

Une approche multi-espèces pour évaluer et spatialiser les impacts locaux des formes de croissance urbaine sur les réseaux écologiques

Marc Bourgeois

Université Lyon 3 Jean Moulin
UMR 5600 Environnement Ville Société (EVS)

marc.bourgeois@univ-lyon3.fr



- Accélération du processus de croissance urbaine depuis la révolution industrielle
- Impacts sur les sphères, économiques, sociales et **environnementales**
 - Focalisation sur les impacts écologiques, et plus précisément sur la connectivité des réseaux écologiques des espèces animales
- Relations complexes entre les formes urbaines et les processus écologiques
- Résultats parfois contradictoires dans la littérature
- Mais des avancées récentes dans le domaine :
 - Thèse de Marc Bourgeois : Impacts écologiques des formes d'urbanisation. Modélisations urbaines et paysagères (soutenue en décembre 2015 à Besançon)

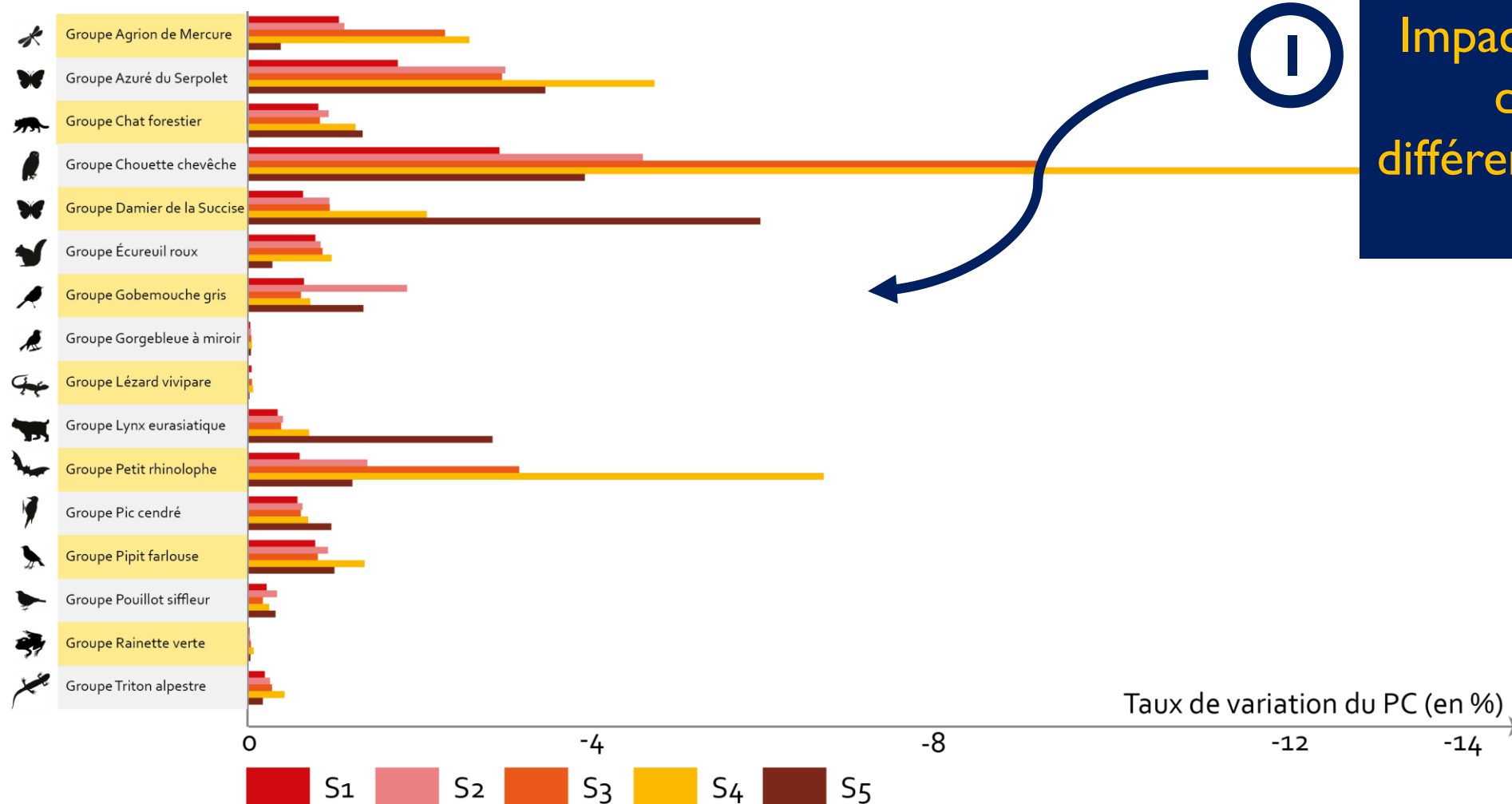
Précédemment... dans ma thèse...

Avancées récentes

- Utilisation de cinq scénarios présentant des formes urbaines contrastées
- Mesures diachroniques de connectivité écologique pour plusieurs espèces
- Résultats de la thèse : montrent que les relations entre formes urbaines et processus écologiques demeurent complexes

Précédemment... dans ma thèse...

Avancées récentes

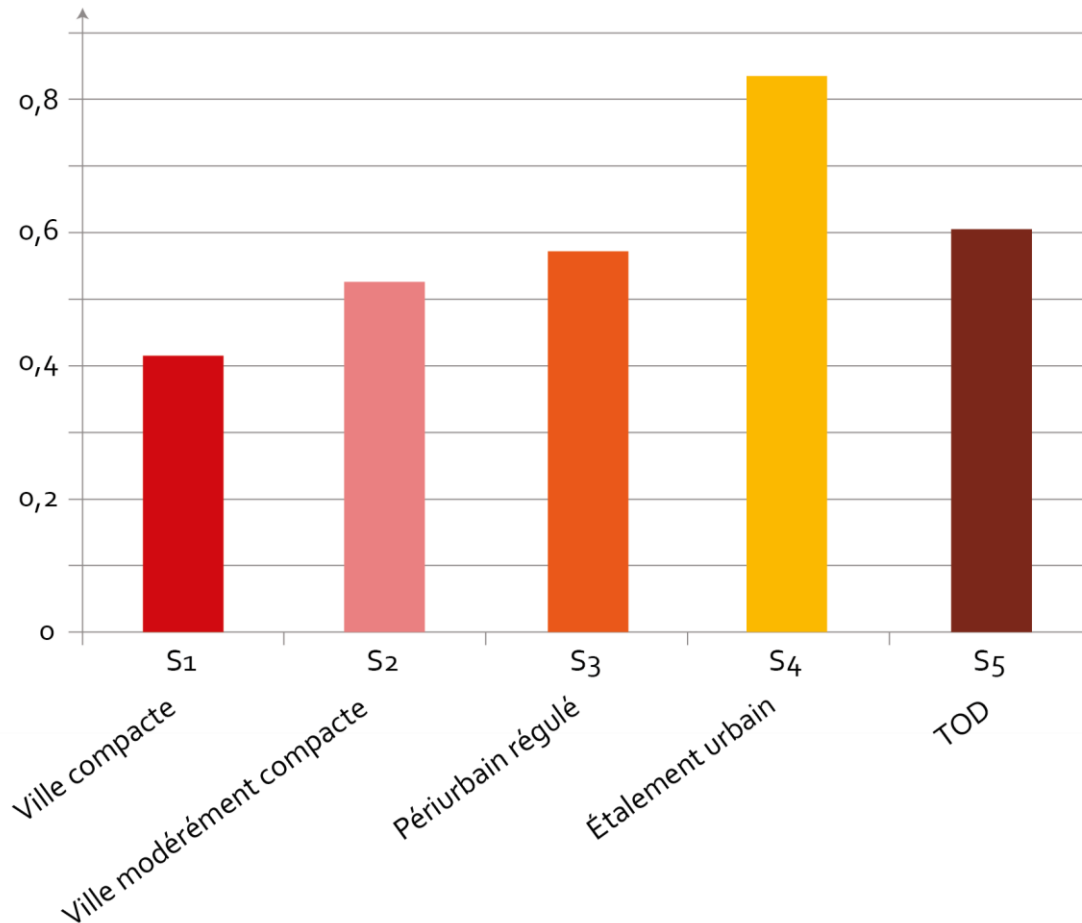


Impacts écologiques faibles dans l'absolu mais différenciés selon les espèces et les scénarios

Précédemment... dans ma thèse...

Avancées récentes

Moyenne des impacts de
chaque scénario (en %)



1

Impacts écologiques faibles dans l'absolu mais différenciés selon les espèces et les scénarios

2

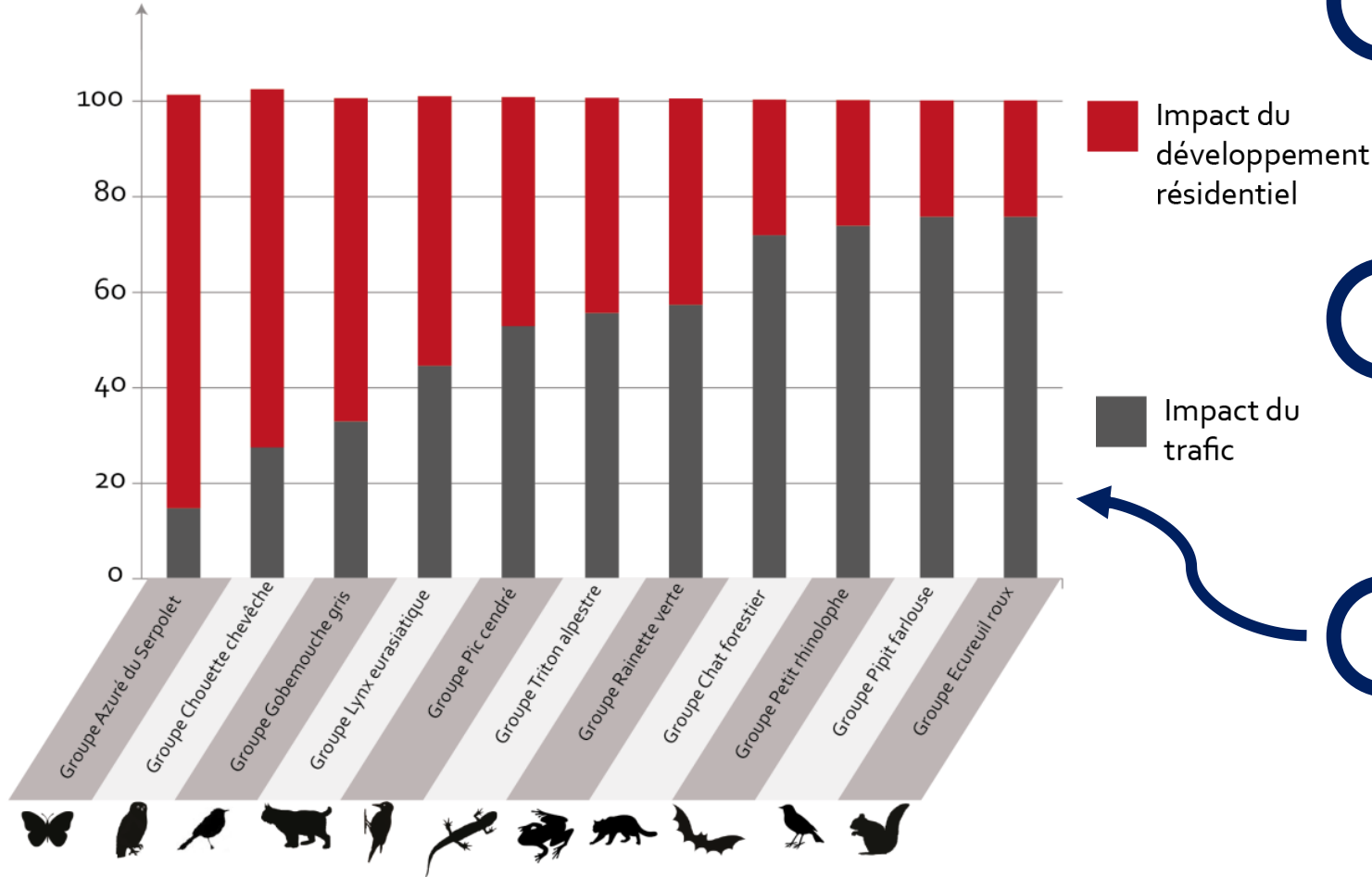
Les scénarios denses et compacts préservent le mieux la connectivité écologique



Précédemment... dans ma thèse...

Avancées récentes

Contributions respectives du développement résidentiel et du trafic aux variations de PC global de chaque groupe d'espèce (en %)



1

Impacts écologiques faibles dans l'absolu mais différenciés selon les espèces et les scénarios

2

Les scénarios denses et compacts préservent le mieux la connectivité écologique

3

La contribution du trafic aux impacts écologiques est importante

Impacts globaux / Impacts locaux

Mise en contexte

- Mais résultats calculés au niveau global : impact quantifié **pour l'ensemble de la zone d'étude**
- Ne tient donc pas compte des disparités **locales** : un scénario peut être globalement bon pour la connectivité mais causer localement de lourds impacts

1

Impacts écologiques faibles dans l'absolu mais différenciés selon les espèces et les scénarios

2

Les scénarios denses et compacts préservent le mieux la connectivité écologique

3

La contribution du trafic aux impacts écologiques est importante

Résultats globaux

Impacts globaux / Impacts locaux

Mise en contexte

- Question de l'intégration des résultats dans une séquence ERC (Eviter – Réduire – Compenser)
- Résultats globaux : pour guider la planification (ou non) d'une politique d'aménagement à l'échelle supra-communale
- Et si tel scénario est choisi...
 - **Quelles** espèces sont les plus menacées par tel ou tel scénario d'aménagement ?
 - **Où** sont les menaces les plus importantes ? Comment les éviter ?
 - Quelles **solutions** peut-on apporter localement ?

Problématique de recherche

- **Comment la spatialisation de l'impact écologique de différentes formes d'urbanisation peut-elle aider à la mise en place de mesures de conservation ?**

Hypothèses de travail

- La spatialisation des impacts écologiques...
 - ...apporte une plus-value aux résultats globaux déjà obtenus (comparaisons plus fines des scénarios, et donc plus complexes)
 - ...aide à l'identification de réservoirs de biodiversité
 - ...permet d'identifier des espaces vulnérables et de proposer de zonages de conservation

Volet « évolutions urbaines »



Ville compacte
Ville étalée
TOD
...

- Simulations :**
- 5 scénarios de développement résidentiel
 - Trafic routier associé

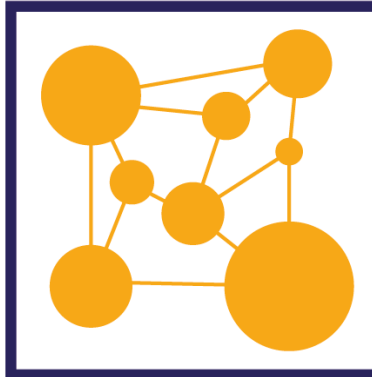
Volet « évolutions urbaines »



Ville compacte
Ville étalée
TOD
...

- Simulations :**
- 5 scénarios de développement résidentiel
 - Trafic routier associé

Volet « écologie du paysage »



- Simulations :**
- Réseaux écologiques de 16 groupes d'espèces sous forme de graphes paysagers

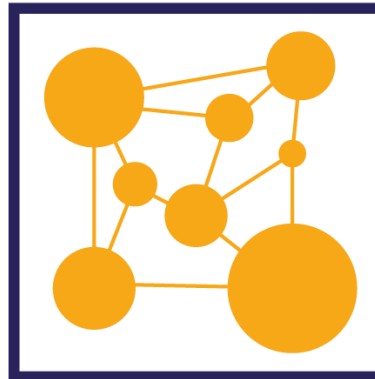
Volet « évolutions urbaines »



Ville compacte
Ville étalée
TOD
...

Simulations :
- 5 scénarios de développement résidentiel
- Trafic routier associé

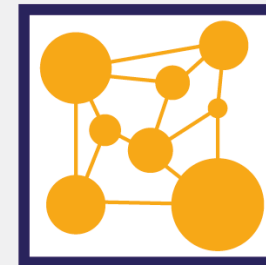
Volet « écologie du paysage »



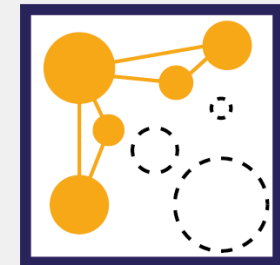
Simulations :
Réseaux écologiques de 16 groupes d'espèces sous forme de graphes paysagers

Evaluation des impacts

Mesures de connectivité



A l'état initial
Valeur métrique : 0,8



Après un scénario
Valeur métrique : 0,4

PERTE DE CONNECTIVITE **GLOBALE** : 50%

Premiers résultats

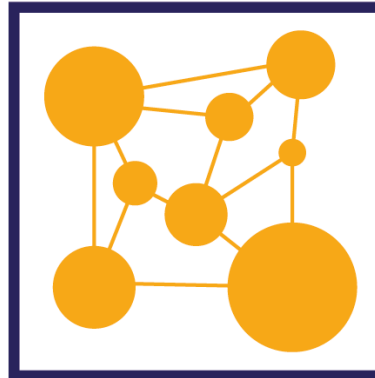
Volet « évolutions urbaines »



Ville compacte
Ville étalée
TOD
...

Simulations :
- 5 scénarios de développement résidentiel
- Trafic routier associé

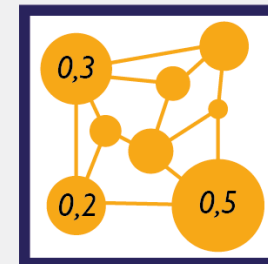
Volet « écologie du paysage »



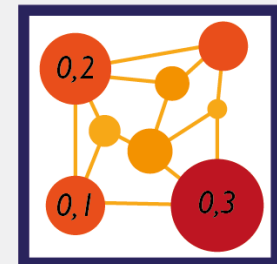
Simulations :
Réseaux écologiques de 16 groupes d'espèces sous forme de graphes paysagers

Evaluation des impacts *Mesures de connectivité*

Objectif de ce travail

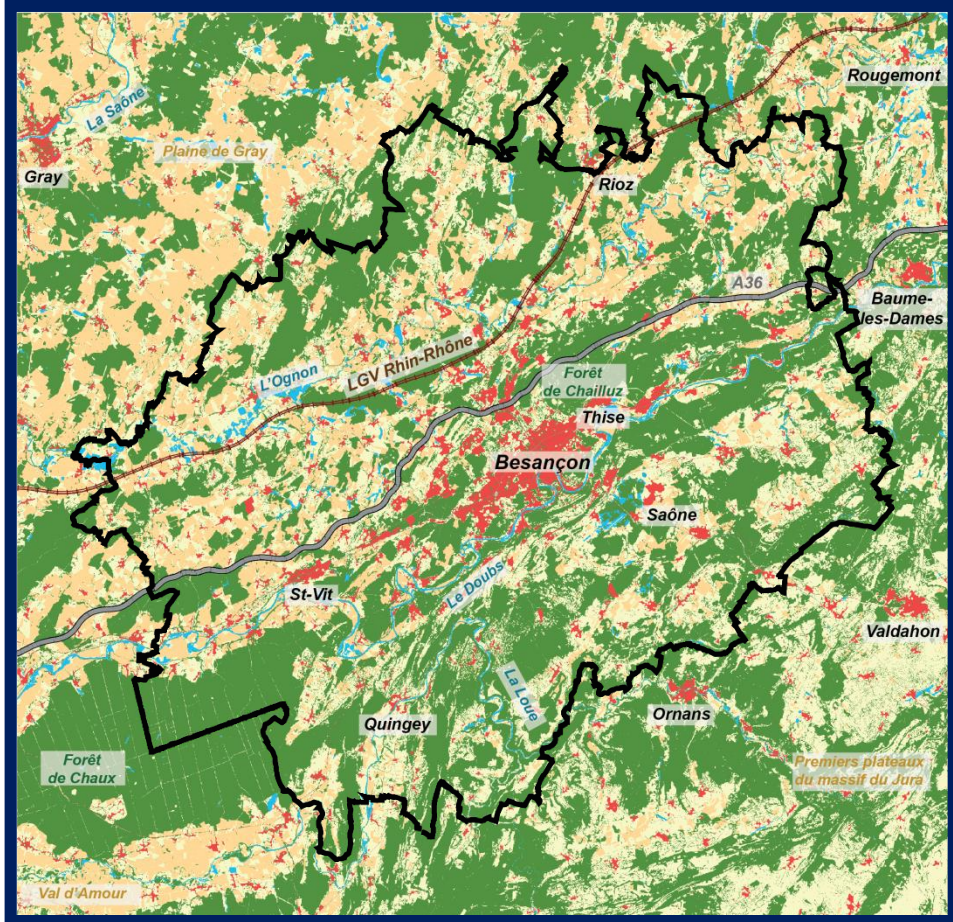


A l'état initial



Après un scénario

PERTE DE CONNECTIVITE CALCULEE
LOCALEMENT



Zone de modélisation des évolutions urbaines (Aire Urbaine de Besançon)

Classes d'occupation du sol

- autoroute
- LGV
- zone urbanisée
- forêt
- surface en eau et zone humide
- culture
- prairie et sol nu



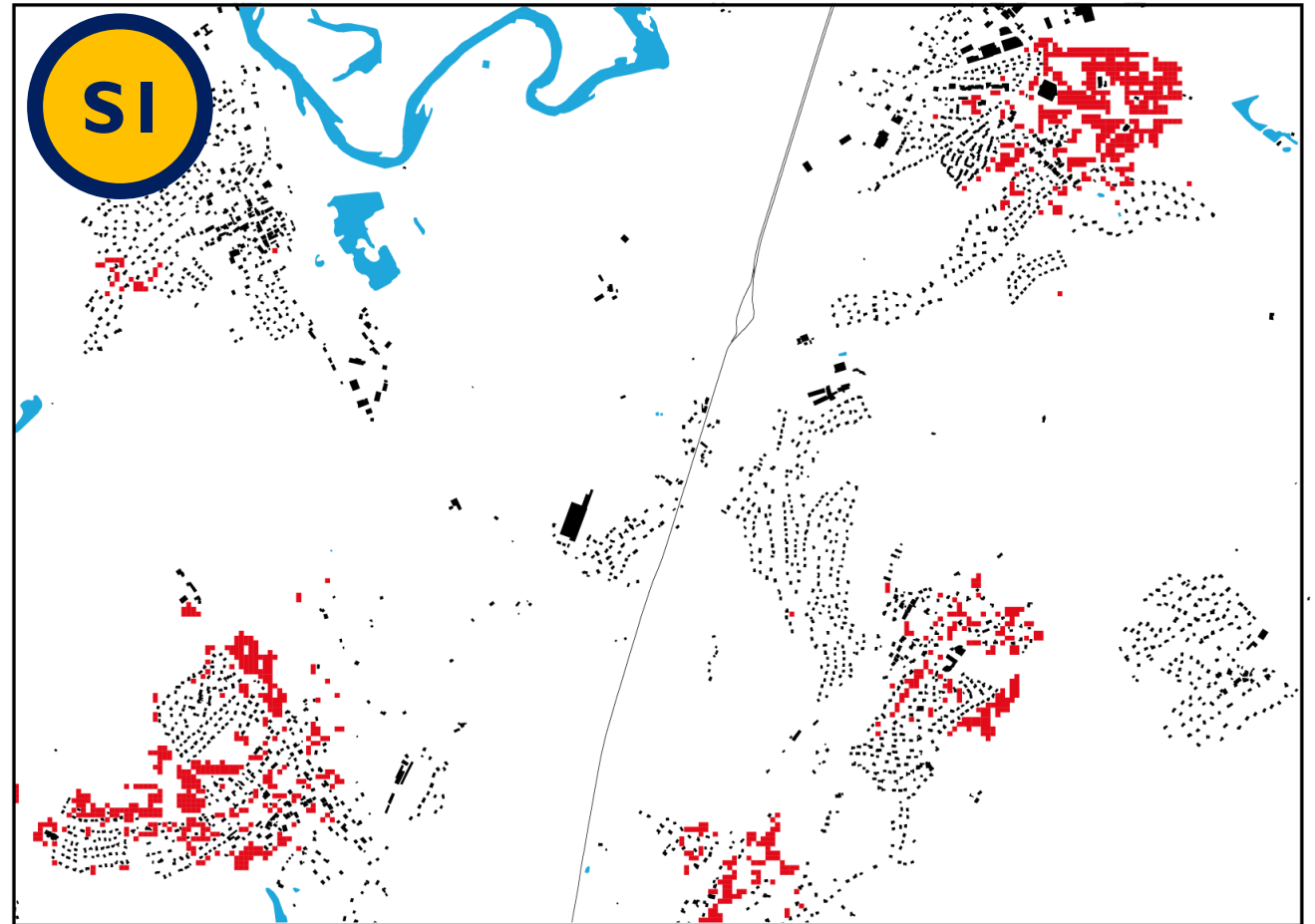
- Zone de 60 km de côté centrée sur Besançon
- Permet de prendre en compte les espèces à grande capacité de déplacement

Scénarios d'urbanisation

- Simulation de cinq scénarios de développement résidentiel présentant des formes contrastées
- Simulation du trafic routier associé
- Modèles utilisés :

municipity
MULTI-SCALE URBAN PLANNING

mohisim
AGENT-BASED MOBILITY SIMULATION



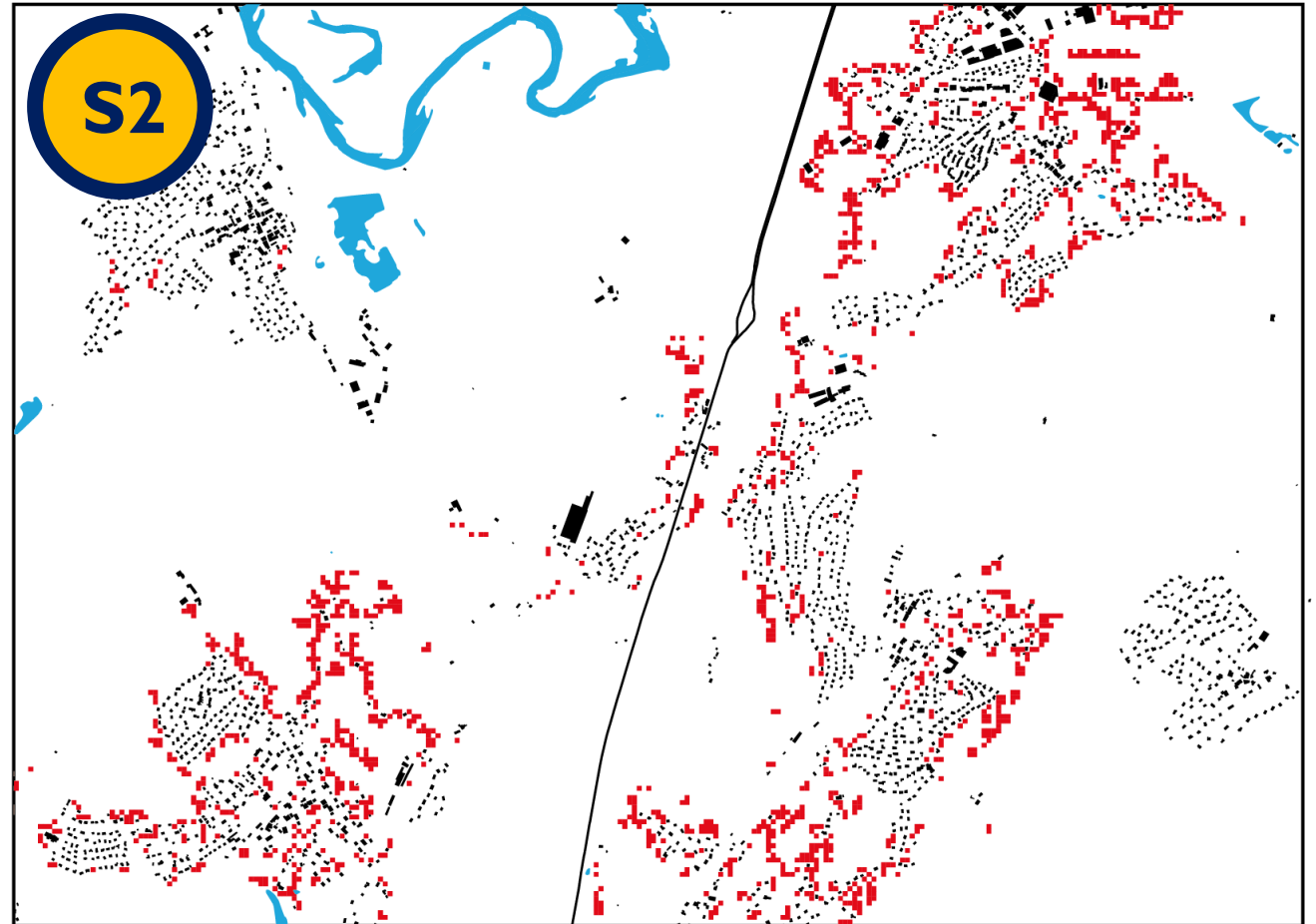
Ville compacte

Scénarios d'urbanisation

- Simulation de cinq scénarios de développement résidentiel présentant des formes contrastées
- Simulation du trafic routier associé
- Modèles utilisés :

municipity
MULTI-SCALE URBAN PLANNING

mobisim
AGENT-BASED MOBILITY SIMULATION



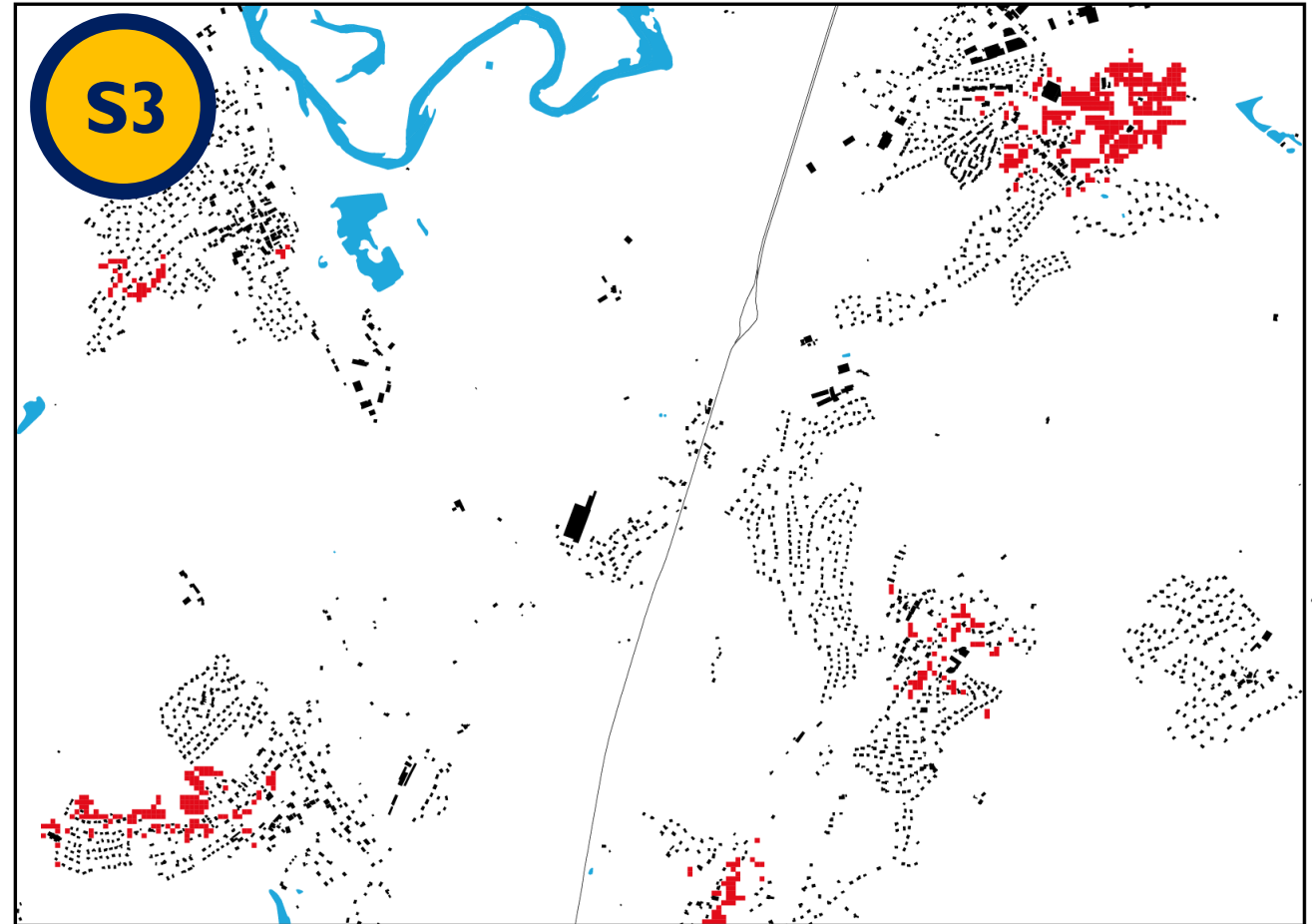
Ville modérément compacte

Scénarios d'urbanisation

- Simulation de cinq scénarios de développement résidentiel présentant des formes contrastées
- Simulation du trafic routier associé
- Modèles utilisés :

municipity
MULTI-SCALE URBAN PLANNING

mobisim
AGENT-BASED MOBILITY SIMULATION



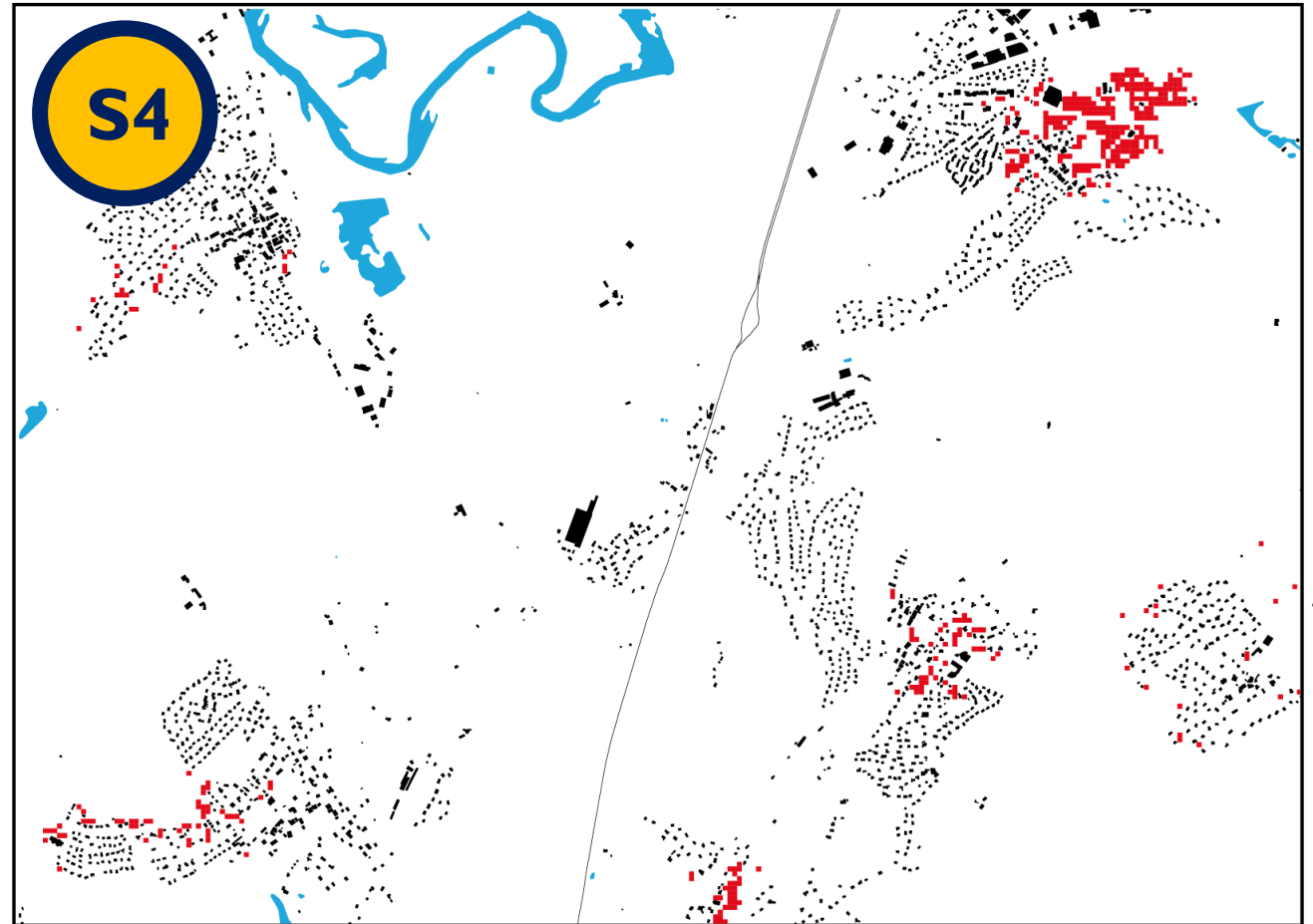
Périurbain régulé

Scénarios d'urbanisation

- Simulation de cinq scénarios de développement résidentiel présentant des formes contrastées
- Simulation du trafic routier associé
- Modèles utilisés :

municipity
MULTI-SCALE URBAN PLANNING

mobisim
AGENT-BASED MOBILITY SIMULATION



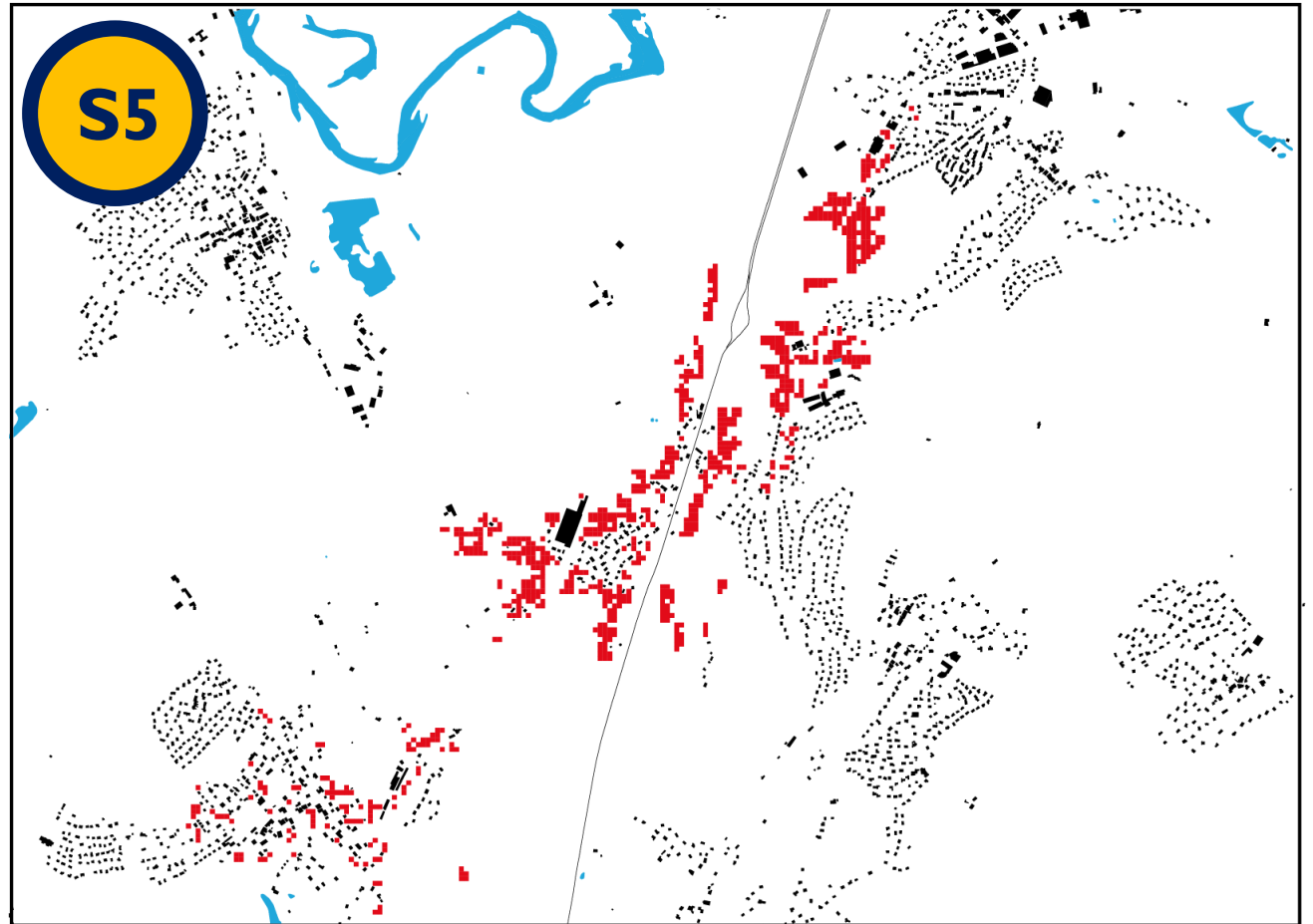
Étalement urbain

Scénarios d'urbanisation

- Simulation de cinq scénarios de développement résidentiel présentant des formes contrastées
- Simulation du trafic routier associé
- Modèles utilisés :

municipity
MULTI-SCALE URBAN PLANNING

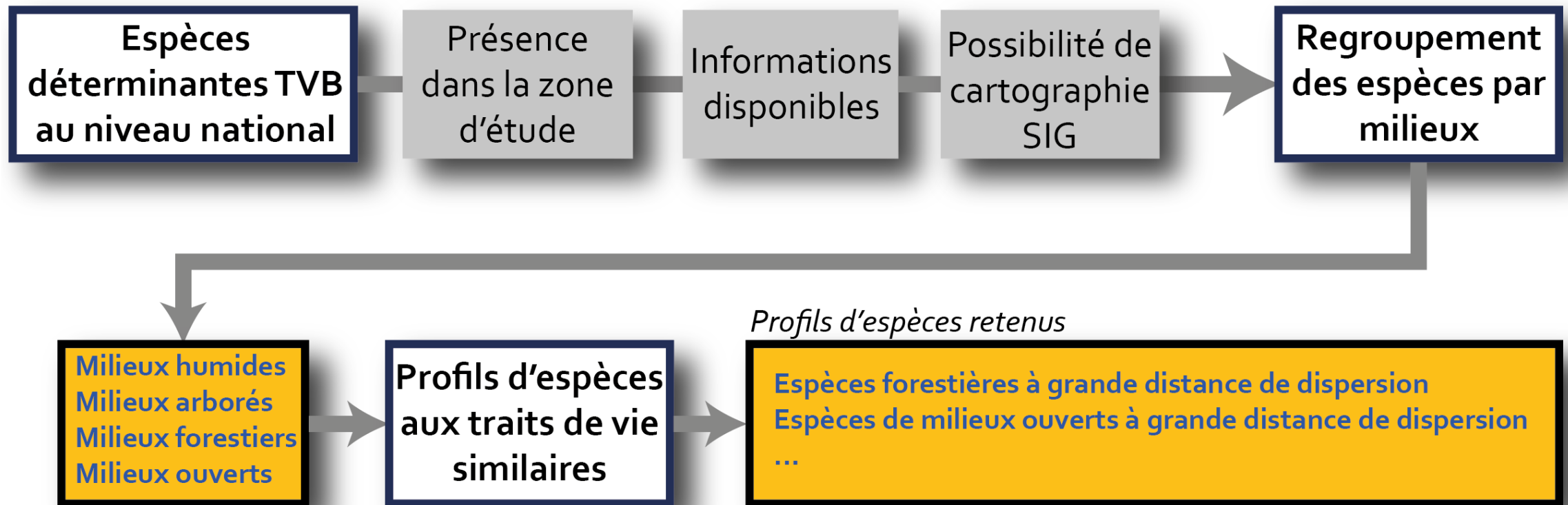
mohisim
AGENT-BASED MOBILITY SIMULATION



















Transit Oriented Development

Approche multi-espèces

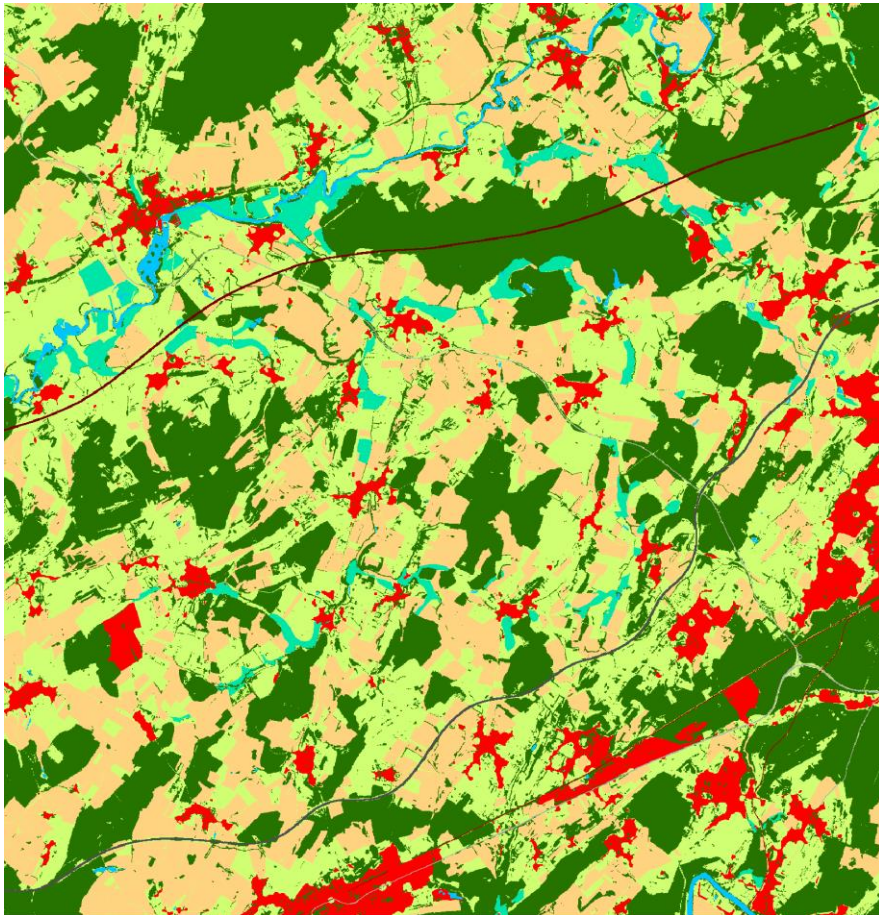
Méthodologie



Approche multi-espèces : 16 groupes retenus

Profil écologique du groupe d'espèces	Nom vernaculaire de l'espèce représentative sélectionnée	Nom latin de l'espèce représentative sélectionnée	
Amphibiens préférant les milieux boisés	Triton alpestre	<i>Ichthyosaura alpestris</i>	
Amphibiens préférant les milieux ouverts	Rainette verte	<i>Hyla arborea</i>	
Chiroptères	Petit rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	
Espèces préférant les milieux aquatiques (hors amphibiens et poissons)	Gorgebleue à miroir	<i>Luscinia svecica</i>	
Insectes de milieux humides faibles disperseurs	Agrion de Mercure	<i>Coenagrion mercuriale</i>	
Insectes de milieux ouverts et arborés faibles disperseurs	Azuré du Serpolet	<i>Maculinea arion</i>	
Insectes de milieux ouverts et arborés moyens disperseurs	Damier de la Succise	<i>Euphydryas aurinia aurinia</i>	
Mammifères forestiers très grands disperseurs	Lynx eurasiatique	<i>Lynx lynx</i>	
Mammifères forestiers grands et moyens disperseurs	Chat forestier	<i>Felis silvestris</i>	
Mammifères forestiers petits disperseurs	Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	
Oiseaux de milieux arborés	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	
Oiseaux de milieux ouverts moyens disperseurs	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	
Oiseaux de milieux ouverts grands disperseurs	Chouette chevêche	<i>Athene noctua</i>	
Oiseaux forestiers moyens disperseurs à petit domaine vital	Pouillot siffleur	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	
Oiseaux forestiers moyens disperseurs à grand domaine vital	Pic cendré	<i>Picus canus</i>	
Reptiles de milieux ouverts	Lézard vivipare	<i>Zootoca vivipara</i>	

Construction des graphes paysagers

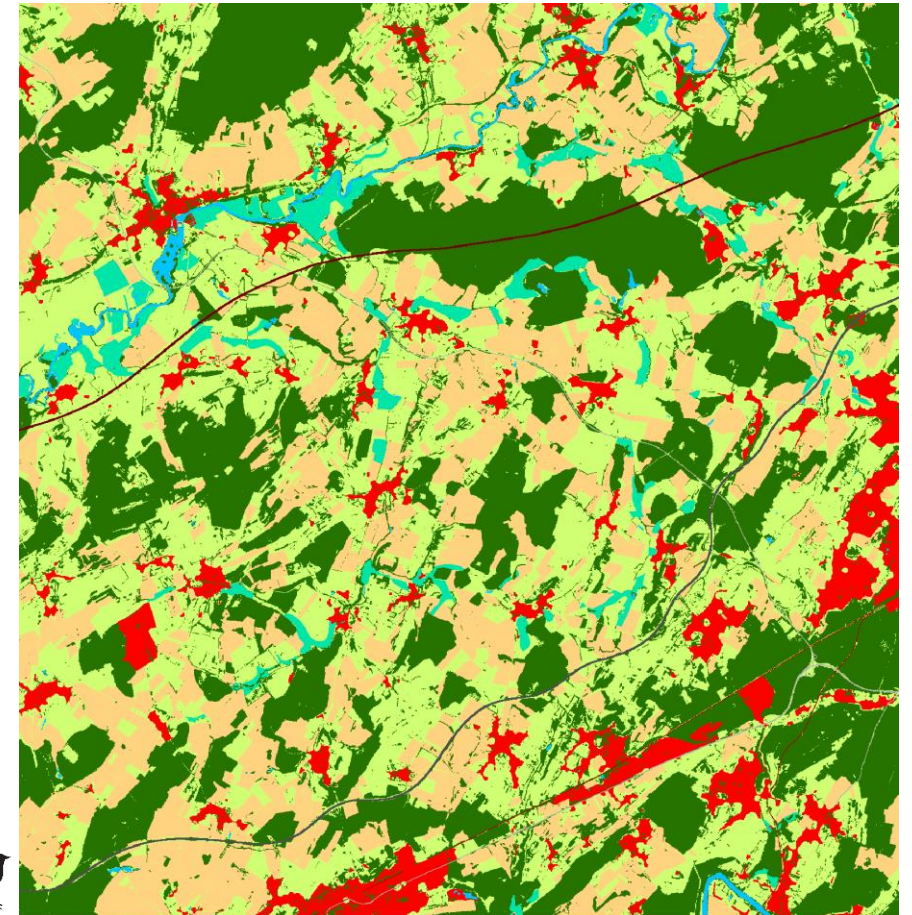


Carte d'occupation du sol

Groupe Pouillot siffleur
« Oiseaux forestiers moyen
disperseurs »
Habitat : forêts de feuillus

Une carte d'OS
spécifique à chaque
groupe d'espèces

Groupe Pipit farlouse
« Oiseaux de milieux ouverts
moyen disperseurs »
Habitat : prairies humides



Carte d'occupation du sol

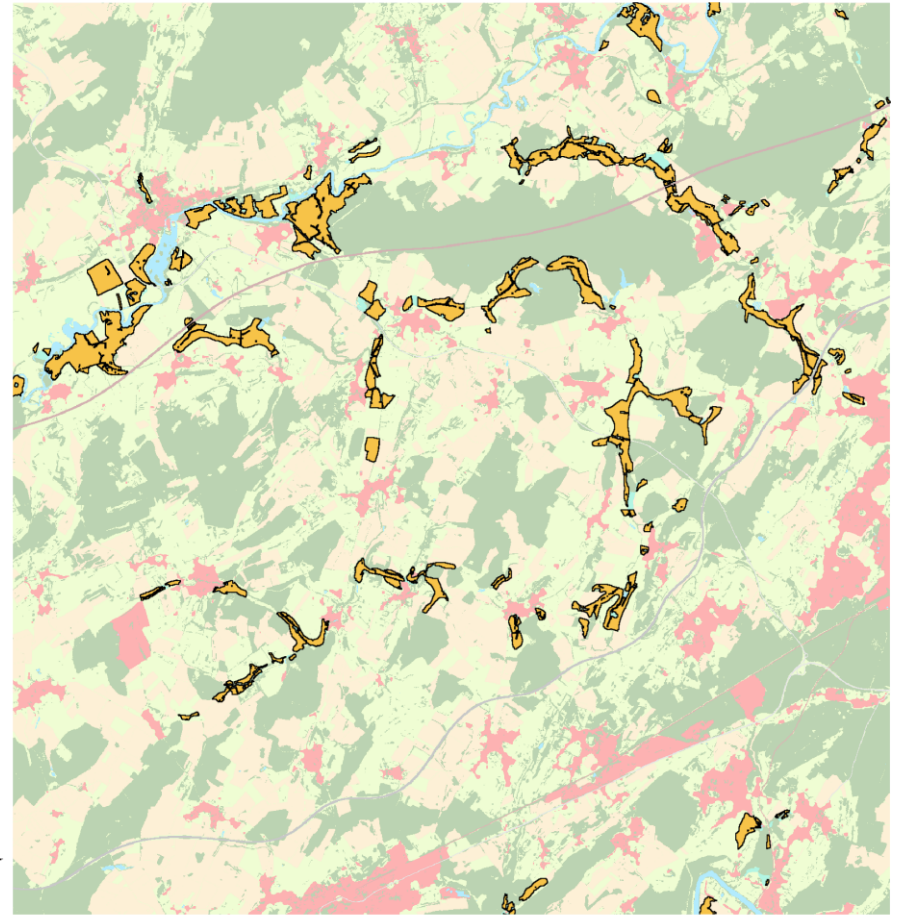
Construction des graphes paysagers



Groupe Pouillot siffleur
« Oiseaux forestiers moyen
dispenseurs »
Habitat : forêts de feuillus

Définition des taches
d'habitat

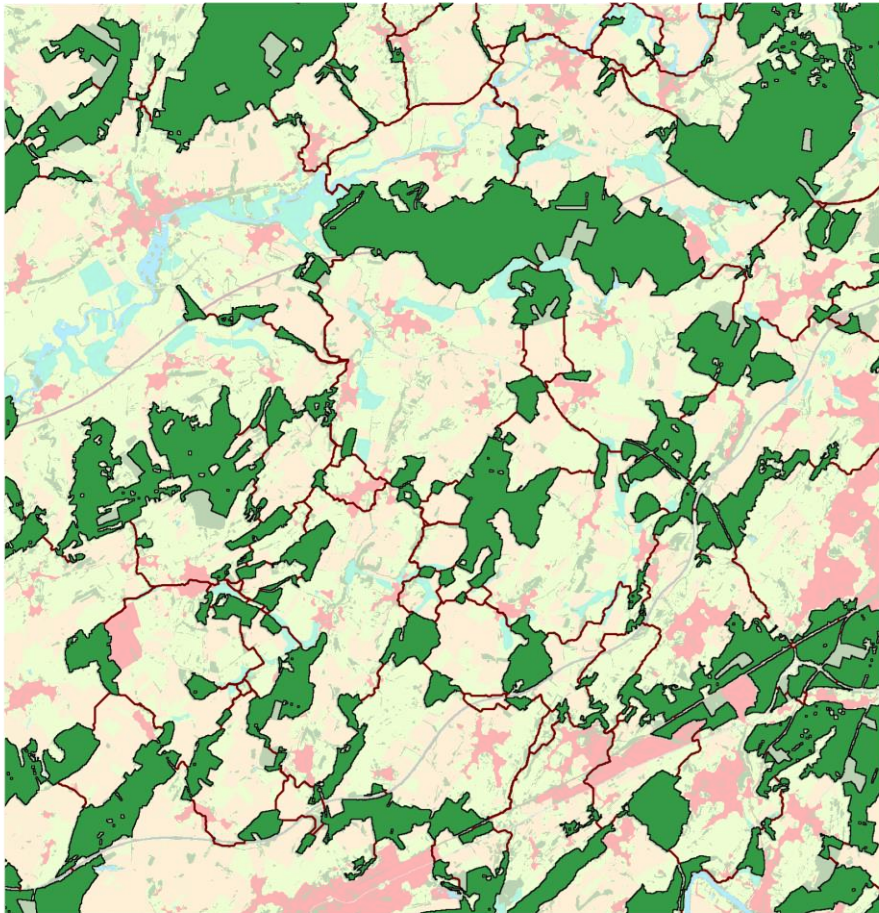
Groupe Pipit farlouse
« Oiseaux de milieux ouverts
moyen dispenseurs »
Habitat : prairies humides



Taches d'habitat du groupe
« Pouillot siffleur »

Taches d'habitat du groupe
« Pipit farlouse »

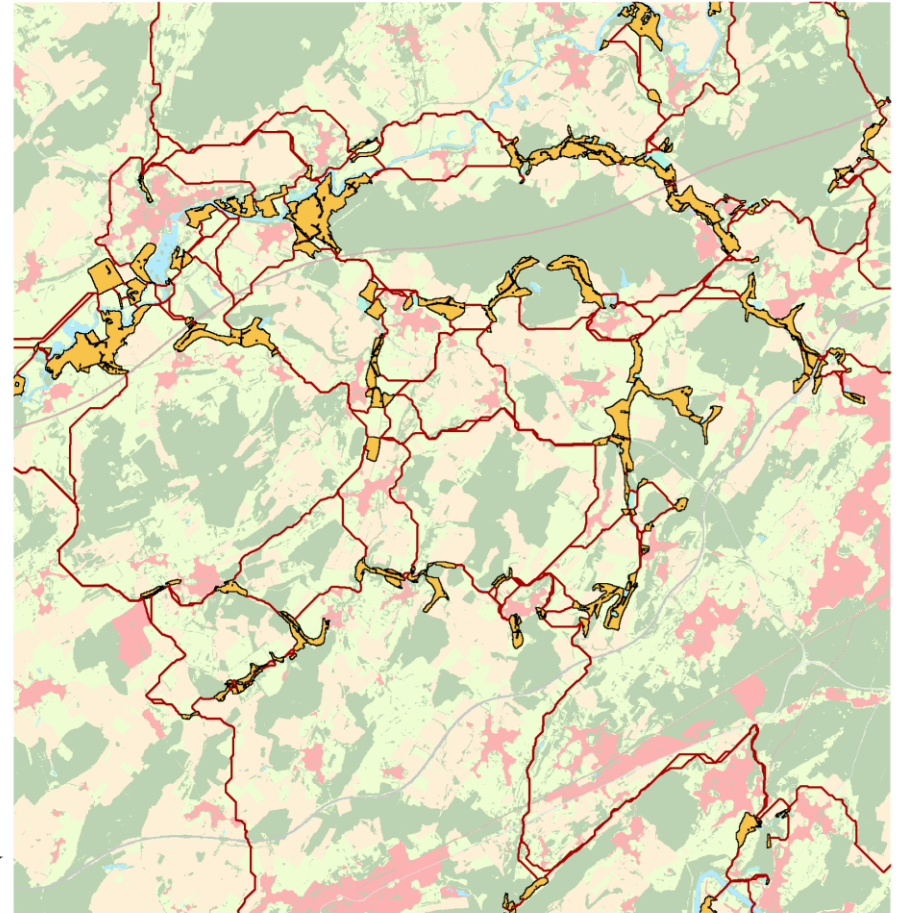
Construction des graphes paysagers



Groupe Pouillot siffleur
« Oiseaux forestiers moyen
dispenseurs »
Habitat : forêts de feuillus

Création des liens en
fonction des chemins de
moindre coût entre les
taches d'habitat

Vue réaliste du graphe paysager du
groupe Pouillot siffleur

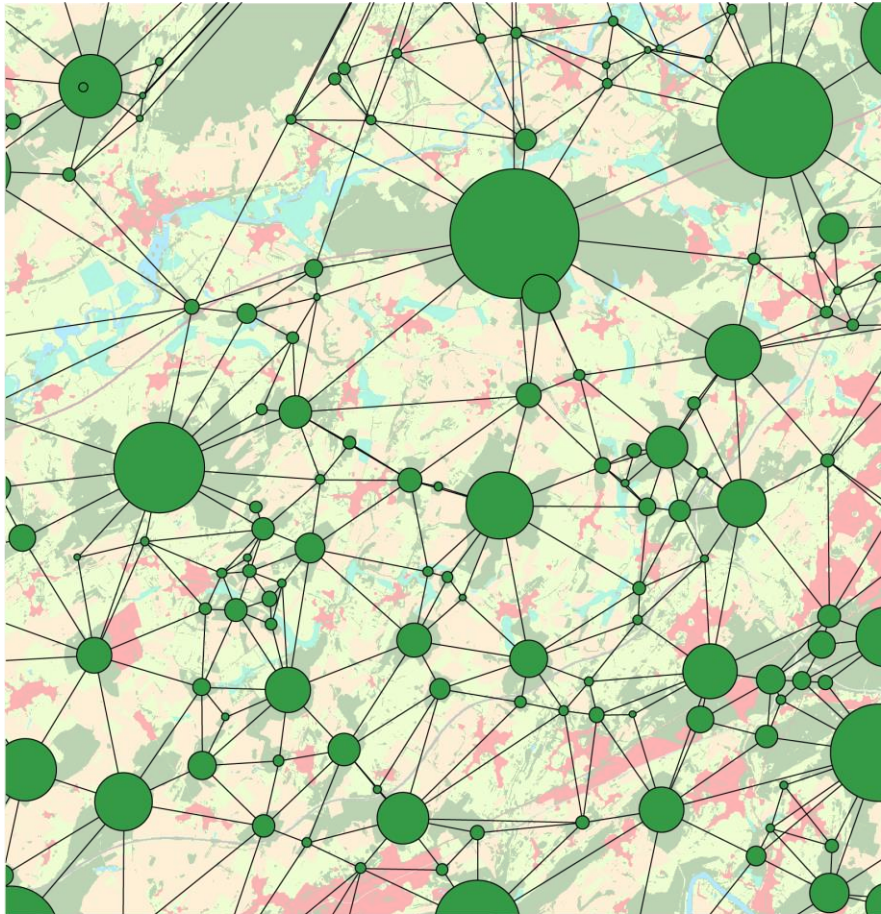


Groupe Pipit farlouse
« Oiseaux de milieux ouverts
moyen dispenseurs »
Habitat : prairies humides

Vue réaliste du graphe paysager du
groupe Pipit farlouse

Construction des graphes paysagers

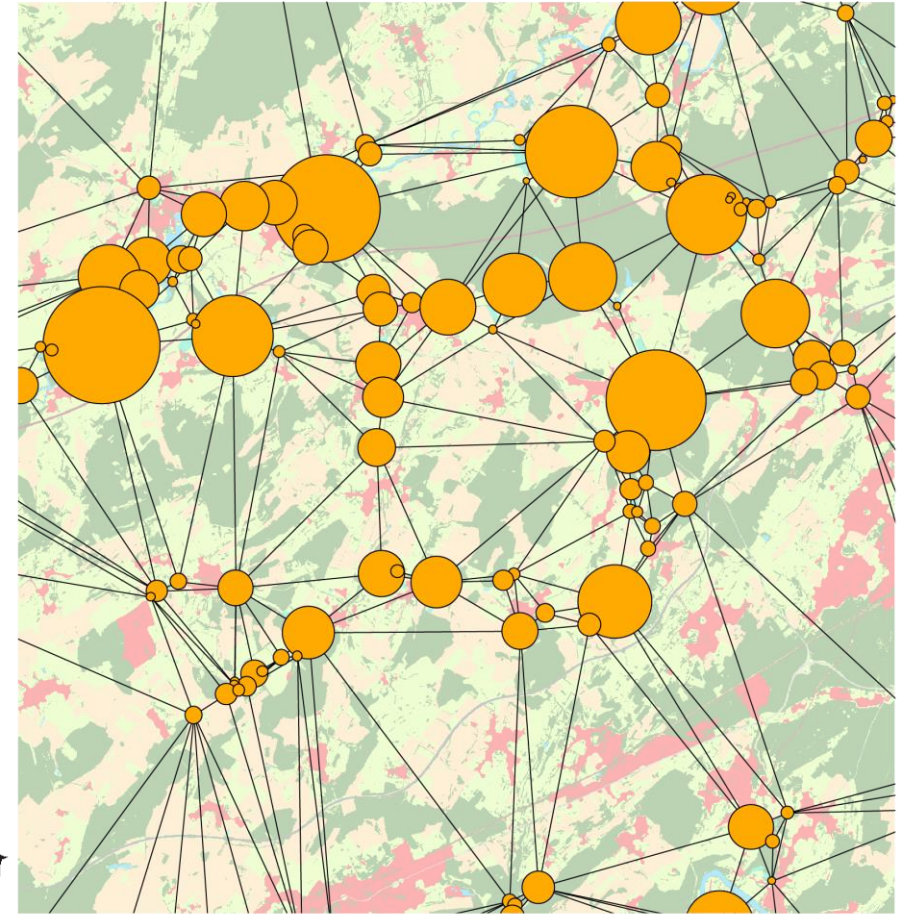
Méthodologie



Groupe Pouillot siffleur
« Oiseaux forestiers moyen
disperseurs »
Habitat : forêts de feuillus

Graphes : support pour
calculer des métriques
de connectivité

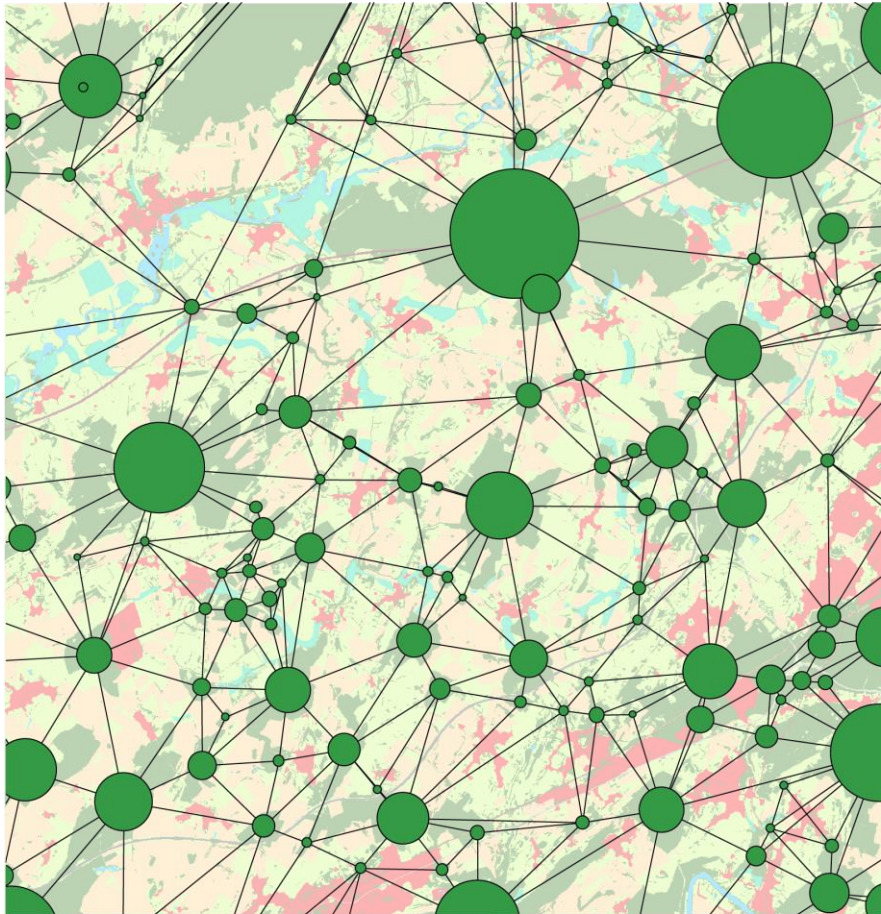
Groupe Pipit farlouse
« Oiseaux de milieux ouverts
moyen disperseurs »
Habitat : prairies humides



Vue topologique du graphe
paysager du groupe Pouillot siffleur

Vue topologique du graphe
paysager du groupe Pipit farlouse

Calcul d'une métrique globale

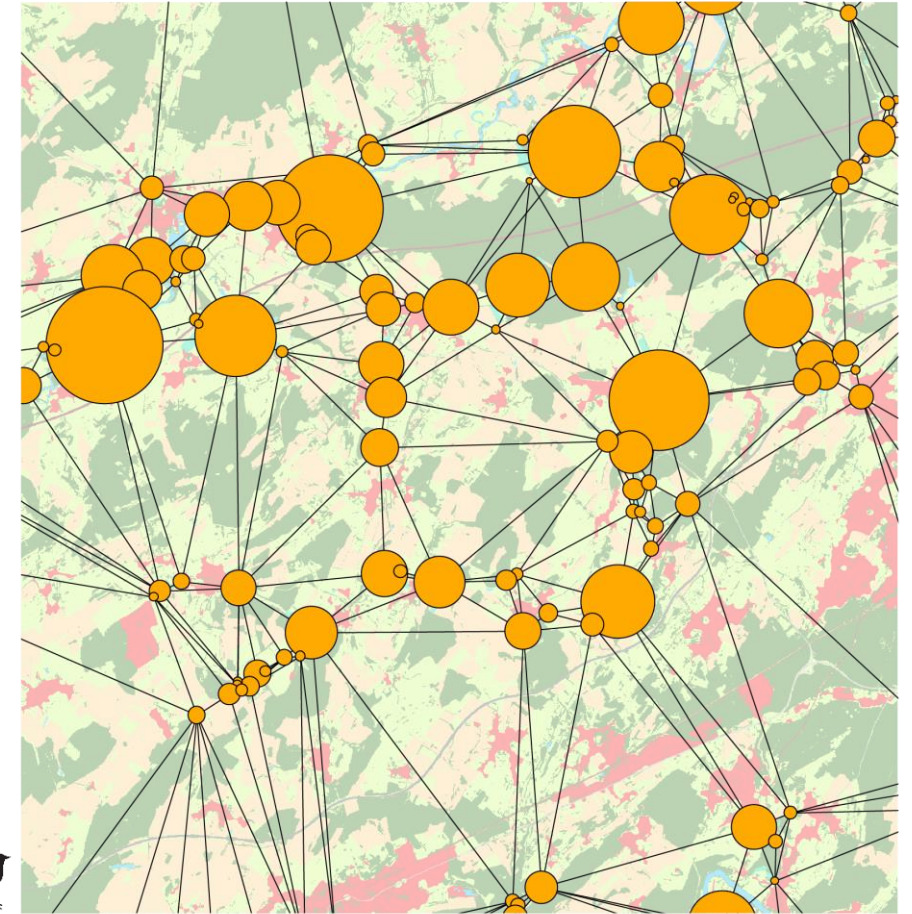


Métrique globale

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

Une valeur pour l'ensemble
du graphe

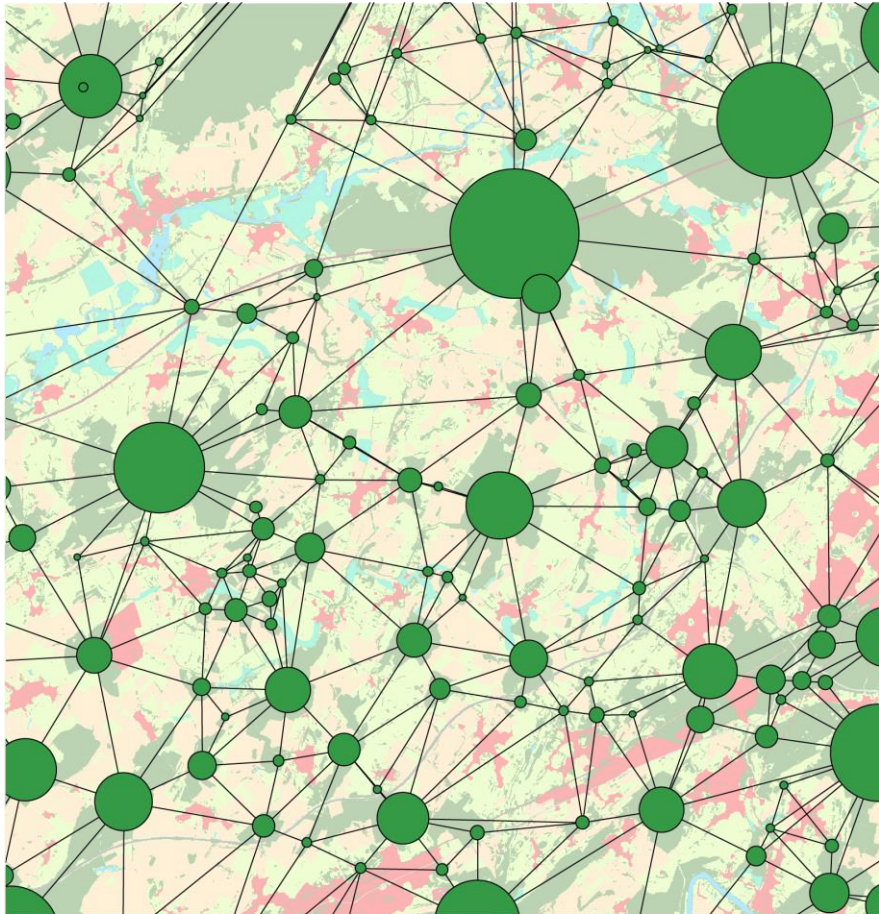
Possibilité de mesures
diachroniques



Vue topologique du graphe
paysager du groupe Pouillot siffleur

Vue topologique du graphe
paysager du groupe Pipit farlouse

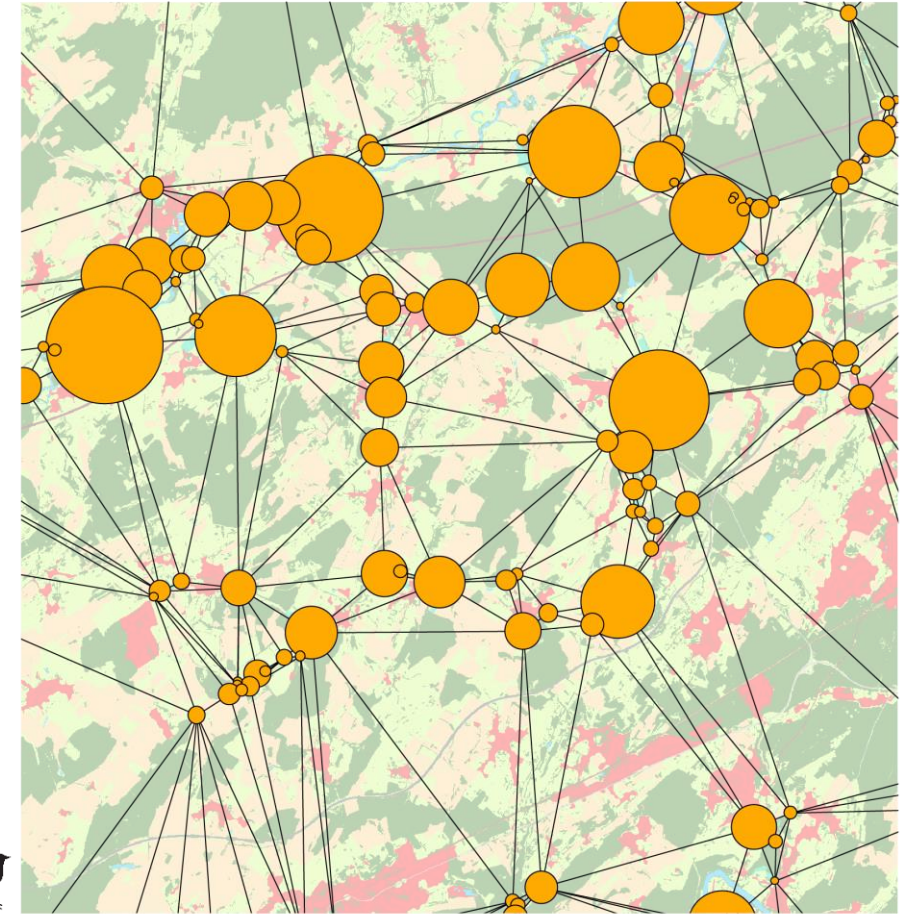
Calcul d'une métrique locale



Métrique locale

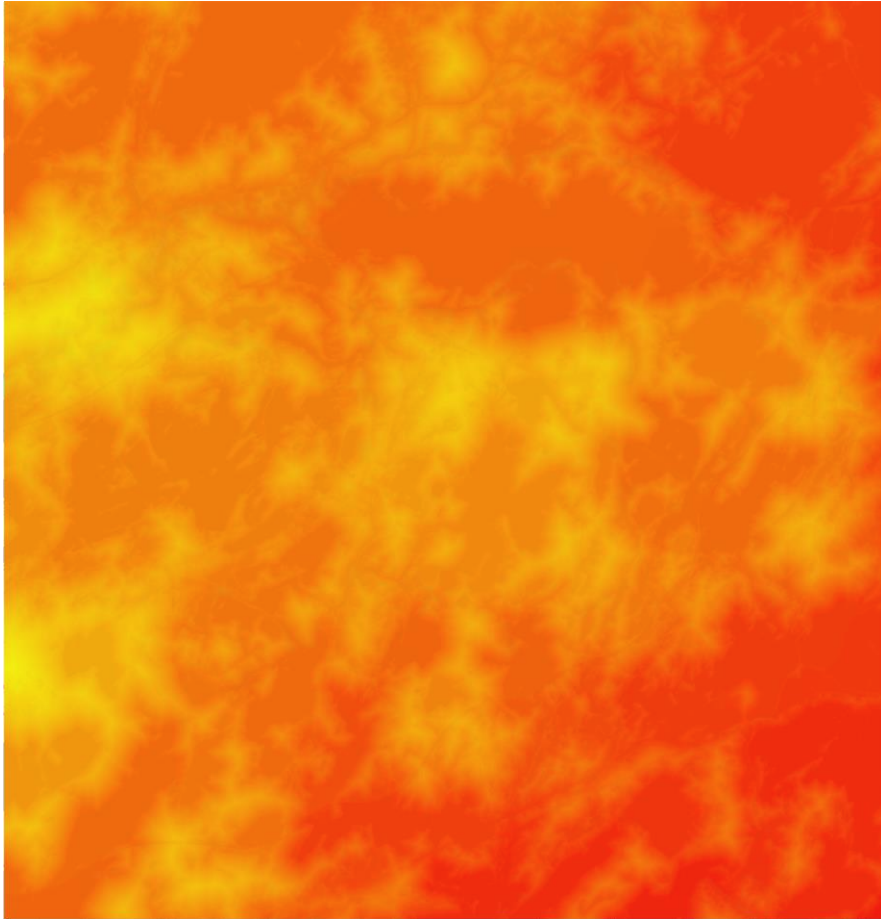
$$PC_{flux}(j) = \frac{\sum_{i=1}^n a_{iaj} p_{ij}^*}{A^2}$$

Une valeur pour chaque
tache d'habitat



Vue topologique du graphe
paysager du groupe Pouillot siffleur

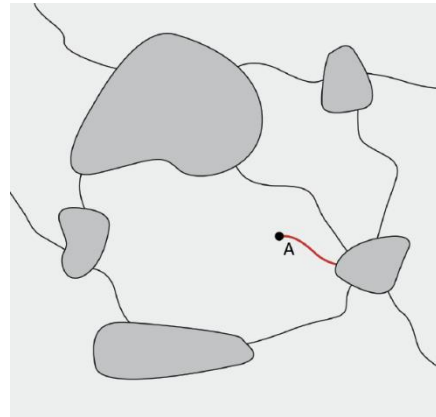
Vue topologique du graphe
paysager du groupe Pipit farlouse



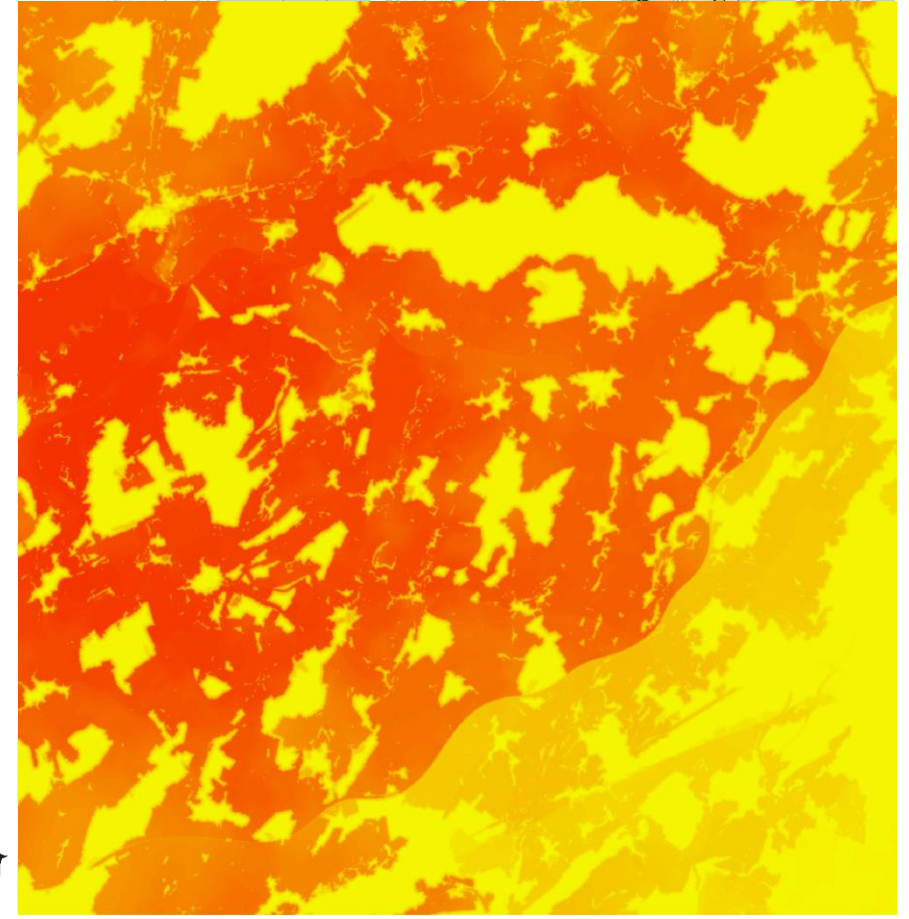
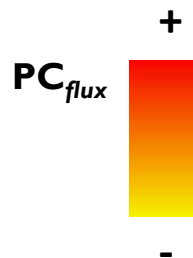
Potentiel de connectivité paysagère à l'état initial pour le groupe Pouillot siffleur



Généralisation spatiale



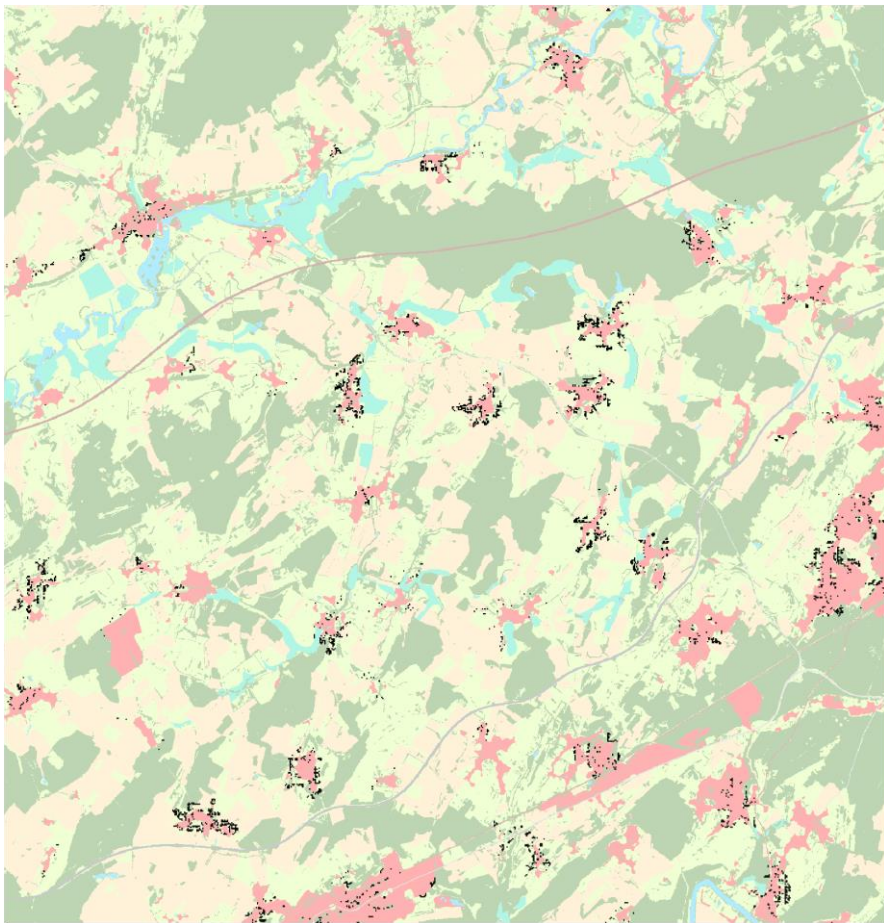
Recours à une interpolation spatiale
Fonction décroissante selon la distance coût



Potentiel de connectivité paysagère à l'état initial pour le groupe Pipit farlouse



Ajout du scénario « S4 : étalement urbain »



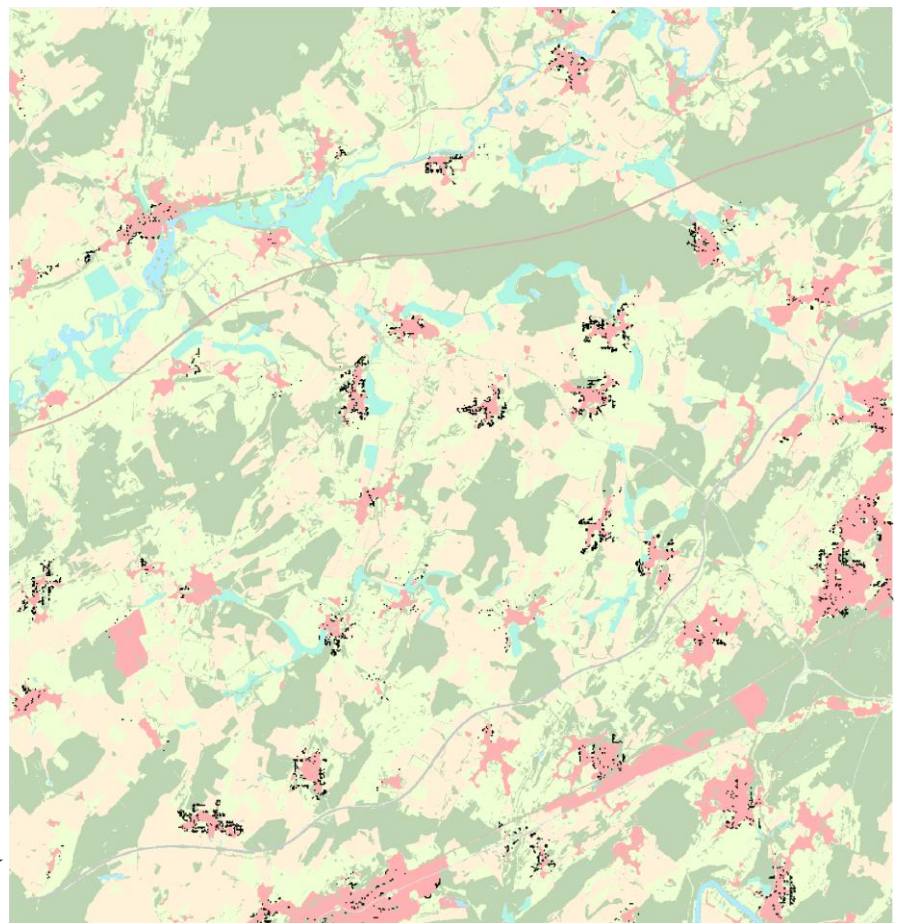
Carte d'occupation du sol avec ajout du scénario 4 (en noir)



Groupe Pouillot siffleur
« Oiseaux forestiers moyen disperseurs »
Habitat : forêts de feuillus

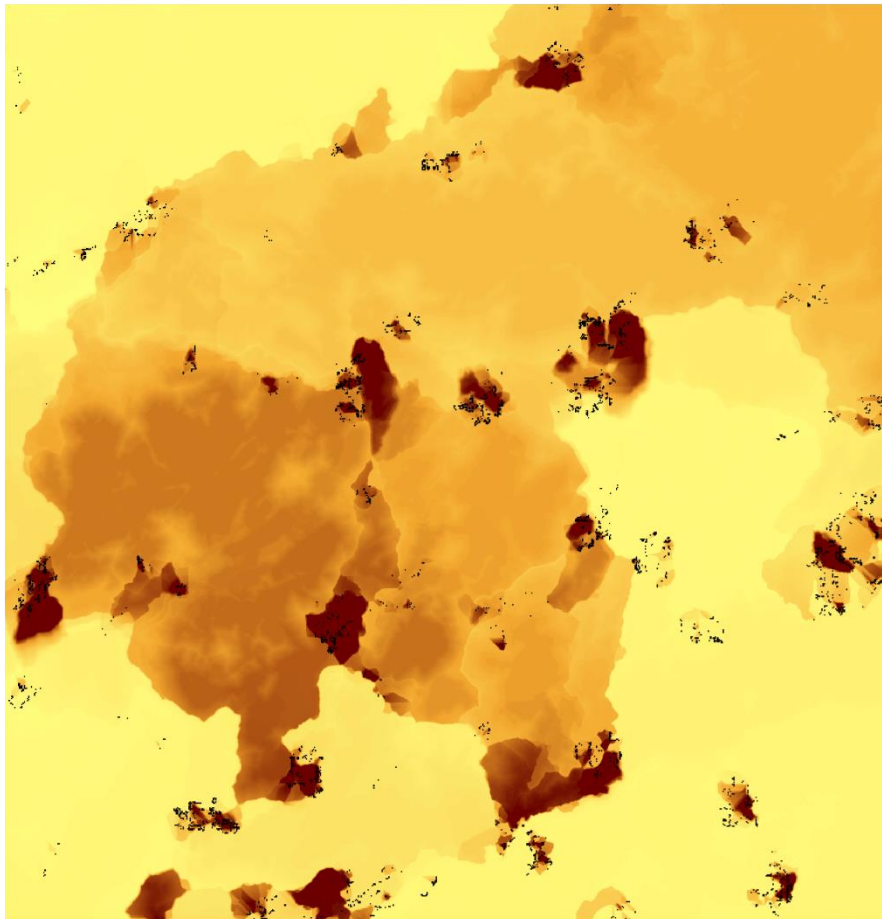
- Modifications :**
- Carte d'OS
 - Carte de coûts
 - Graphes paysagers
 - Métriques de connectivité

Groupe Pipit farlouse
« Oiseaux de milieux ouverts moyen disperseurs »
Habitat : prairies humides



Carte d'occupation du sol avec ajout du scénario 4 (en noir)

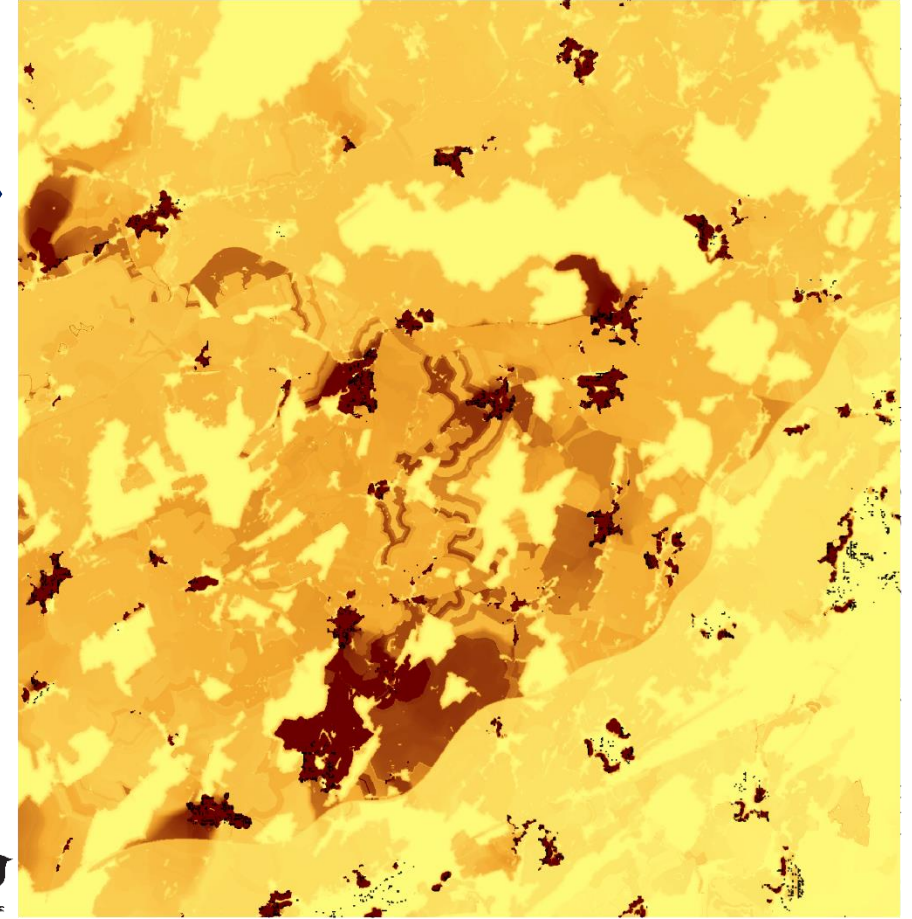
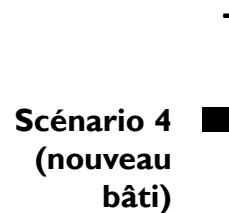
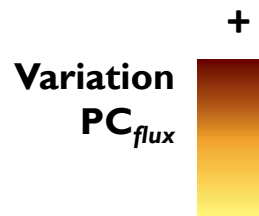
Impacts écologiques locaux



Variation de connectivité écologique pour les taches d'habitat du groupe Pouillot siffleur



Généralisation spatiale
(différence entre état initial
et S4)

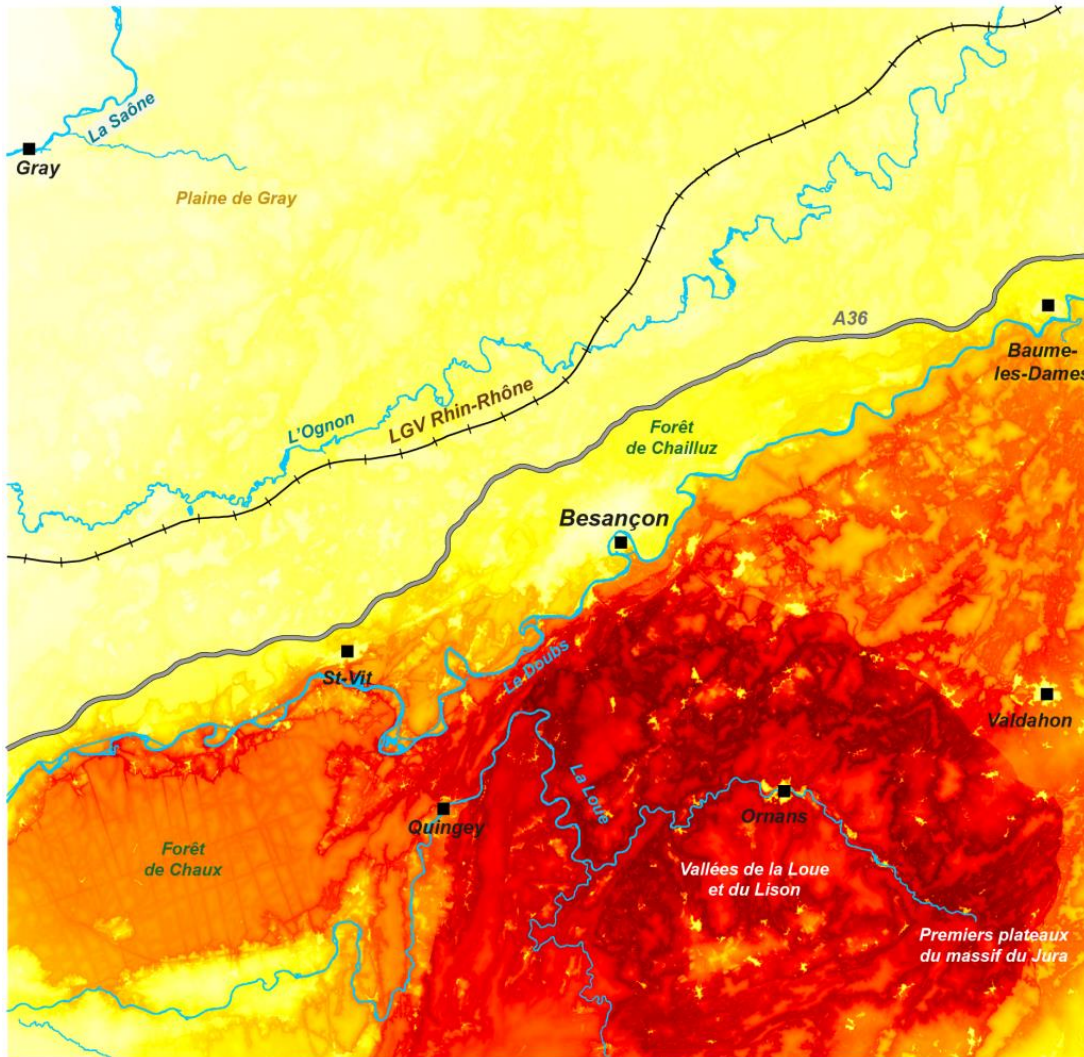


Variation de connectivité écologique pour les taches d'habitat du groupe Pipit farlouse



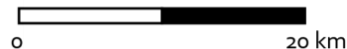
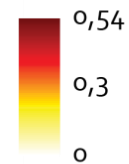
Identification de réservoirs de biodiversité ?

Résultats / Discussion



- Combinaison des 16 groupes d'espèces en une seule carte (normalisation des métriques)
- Carte fondée sur la probabilité d'une relation entre la connectivité locale et la présence des espèces

Valeur de l'indice PC_{flux} à l'état initial

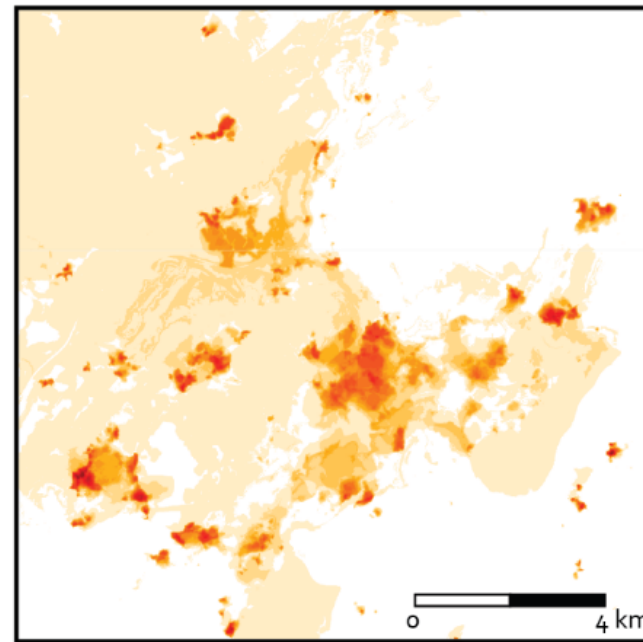
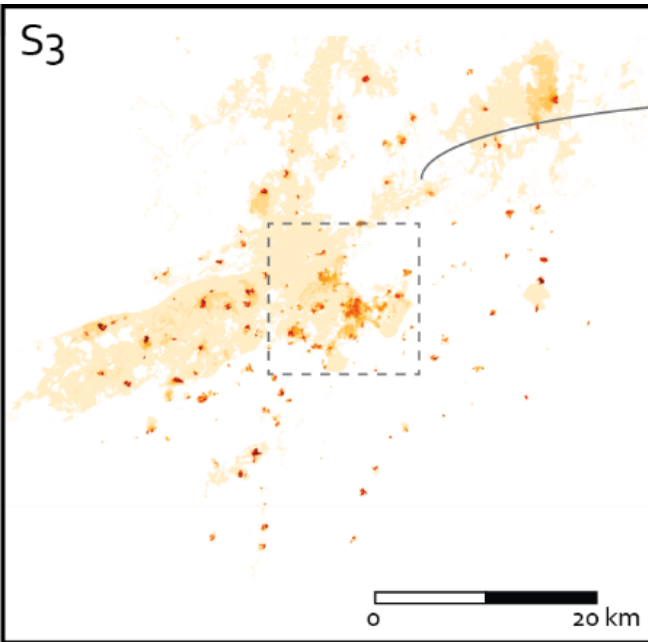


- Problème : quelle pondération attribuer à chaque groupe d'espèces ?

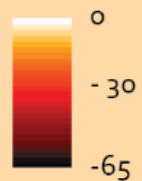
Spatialisation des impacts : exemple pour S3

Résultats / Discussion

Scénario « périurbain régulé »



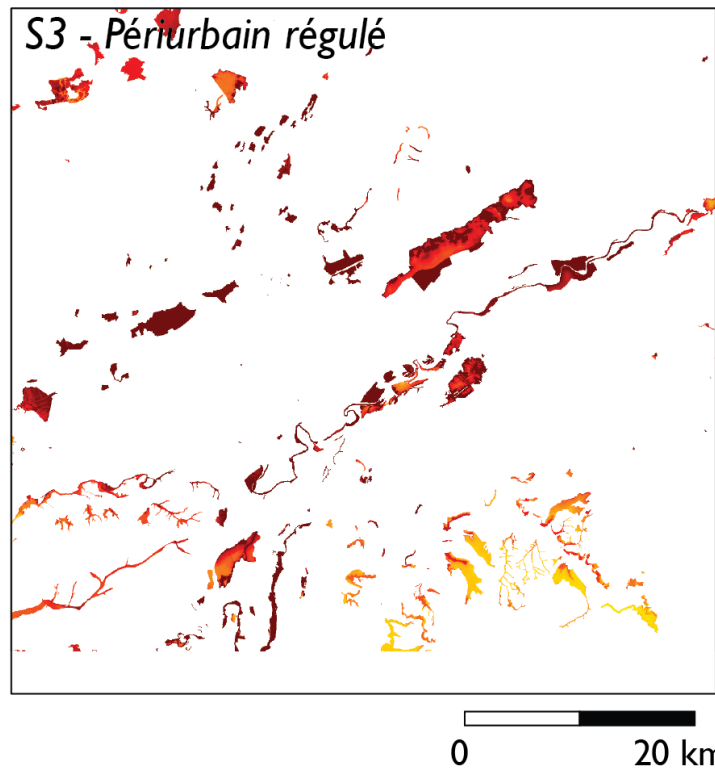
Taux de variation de l'indice PC_{flux} (en %)



- Cartographie des zones où la réduction de connectivité est la plus importante pour S3
- Impacts souvent localisés autour des zones nouvellement bâties mais pas exclusivement
- Mais difficile de savoir quelle construction cause tel ou tel impact

Impacts dans les zones protégées (ZNIEFF)

Résultats / Discussion

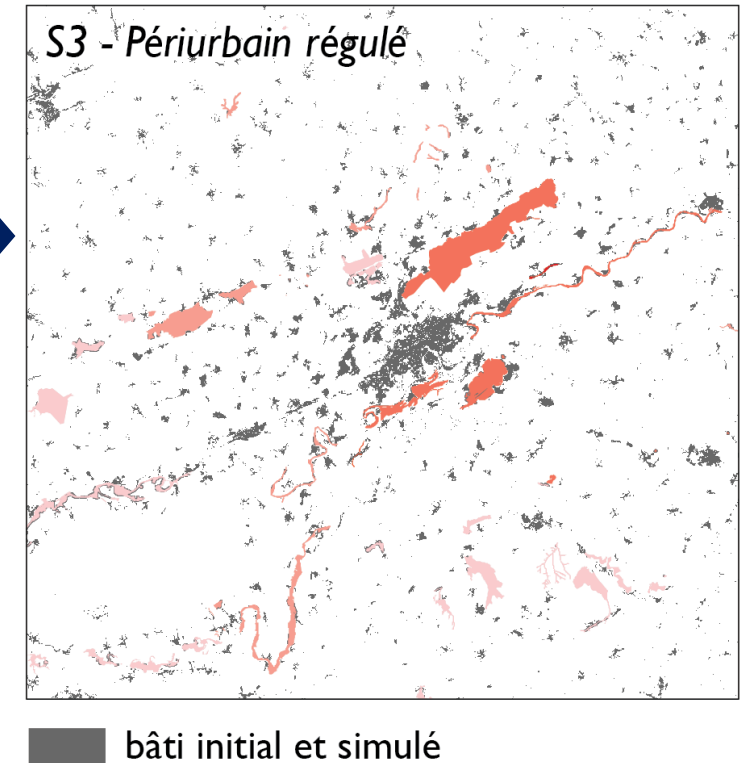


← Tous groupes d'espèces

Groupe Pipit farlouse →



Taux de variation moyen de
l'indice PC_{flux} dans les ZNIEFF de
type I (en %)



- Spatialisation : offre la possibilité de travailler sur des zonages particuliers (ZNIEFF, communes...)

Comment délimiter des zones à protéger ?

Résultats / Discussion

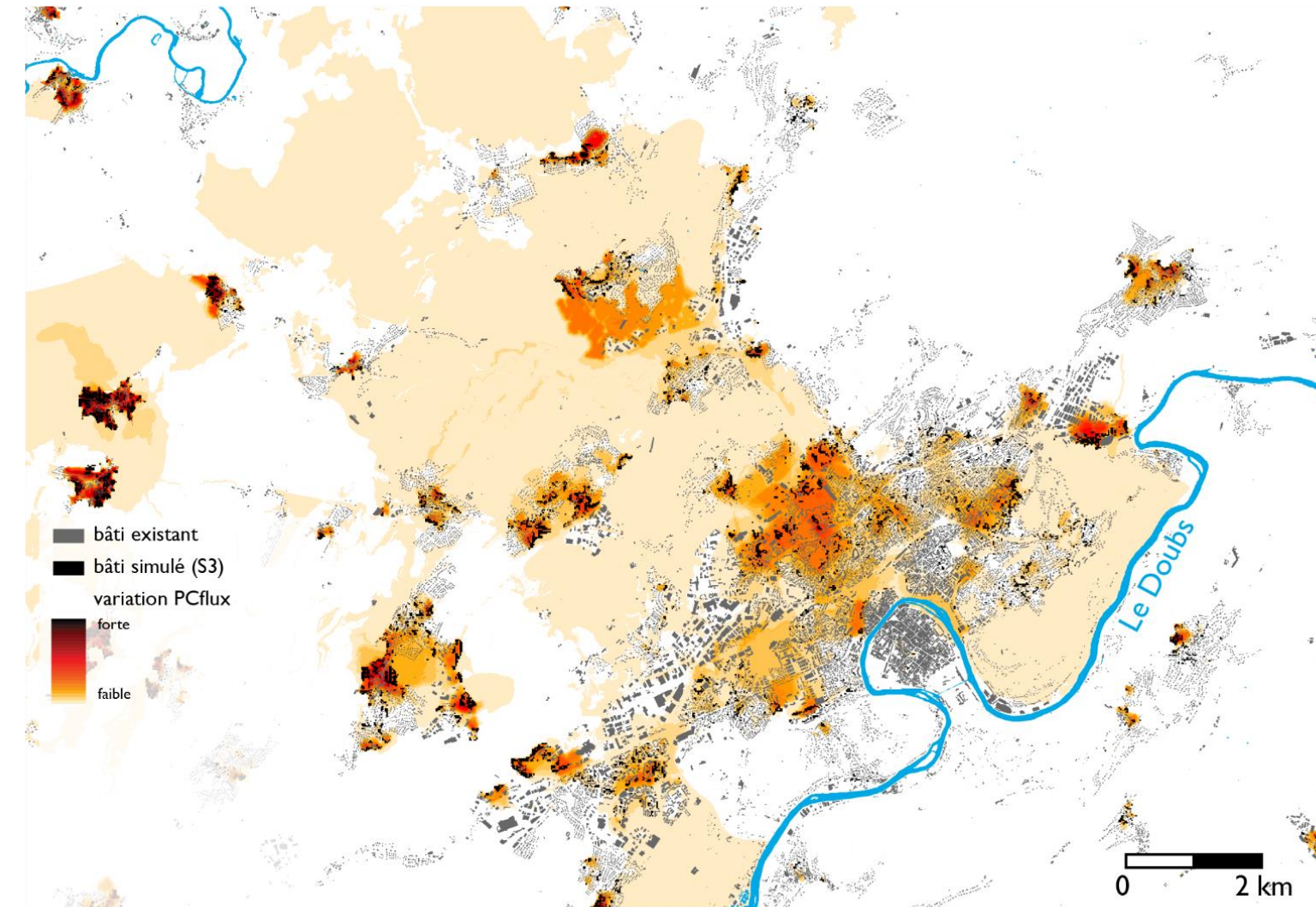


- Inversion de la démarche : utilisation des résultats pour identifier des zones potentielles à protéger
- Exemple avec le scénario S3 (périurbain régulé)

Comment délimiter des zones à protéger ?

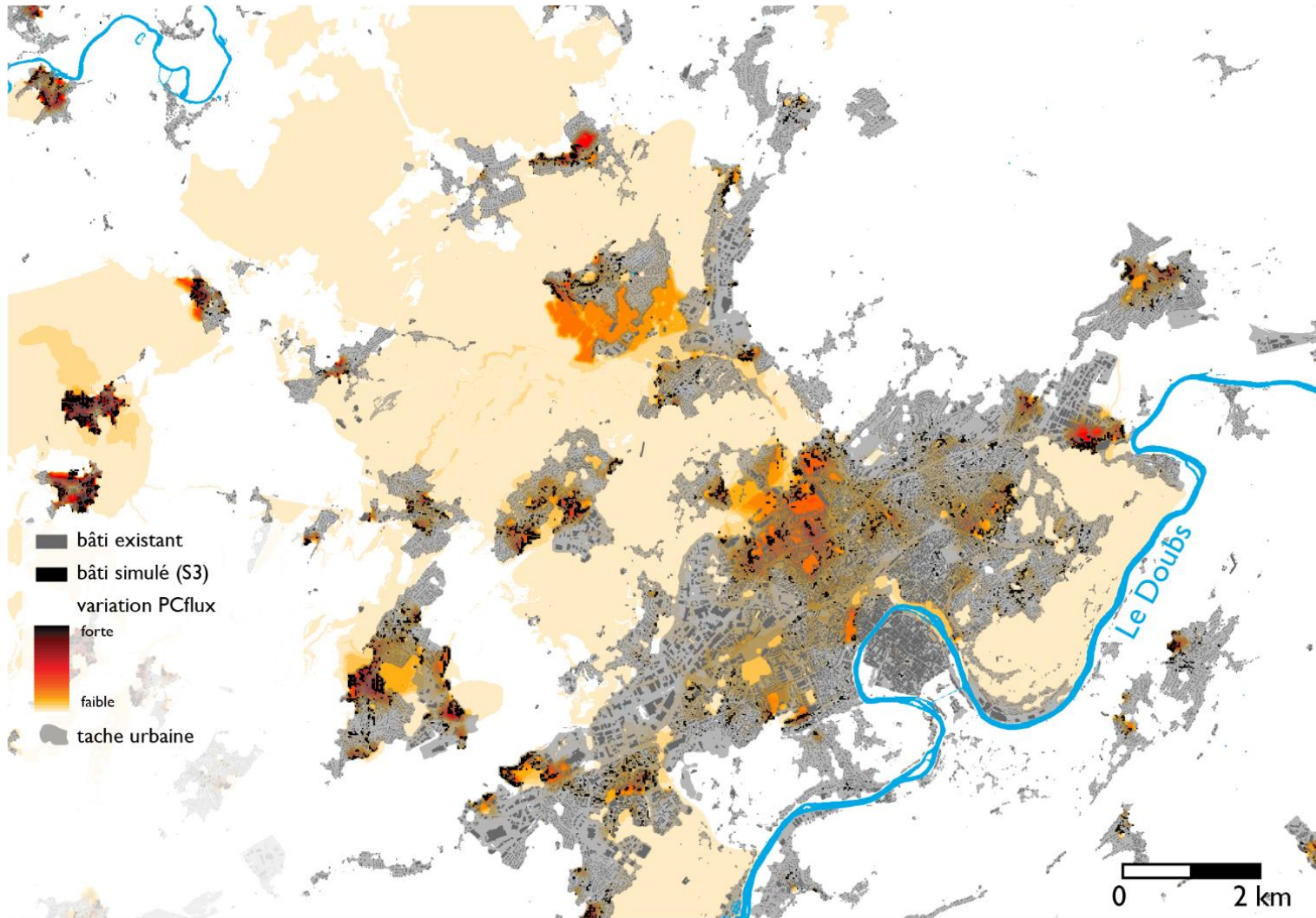
Résultats / Discussion

- Ajout de la synthèse multi-espèces des impacts



Comment délimiter des zones à protéger ?

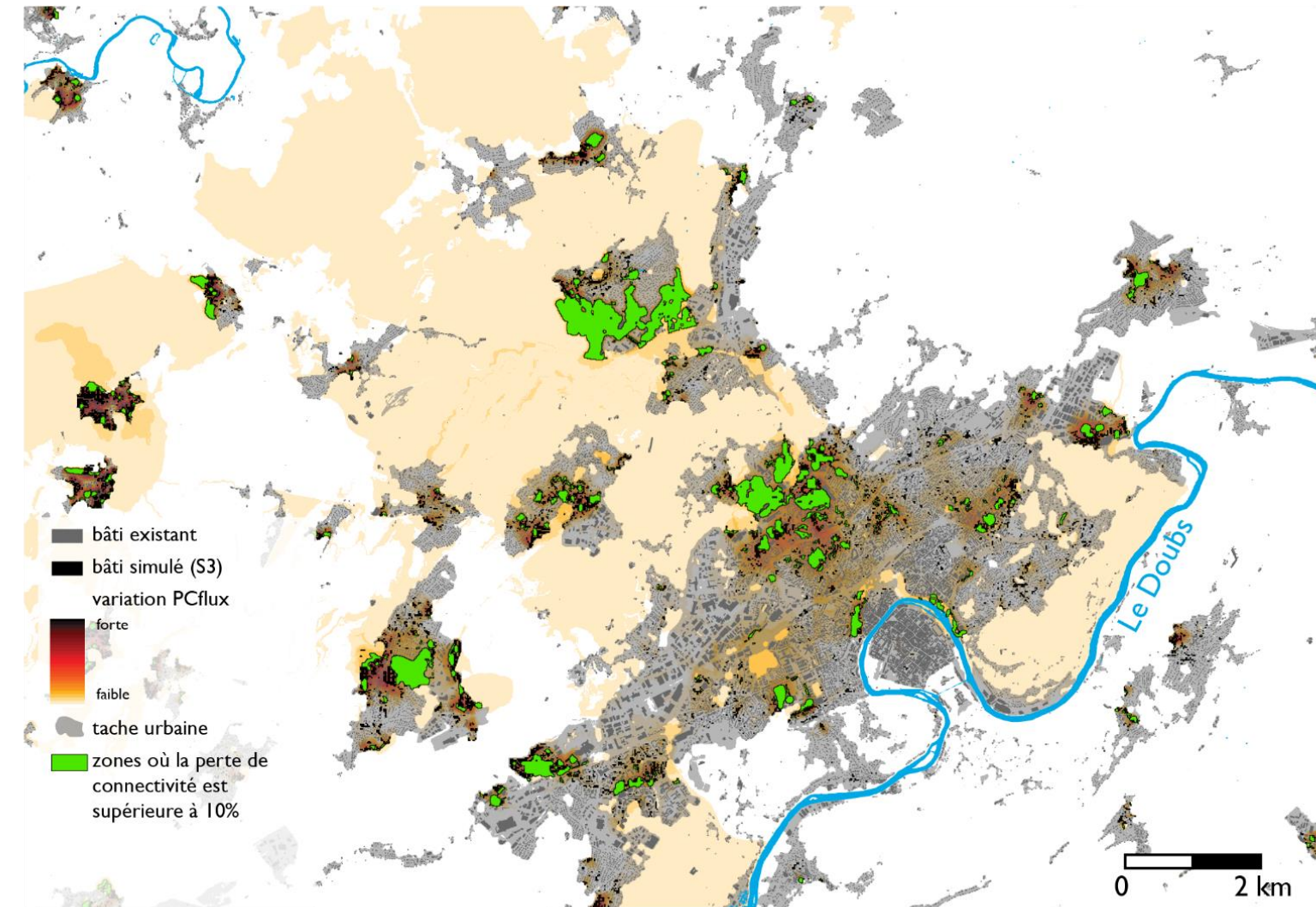
Résultats / Discussion



- Ajout de la synthèse multi-espèces des impacts
- Ajout des taches urbaines

Comment délimiter des zones à protéger ?

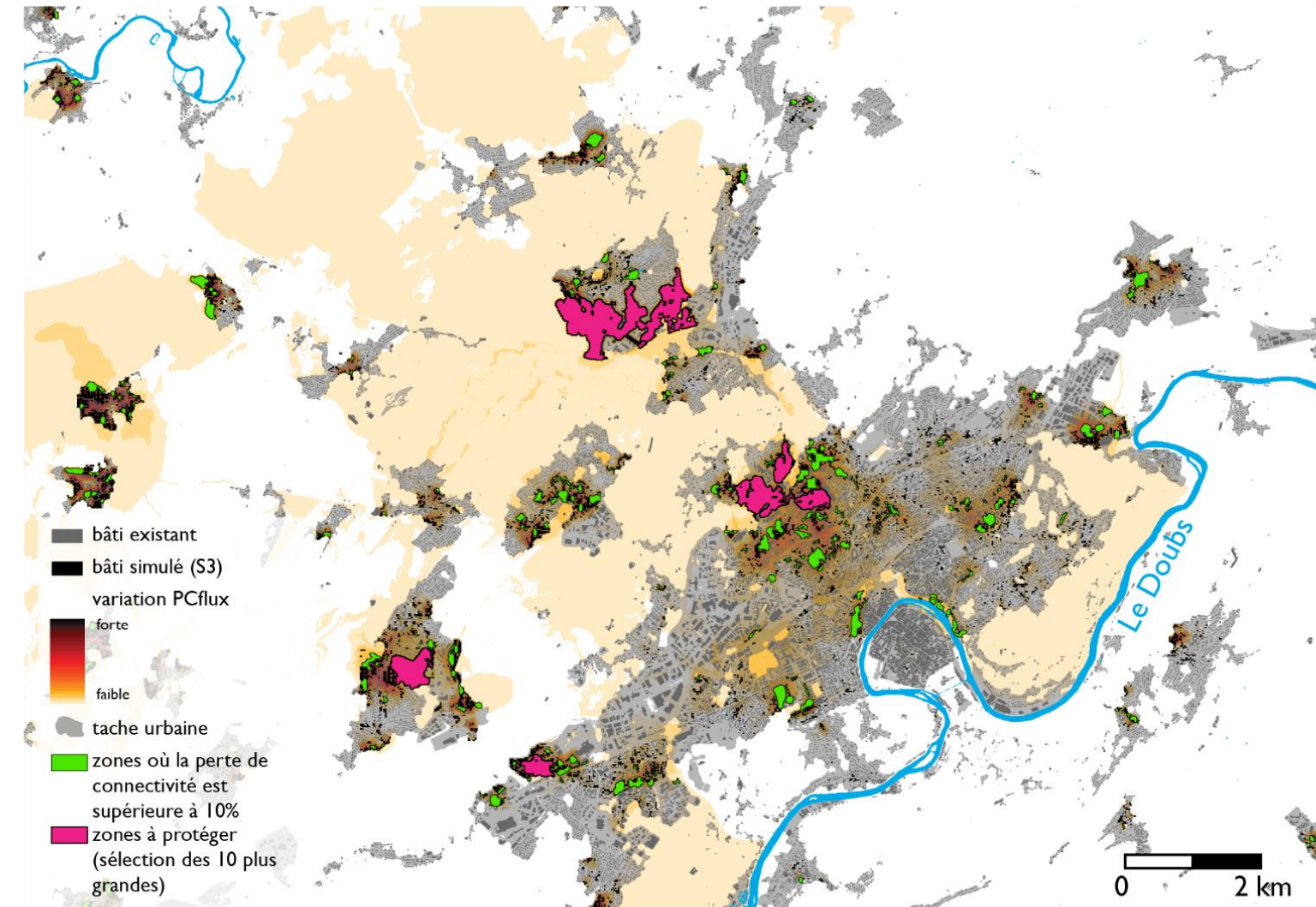
Résultats / Discussion



- Ajout de la synthèse multi-espèces des impacts
- Ajout des taches urbaines
- Sélection des zones où la perte de connectivité est supérieure à 10%

Comment délimiter des zones à protéger ?

Résultats / Discussion



- Ajout de la synthèse multi-espèces des impacts
- Ajout des taches urbaines
- Sélection des zones où la perte de connectivité est supérieure à 10%
- Sélection des dix zones les plus grandes : zones à protéger ?



- Spatialisation des métriques de connectivité : des applications potentielles pour l'aménagement
- Mais des résultats difficiles à interpréter
 - Exemple : les zones à forte connectivité doivent-elles être préservées en priorité ou non ?
- Spatialisation des impacts : des cartographies intéressantes, mais difficile d'agir directement en fonction des résultats
- Piste possible : mise en place de zonages de conservation, par anticipation
- Valider l'intérêt de ces zones par des données de présence ?