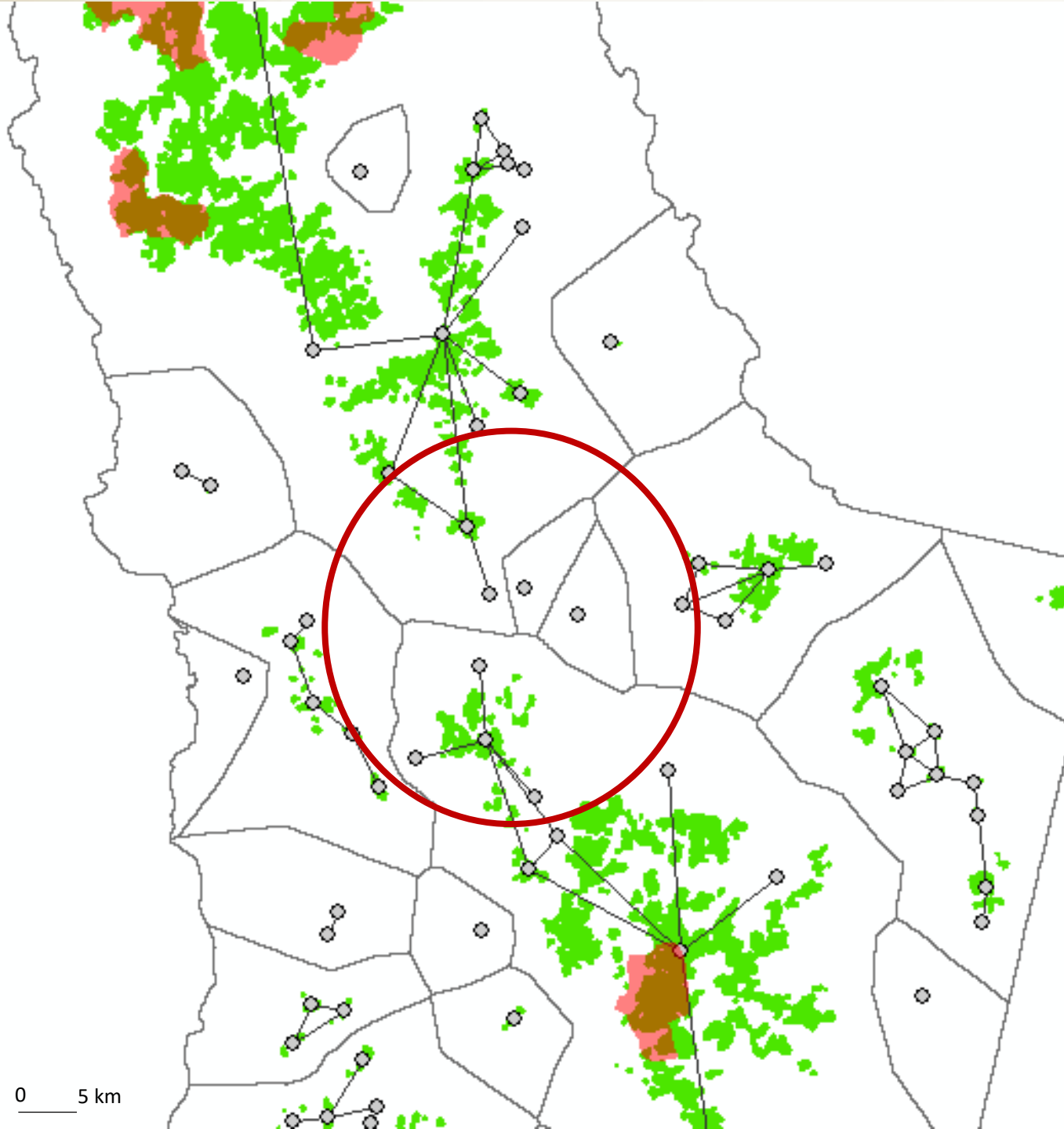


## Modélisation du réseau forestier potentiel du Rhinopithèque de biet

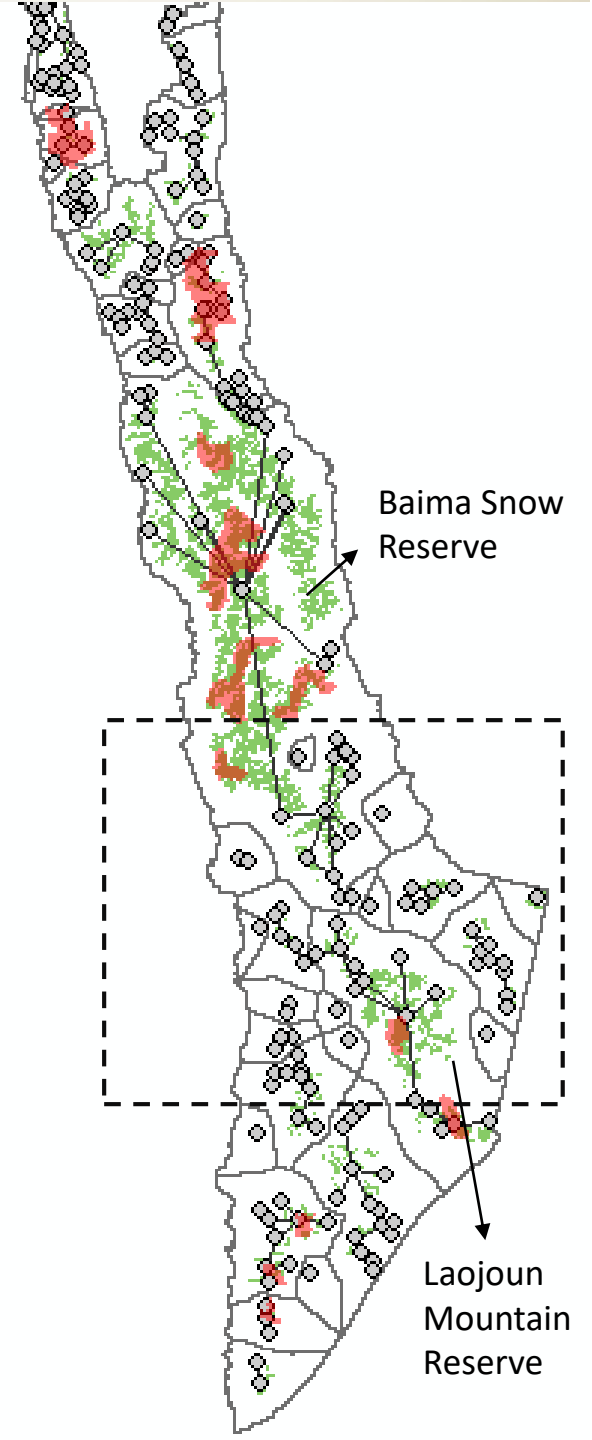
*Utilisation des distances génétiques pour élaguer le graphe*

Clauzel, C., Xiqing, D., Gongsheng, W., Giraudoux, P., Li, L., 2015. Assessing the impact of road developments on connectivity across multiple scales: Application to Yunnan snub-nosed monkey conservation. *Biological Conservation* 192, 207–217.





Clauzel et al., 2015



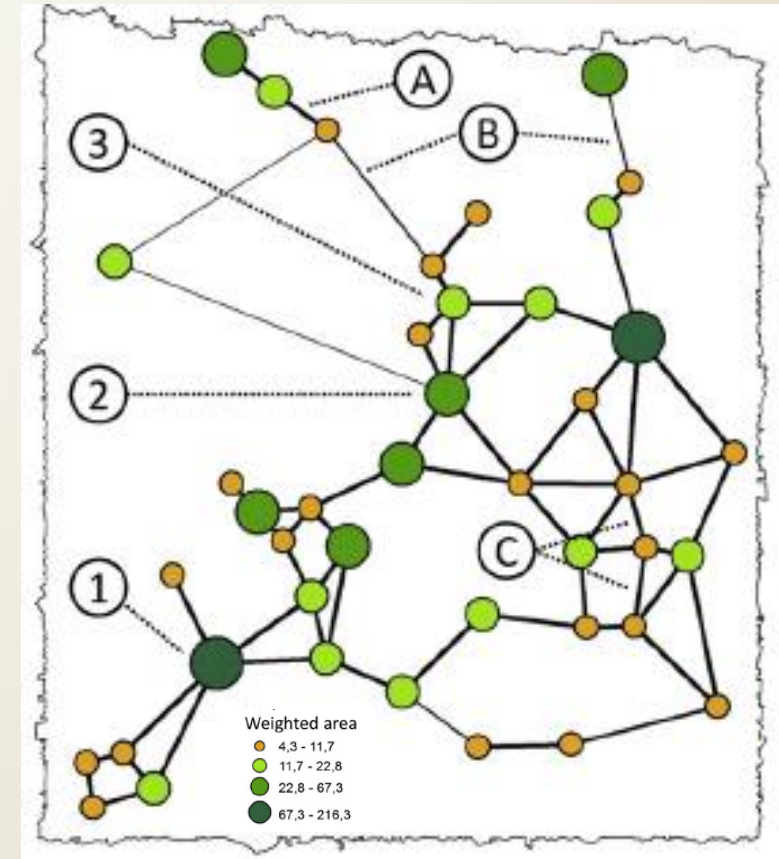


# 3 Applications en aménagement et en conservation

## Évaluer l'importance des habitats et des corridors

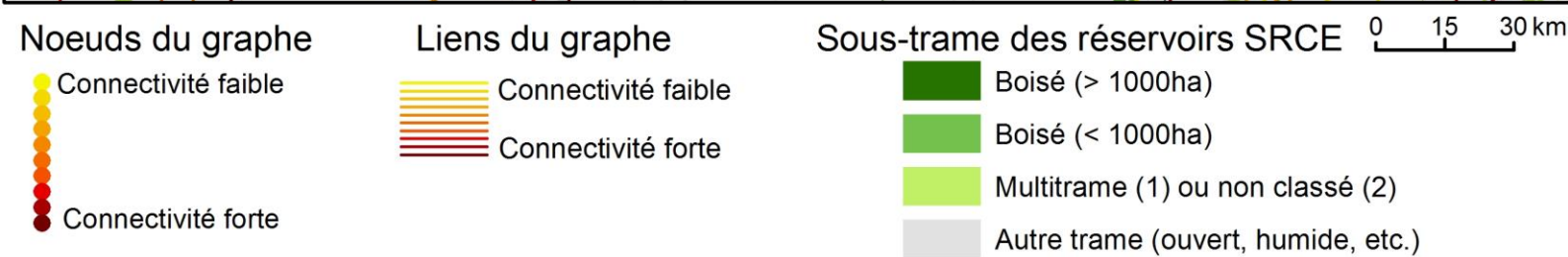
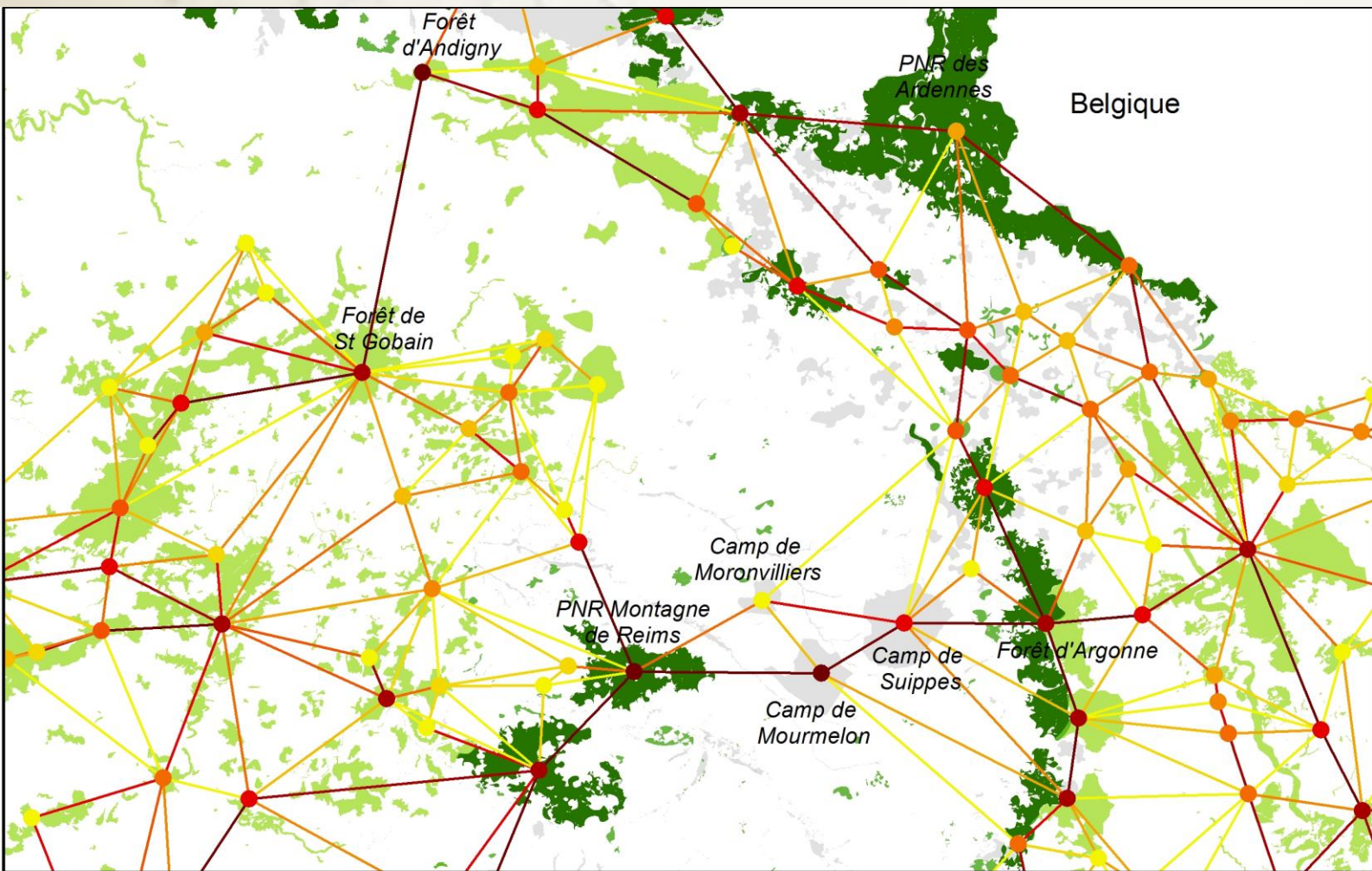
Qu'est-ce qu'un habitat prioritaire pour la conservation ?

- (1) Surface/qualité et connectivité du réseau
- (2) Si peu d'habitat → Tache de grande taille et/ou de bonne qualité, mais pas forcément importante pour la connectivité
- (3) Si suffisamment d'habitat → Tache de moins bonne qualité ou de plus petite taille, mais stratégique pour la connectivité (*stepping-stones*)



Duflot et al., 2018. Combining habitat suitability models and spatial graphs for more effective landscape conservation planning: An applied methodological framework and a species case study. *Journal for Nature Conservation* 46.

# Hiérarchisation des tâches d'habitat et des corridors (profil grands mammifères forestiers) en fonction de leur importance pour la connectivité globale

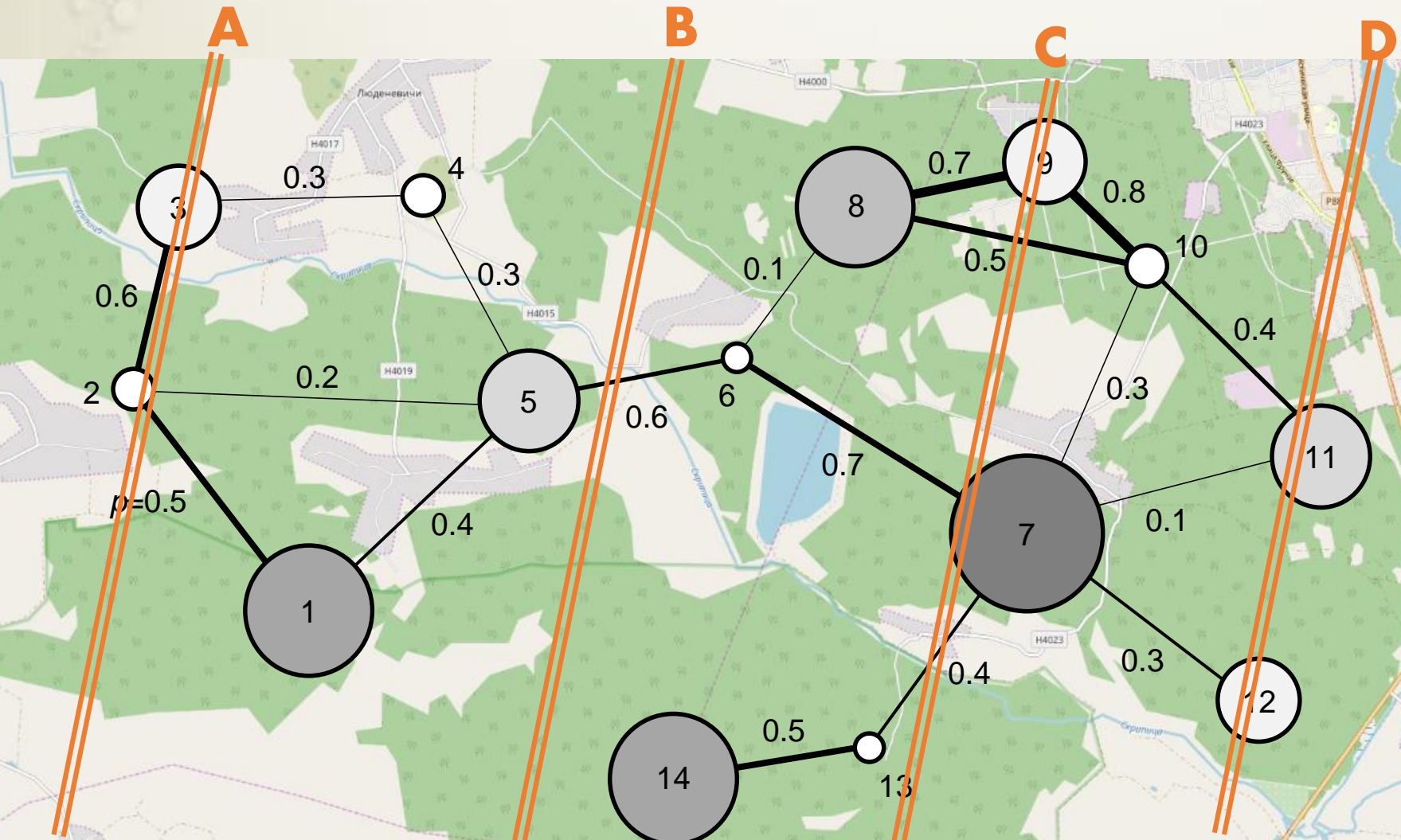


(1) Réservoir classé selon plusieurs sous-trames sans hiérarchisation  
 (2) Réservoir non classé au titre d'une sous-trame

### 3 Applications en aménagement et en conservation

## Évaluer l'impact d'un projet d'aménagement sur la connectivité

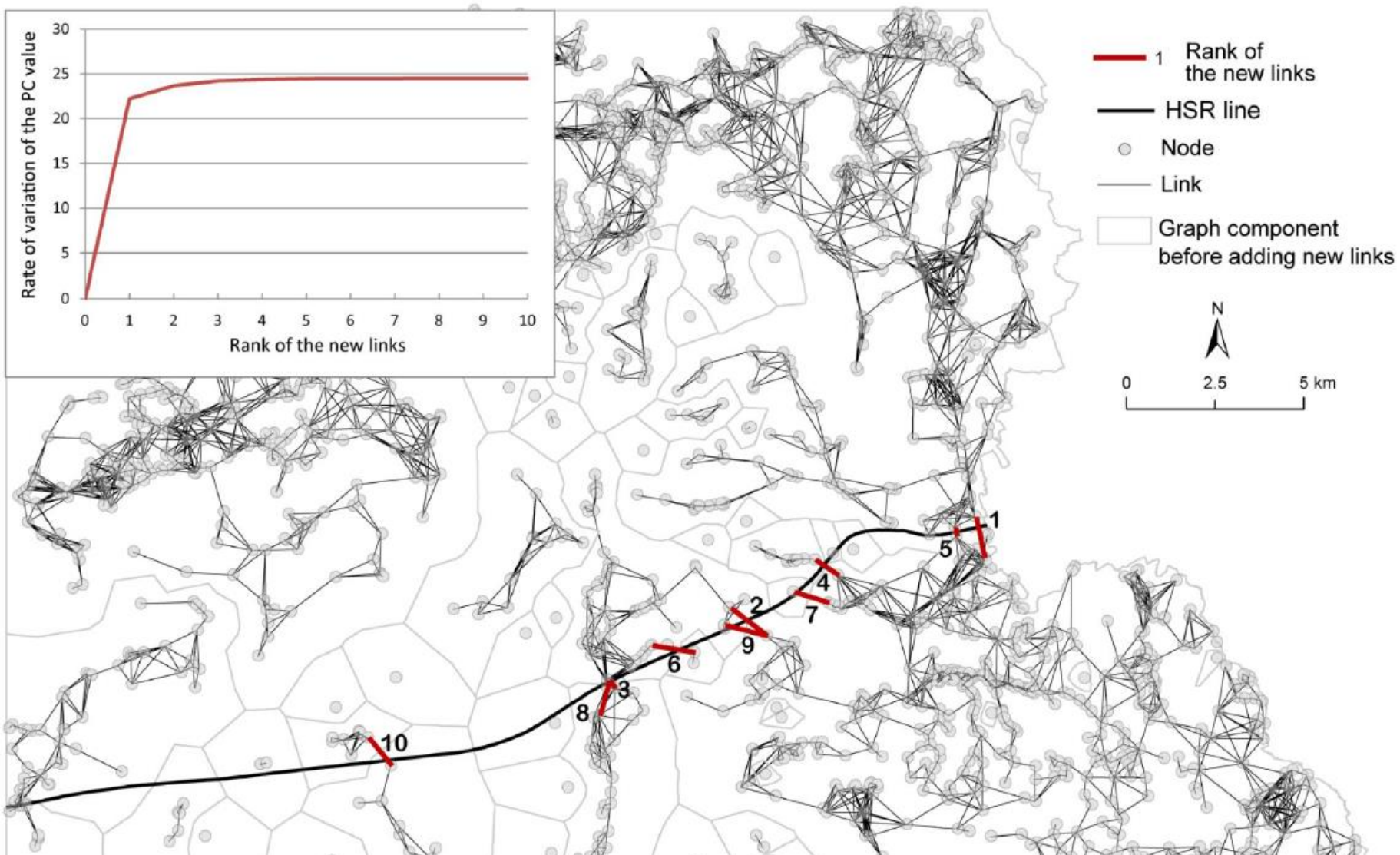
Séquence ERC  
EVITER



Adapté de Bergès L., Avon C., Bezombes L., Clauzel C., Duflot R., Foltête JC., Gaucherand S., Girardet X., Spielberger T., Environmental mitigation hierarchy and biodiversity offsets revisited by habitat connectivity modelling, *Journal of Environmental Management* (révisions)

# 3 Applications en aménagement et en conservation

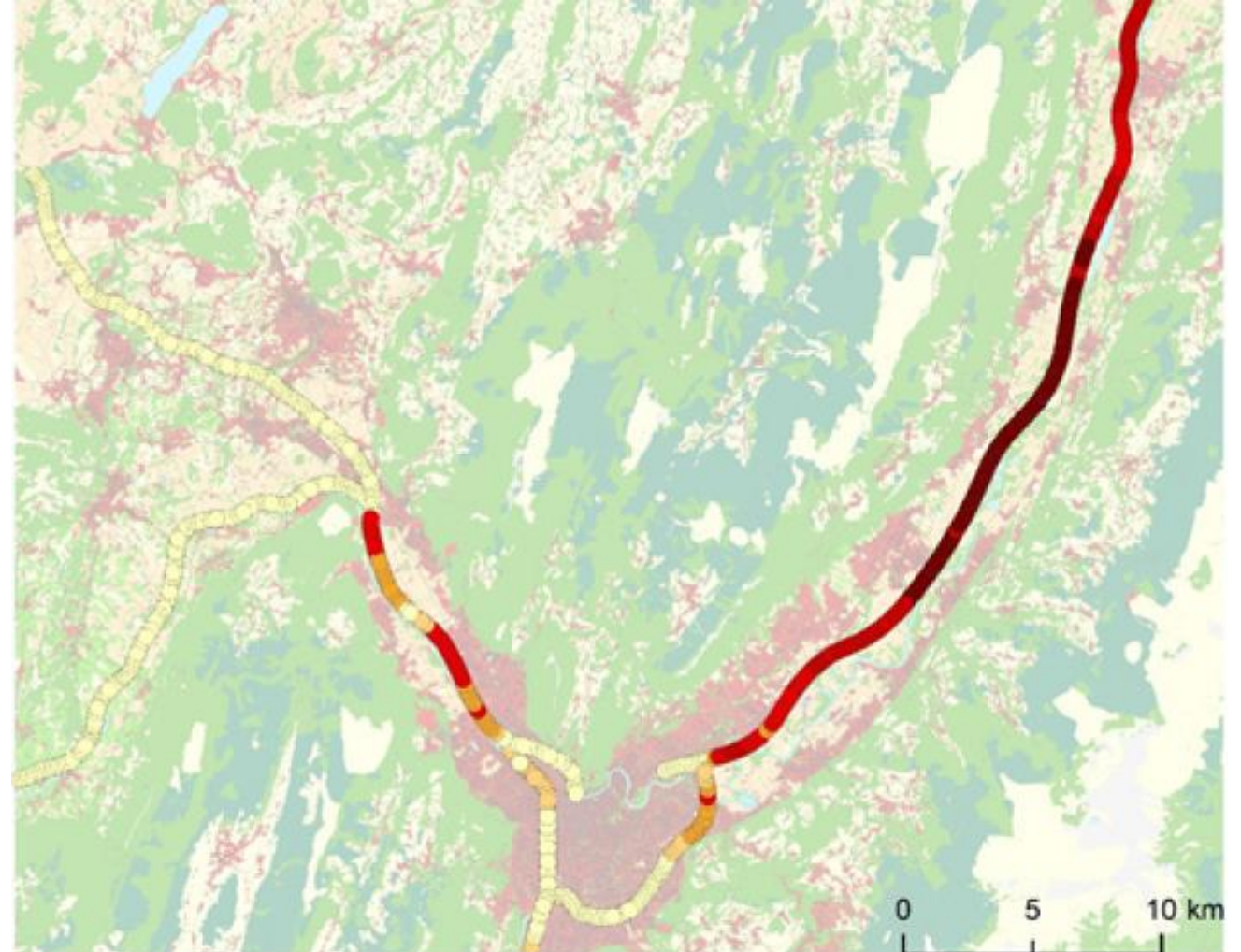
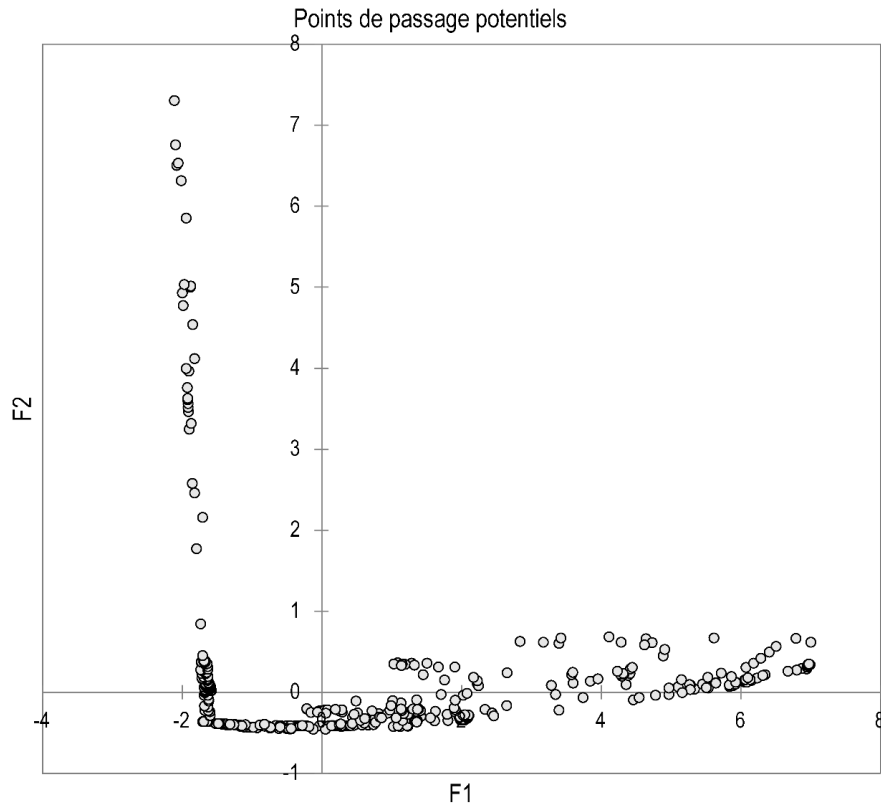
## Localiser les zones à reconnecter en créant de nouveaux corridors



Séquence ERC  
REDUIRE

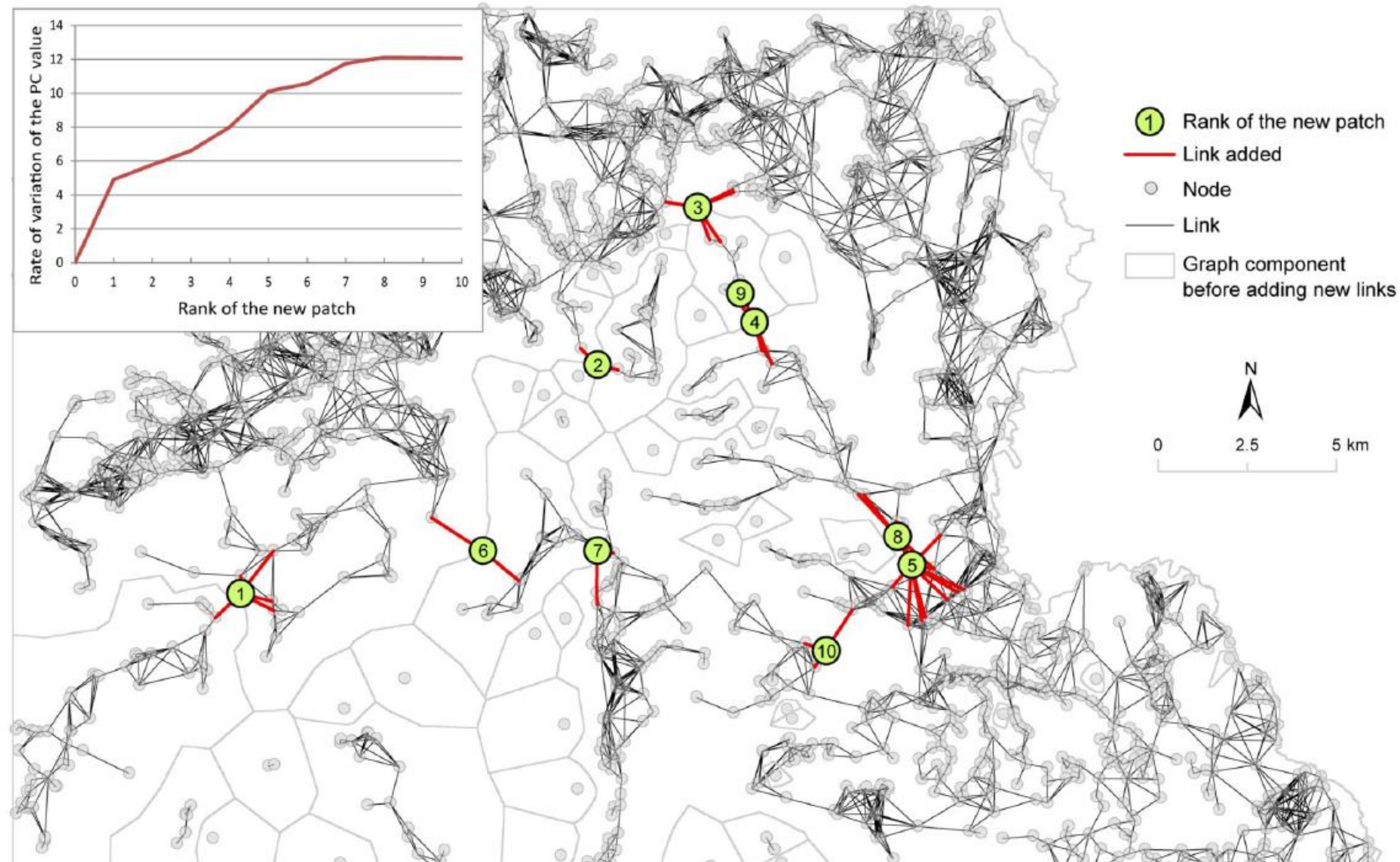


# Localisation optimale des passages à faune pour le scénario autoroute infranchissable (axe 1 de l'ACP) pour l'ensemble des espèces, excepté celles de milieu ouvert.



# 3 Applications en aménagement et en conservation

## Localiser les zones à reconnecter en créant de nouveaux habitats



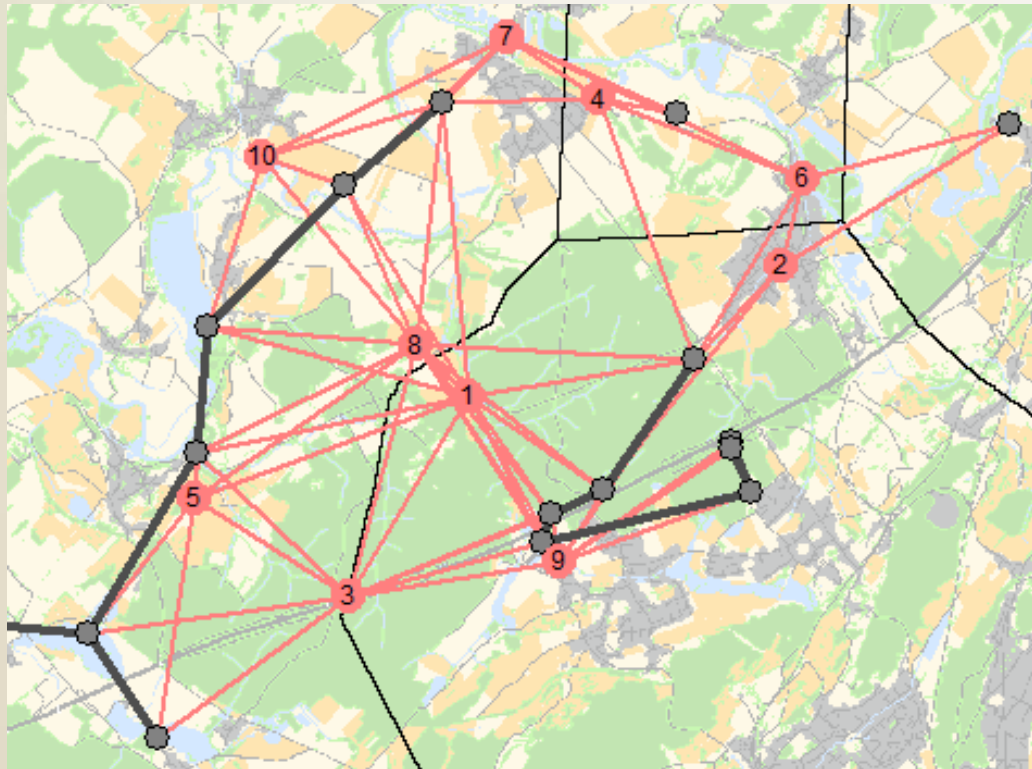
Séquence ERC  
COMPENSER



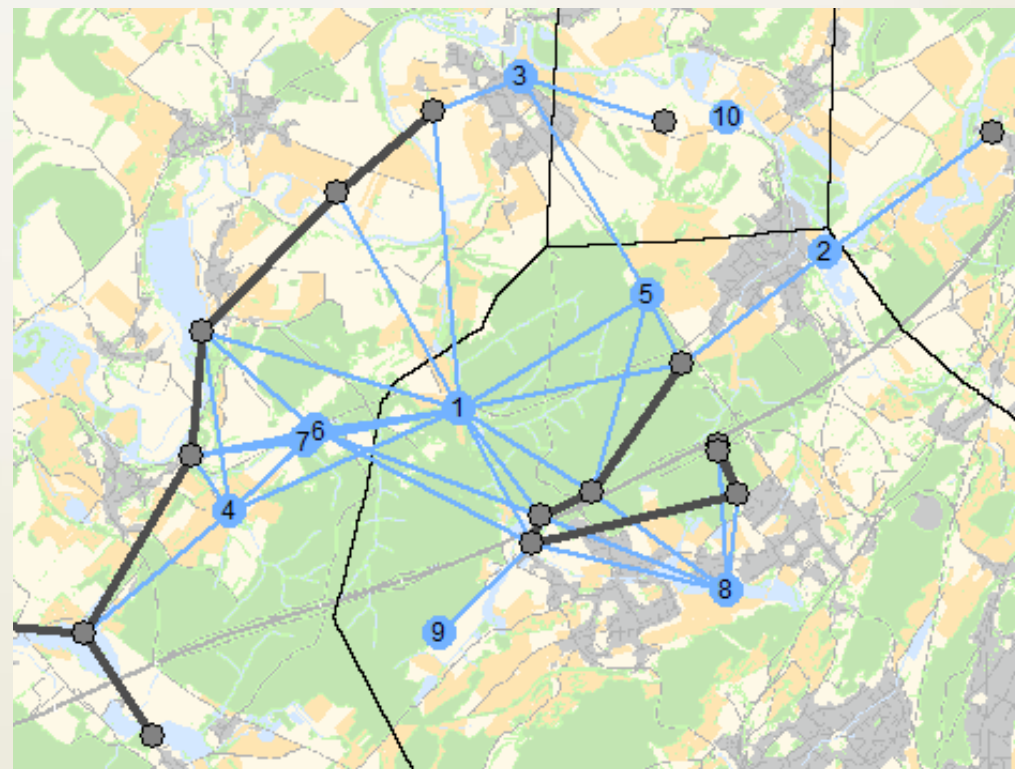
### 3 Applications en aménagement et en conservation

## Localiser les zones à reconnecter en créant de nouveaux habitats

Hiérarchisation de 10 mares créées par le modèle



Hiérarchisation des 10 mares identifiées par les experts



# Conclusion

## Enjeux

- Construction de modèles représentatifs des processus écologiques
- Combinaison des résultats pour les approches multi-espèces
- Transfert vers l'opérationnel



# Merci pour votre attention et Merci à...

Jean-Christophe Foltête  
Gilles Vuidel  
Paul Savary  
Yohan Sahraoui  
Marc Bourgeois  
Xavier Girardet  
Stéphane Garnier

...

