

Calibration de modèles de connectivités spatiales des populations et des communautés.

Romain Lorrillière | lorrilliere@mnhn.fr

MNHN CesCo

Chaire MMB 2 juin 2015

Introduction



- La perte des habitats est reconnue comme source majeure de perte de biodiversité

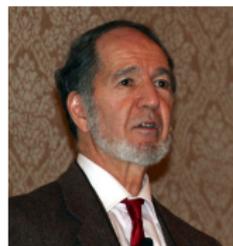
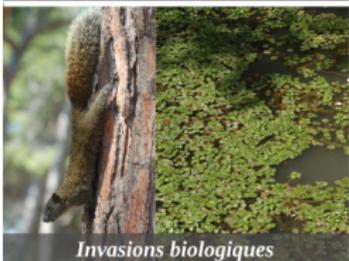
Introduction



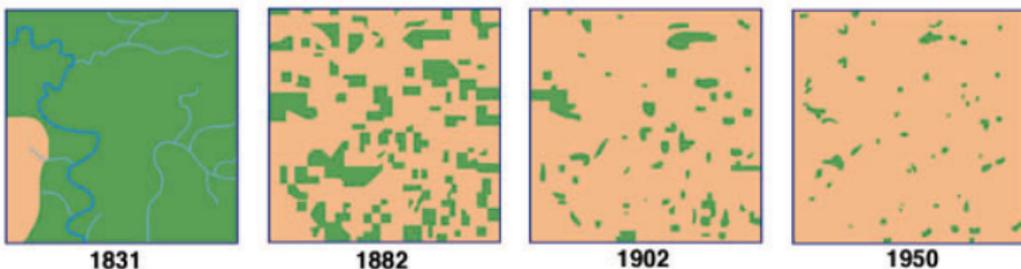
- La perte des habitats est reconnue comme source majeure de perte de biodiversité
- Ex: Urbanisation galopante autour du célèbre village d'irréductibles gaulois (Gosciny et Uderzo, 1971)

Typologies des menaces

J. Diamond (1989) : *Evil quartet*



Destruction des habitats et fragmentation



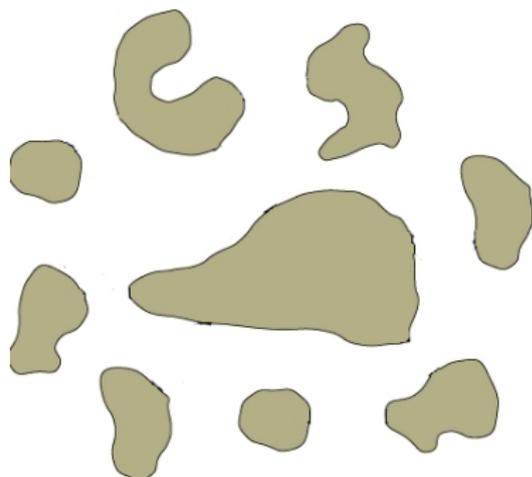
Emprise forestière dans le Winsconsin

- Destruction des habitats → fragmentation
- ⇔ Fonctionnement en méta-populations et méta-communautés

Métapopulation

Modèle général

$$\frac{dN}{dt} = B(\text{naissance}) - D(\text{mort})$$

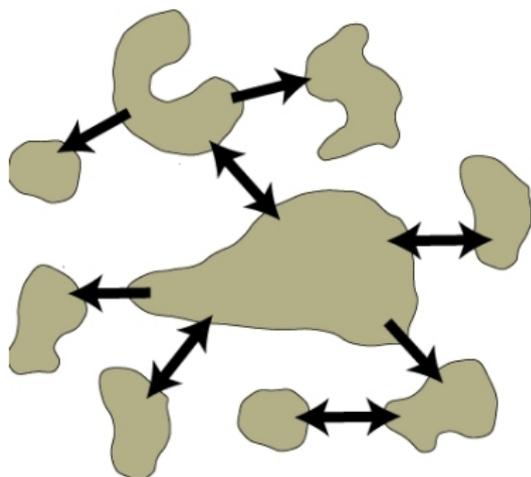


- Dynamiques locales fonction de variables locales

Métapopulation

Modèle général

$$\frac{dN}{dt} = B(\text{naissance}) - D(\text{mort}) + I(\text{immigration}) - E(\text{émigration})$$

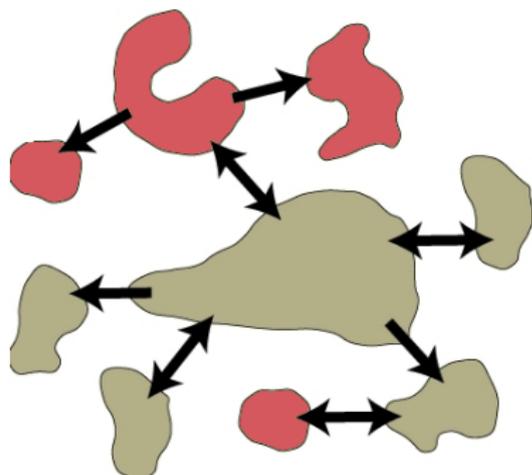


- Dynamiques locales fonction de variables locales
- Dispersion fonction de la connectivité

Métapopulation

Modèle général

$$\frac{dN}{dt} = B(\text{naissance}) - D(\text{mort}) + I(\text{immigration}) - E(\text{émigration})$$

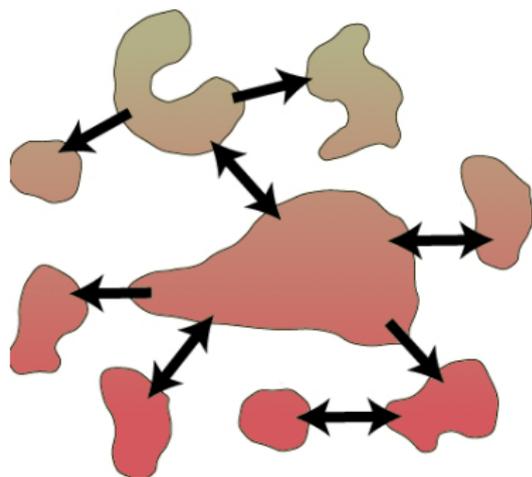


- Dynamiques locales fonction de variables locales
- Dispersion fonction de la connectivité

Métapopulation

Modèle général

$$\frac{dN}{dt} = B(\text{naissance}) - D(\text{mort}) + I(\text{immigration}) - E(\text{émigration})$$



- Dynamiques locales fonction de variables locales
- Dispersion fonction de la connectivité

La connectivité

Définition

Capacité d'un paysage, à faciliter ou à limiter le déplacement des organismes entre deux patchs d'habitats à travers la matrice paysagère (Taylor, 1993, Merriam 1984).

La connectivité

Définition

Capacité d'un paysage, à faciliter ou à limiter le déplacement des organismes entre deux patchs d'habitats à travers la matrice paysagère (Taylor, 1993, Merriam 1984).

Les mesures

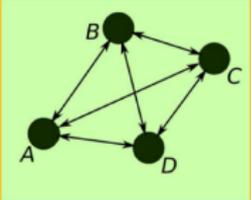
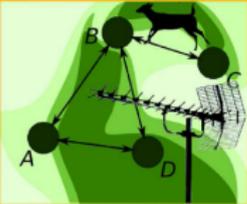
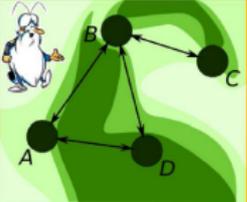
Définition très vague → Pas de consensus sur les méthodes de mesure.

Les mesures de connectivités du paysage

Pas de consensus

Classement des mesures en fonction des données utilisées

Calabrese et al. 2004, ; Minor et al. 2009

<p>Connectivité structurelle</p> 	<p>Connectivité réalisée</p> 
<p>Connectivité potentielle</p> 	<p>Importance de la perméabilité <i>Prugh et al. 2008 ; Watling et al. 2011</i> Dans les paysages fragmentés</p>

Les mesures de connectivités du paysage

Pas de consensus

Classement des mesures en fonction des données utilisées

Calabrese et al.2004, ; Minor et al. 2009

Type	Valeur de la maille	Pondération 1	Pondération 2
Bois ou forêt	1	5	2
Coupe forestière	2	25	5
Espace vacant Milieu interstitiel	3	25	5
Prairie	4	25	5
Route autre	5	60	8
MOS autre	6	80	9
Champs cultivé	7	80	9
Etang	8	80	9
Route départementale	9	80	9
Bâtiment	10	10000	100
Réseau hydrographique	11	10000	100
Zone d'activité	12	10000	100

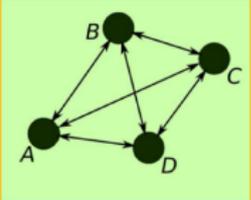
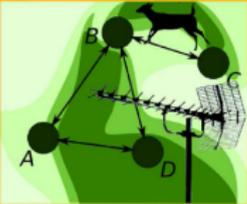
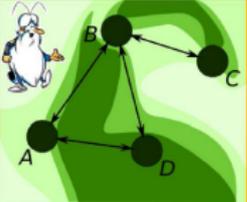
Fig.7 Matrice de pondération A. Thulie [18]

Les mesures de connectivités du paysage

Pas de consensus

Classement des mesures en fonction des données utilisées

Calabrese et al. 2004, ; Minor et al. 2009

<p>Connectivité structurelle</p> 	<p>Connectivité réalisée</p> 
<p>Connectivité potentielle</p> 	<p>Importance de la perméabilité <i>Prugh et al. 2008 ; Watling et al. 2011</i> Dans les paysages fragmentés</p>

Les mesures de connectivités du paysage

Pas de consensus

Classement des mesures en fonction des données utilisées

Calabrese et al. 2004, ; Minor et al. 2009



Les mesures de connectivités du paysage

Pas de consensus

Classement des mesures en fonction des données utilisées

Calabrese et al.2004, ; Minor et al. 2009



Connectivités estimées à partir de données très parcellaires

La connectivité est un processus

Pouvons-nous calibrer un modèle de connectivité à partir de son effet sur la biodiversité ?



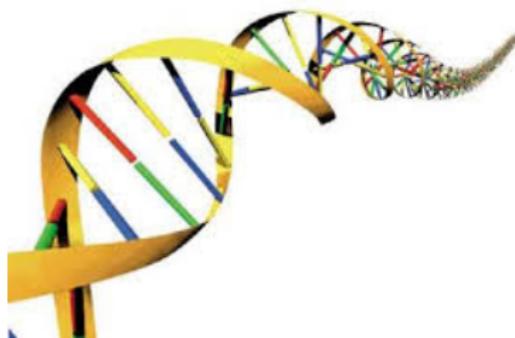
Connectivités estimées à partir de données très parcellaires

La connectivité est un processus

Pouvons-nous calibrer un modèle de connectivité à partir de son effet sur la biodiversité ?



OUI: Génétique des populations et des paysages



Observatoire de biodiversité

VIGIENATURE

Un réseau de citoyens qui fait avancer la science

Observatoire de biodiversité

VIGIENATURE

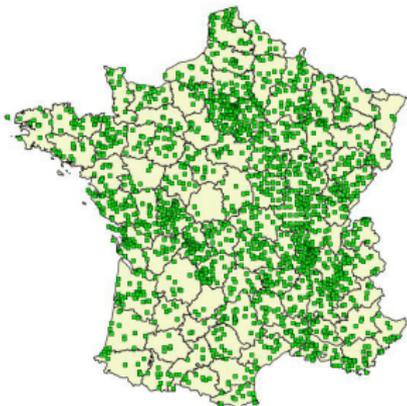
Un réseau de citoyens qui fait avancer la science

- inventaires standardisés
- plusieurs espèces
- abondance
- dynamiques temporelles

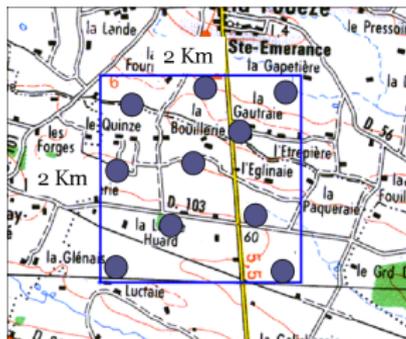
Protocole STOC (Breeding Bird Survey)

STOC: **S**uivi **T**emporel des **O**iseaux **C**ommuns

2300 carrés suivis au moins une fois
entre 2001 et 2013



- Sites choisis aléatoirement
- 10 pts d'écoute de 5min par site
- 2 passages par an
- Description standardisée de l'hab.



175 espèces suivies

Protocole STOC: Alouette des champs (*Alauda arvensis*)



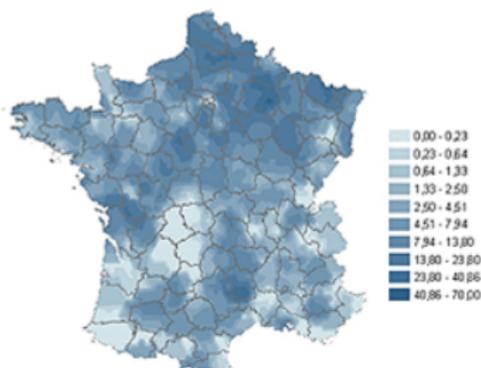
- Tendence :
 - -22% depuis 1989, déclin
 - -10% depuis 2001, diminution
- Distribution géographique par espèce



Protocole STOC: Alouette des champs (*Alauda arvensis*)



- Tendence :
 - -22% depuis 1989, déclin
 - -10% depuis 2001, diminution
- Distribution géographique par espèce



Objectifs et hypothèses

- Capacité de déplacement des aires et de réponse au dégradation des habitats

Objectifs et hypothèses

- Capacité de déplacement des aires et de réponse au dégradation des habitats
- Connectivité globale à large échelle (échelle nationale)

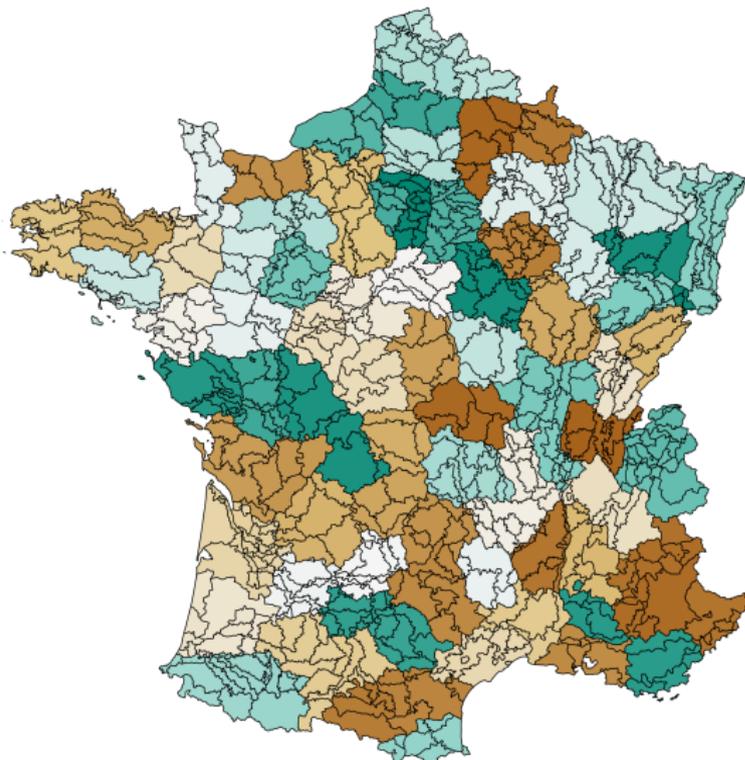
Objectifs et hypothèses

- Capacité de déplacement des aires et de réponse au dégradation des habitats
- Connectivité globale à large échelle (échelle nationale)
 - proxy : taux d'échange d'individus (taux de dispersion) entre population

Objectifs et hypothèses

- Capacité de déplacement des aires et de réponse au dégradation des habitats
- Connectivité globale à large échelle (échelle nationale)
 - proxy : taux d'échange d'individus (taux de dispersion) entre population
- Proposition d'un modèle mécaniste pour l'estimer

Petites Région Agricoles



713 Petites Régions Agricoles
(PRA)

- formes variables
- tailles variables

Modèle mécaniste de métapopulation

$$N_{i,j}(t + 1) = N_{i,j}(t) + r_i N_{i,j}(t) \left(1 - \frac{N_{i,j}(t)}{K_{i,j}(t)} \right) \quad (1)$$

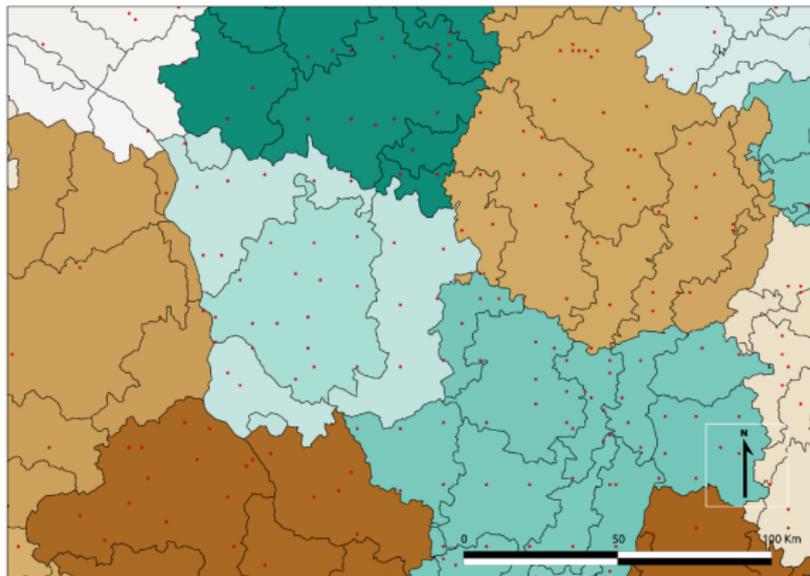
- r_i taux de croissance intrinsèque
- $K_{i,j}(t)$ capacité de charge

Modèle mécaniste de métapopulation

$$N_{i,j}(t+1) = N_{i,j}(t) + r_i N_{i,j}(t) \left(1 - \frac{N_{i,j}(t)}{K_{i,j}(t)}\right) + \tau_i \left(N_{ij}(t) - \sum_{j' \text{ close to } j} N_{ij'}(t) \right) \quad (1)$$

- r_i taux de croissance intrinsèque
- $K_{i,j}(t)$ capacité de charge
- τ_i taux de dispersion

Abundance N



37 espèces

Abundance N



Skylark

Alauda arvensis



Linnet

Carduelis cannabina



Stonechat

Saxicola rubicola



Girl bunting

Emberiza cirius



Kestrel

Falco tinnunculus

Grey partridge

Perdix perdix



Rook

Corvus frugilegus



Hoopoe

Upupa epopus

Lapwing

Vanullus coronatus



37 espèces

- 23 espèces agricoles

Abundance N



Black bird
Turdus merula



Blue tit
Cyanistes caeruleus



Cuckoo
Cuculus canorus

Melodious warbler
Hippolais polyglotta

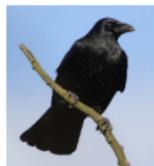


Golden oriole
Oriolus oriolus



Wood pigeon
Columba palumbus

Carrion crow
Corvus corone



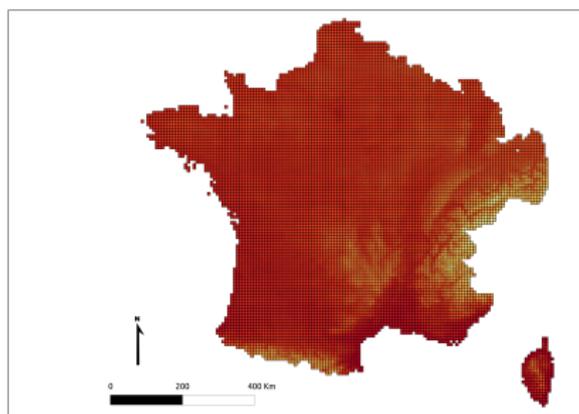
37 espèces

- 23 espèces agricoles
- 14 espèces généralistes

K : capacité de charge

$$K_{i,j}(t)^{-1} = \sum_{h,l} a_{ihl} A_{jh}(t) C_{jl}(t), \quad (2)$$

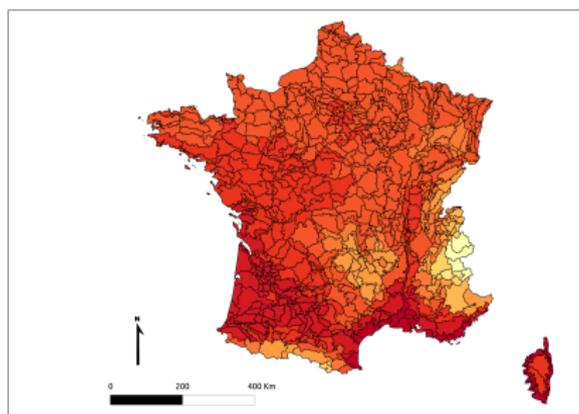
13 variables temp, precip,



K : capacité de charge

$$K_{i,j}(t)^{-1} = \sum_{h,l} a_{ihl} A_{jh}(t) C_{jl}(t), \quad (2)$$

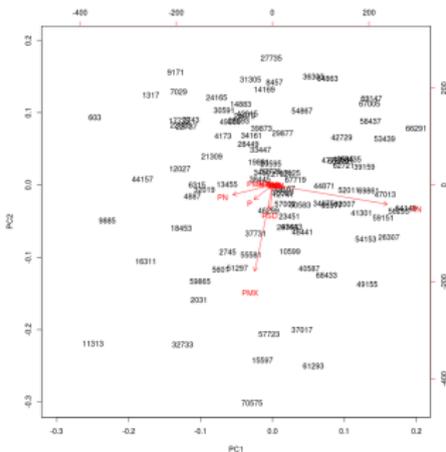
13 variables temp, precip,



K : capacité de charge

$$K_{i,j}(t)^{-1} = \sum_{h,l} a_{ihl} A_{jh}(t) C_{jl}(t), \quad (2)$$

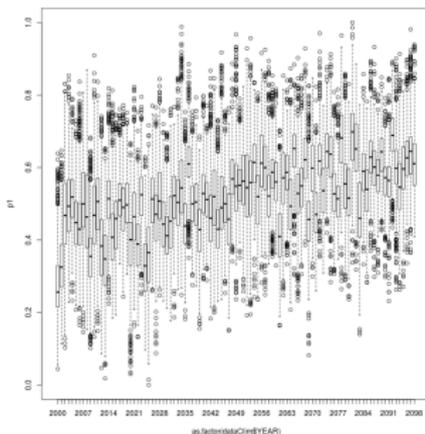
13 variables temp, precip,



K : capacité de charge

$$K_{i,j}(t)^{-1} = \sum_{h,l} a_{ihl} A_{jh}(t) C_{jl}(t), \quad (2)$$

13 variables temp, precip,



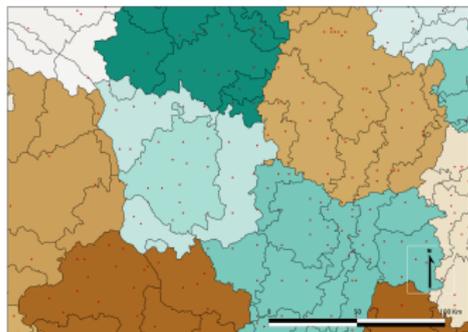
K : capacité de charge

$$K_{i,j}(t)^{-1} = \sum_{h,l} a_{ihl} A_{jh}(t) C_{jl}(t),$$

OTEX: orientation technico-économique \Rightarrow 7 variables de types d'occupation du sol

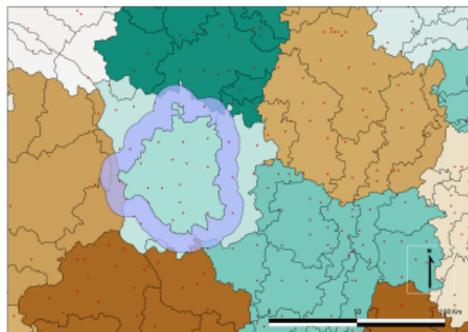
- culture
- culture industrielle
- autre culture
- culture pérenne
- élevage
- polyculture
- granivore

τ : taux de migration



$$\begin{cases} D_{ij}(t) = \tau_i N_{ij}(t) \\ I_{ij}(t) = \tau_i \sum_{j' \neq j} N_{ij'}(t) \rho_{jj'} \end{cases} \quad (3)$$

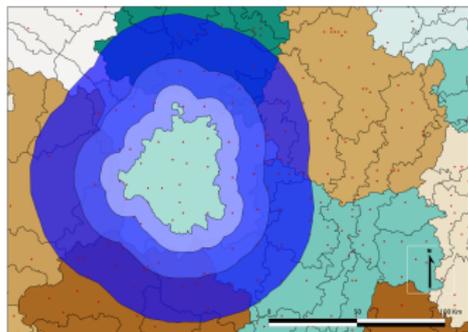
τ : taux de migration



$$\begin{cases} D_{ij}(t) = \tau_i N_{ij}(t) \\ I_{ij}(t) = \tau_i \sum_{j' \neq j} N_{ij'}(t) \rho_{jj'} \end{cases} \quad (3)$$

$$\rho_{jj'} = \frac{\text{Surface} \left(PRA_{j'} \cap (PRA_j \oplus \alpha B) \right)}{\text{Surface} (PRA_j \oplus \alpha B)} \quad (4)$$

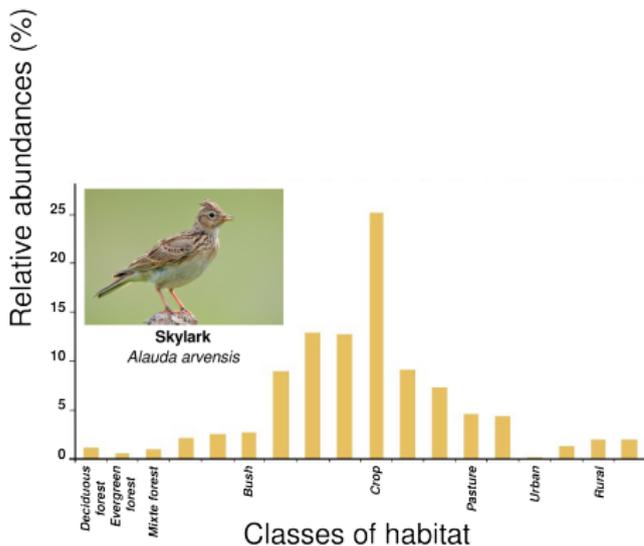
τ : taux de migration



$$\begin{cases} D_{ij}(t) = \tau_i N_{ij}(t) \\ I_{ij}(t) = \tau_i \sum_{j' \neq j} N_{ij'}(t) \rho_{jj'} \end{cases} \quad (3)$$

$$\rho_{jj'} = \frac{\text{Surface}\left(PRA_{j'} \cap (PRA_j \oplus \alpha B)\right)}{\text{Surface}\left(PRA_j \oplus \alpha B\right)} \quad (4)$$

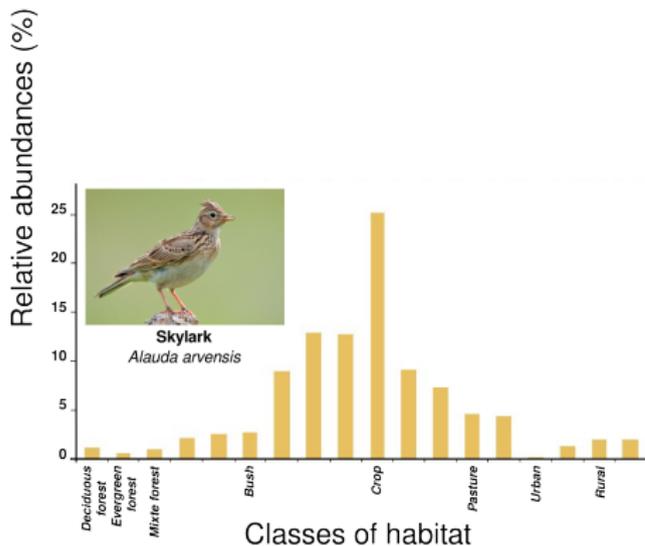
Indice de Spécialisation des espèces (SSI)



Coefficient de variation
de l'abondance parmi
les habitats

$$SSI_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^K (d_j - \bar{d})^2}{K-1}}}{\bar{d}} \quad (5)$$

Indice de Spécialisation des espèces (SSI)

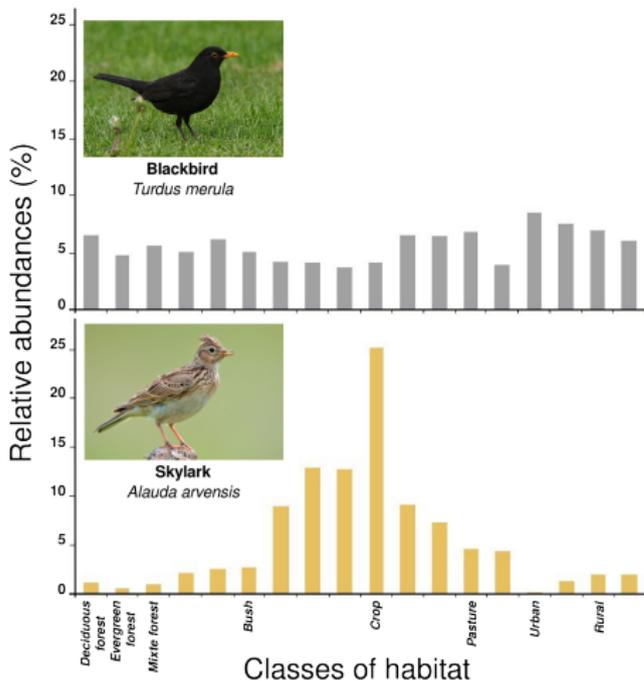


Coefficient de variation
de l'abondance parmi
les habitats

$$SSI_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^K (d_j - \bar{d})^2}{K-1}}}{\bar{d}} \quad (5)$$

- Une espèce agricole:
 $SSI_{Skylark} = 1.07$

Indice de Spécialisation des espèces (SSI)

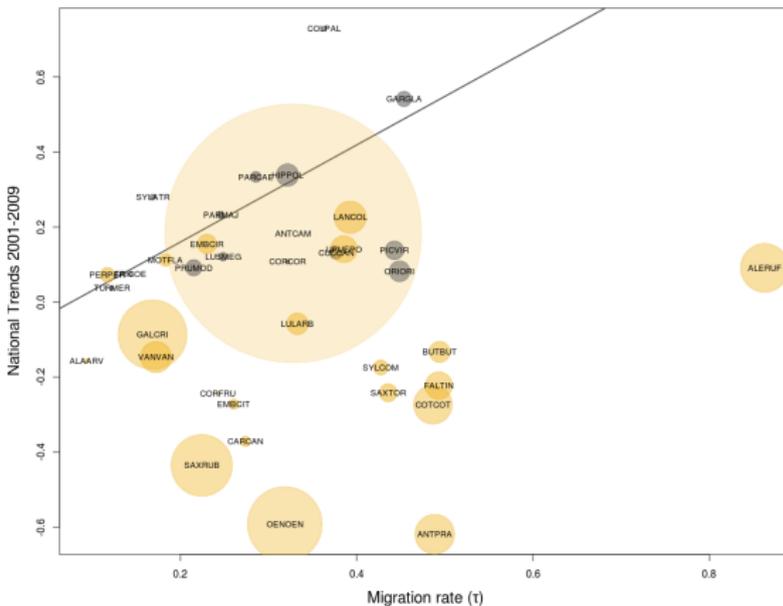


Coefficient de variation de l'abondance parmi les habitats

$$SSI_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^K (d_j - \bar{d})^2}{K-1}}}{\bar{d}} \quad (5)$$

- Une espèce agricole:
 $SSI_{Skylark} = 1.07$
- Une espèce généraliste:
 $SSI_{Blackbird} = 0.25$

National trends et τ



Gray : Generalist species | Orange : Farmland specialist species

Conclusion

- connectivité est bien effective: migration inter PRA (10 km)
important pour modéliser dans la dynamique local (30 sp / 37)

Conclusion

- connectivité est bien effective: migration inter PRA (10 km)
important pour modéliser dans la dynamique local (30 sp / 37)
- connectivité dépend des espèces

Conclusion

- connectivité est bien effective: migration inter PRA (10 km) important pour modéliser dans la dynamique local (30 sp / 37)
- connectivité dépend des espèces
- les populations souffrent globalement moins si elles ont un τ fort

Conclusion

- connectivité est bien effective: migration inter PRA (10 km) important pour modéliser dans la dynamique local (30 sp / 37)
- connectivité dépend des espèces
- les populations souffrent globalement moins si elles ont un τ fort
- sauf si elles sont très spécialistes

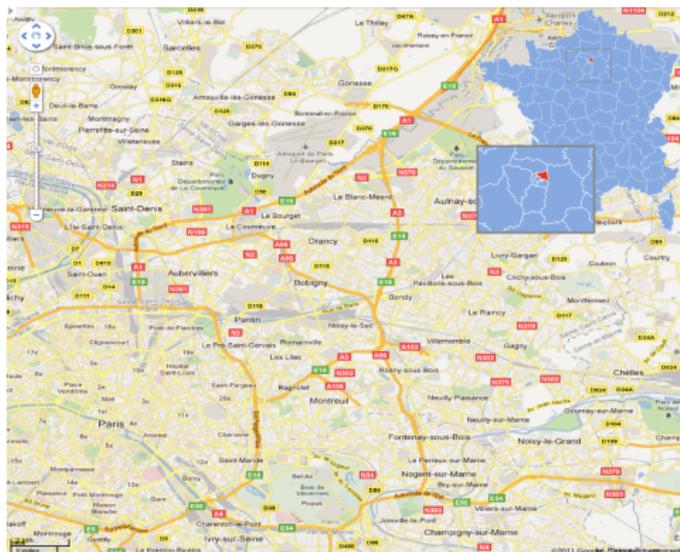
Conclusion

- connectivité est bien effective: migration inter PRA (10 km) important pour modéliser dans la dynamique local (30 sp / 37)
- connectivité dépend des espèces
- les populations souffrent globalement moins si elles ont un τ fort
- sauf si elles sont très spécialistes
- → la dépendance à un habitat très spécifique (SSI fort) limite la dispersion

Conclusion

- connectivité est bien effective: migration inter PRA (10 km) important pour modéliser dans la dynamique local (30 sp / 37)
- connectivité dépend des espèces
- les populations souffrent globalement moins si elles ont un τ fort
- sauf si elles sont très spécialistes
- → la dépendance à un habitat très spécifique (SSI fort) limite la dispersion
- connectivité maximale pour une spécialisation moyenne à l'habitat

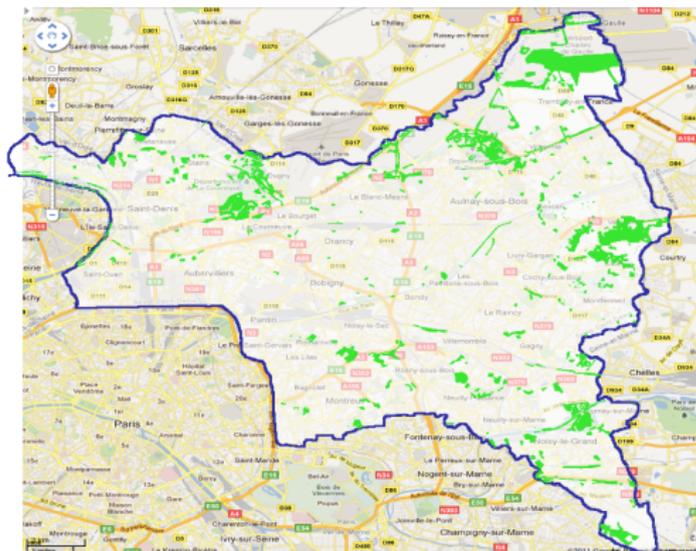
Étude à l'échelle du paysage



- Seine Saint Denis
- CBNBP
*Conservatoire Botanique National
du Bassin Parisien*

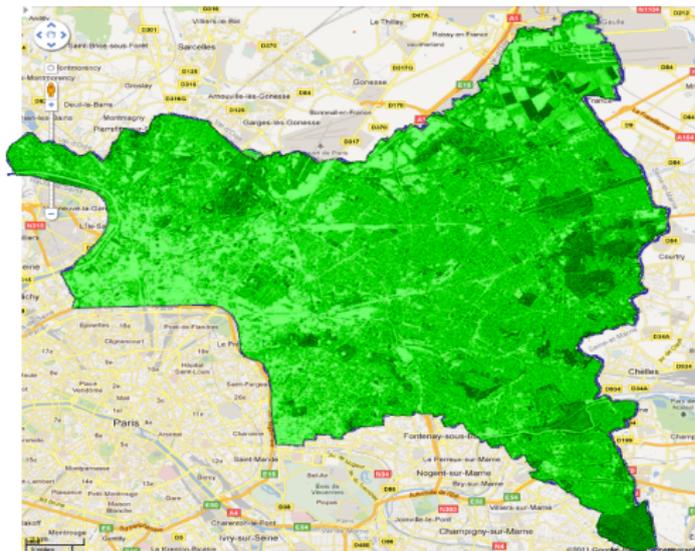


Données de connectivité *a priori*



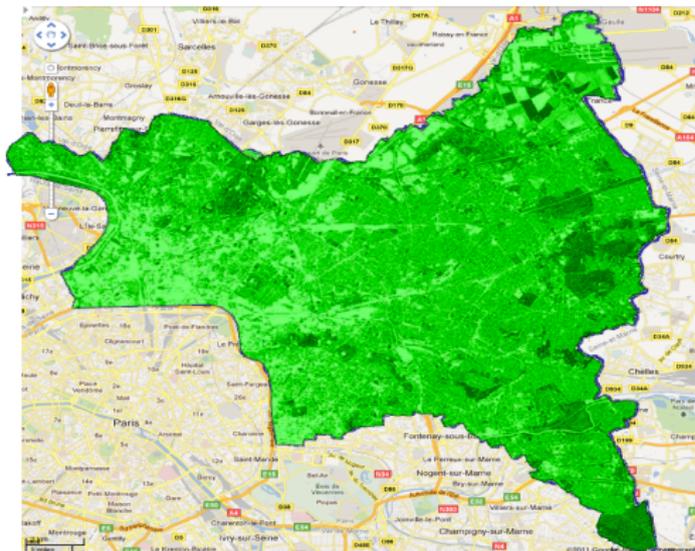
- Cartographie des habitats: 446 milieux naturels ouverts
 - connectivité "distance"

Données de connectivité *a priori*



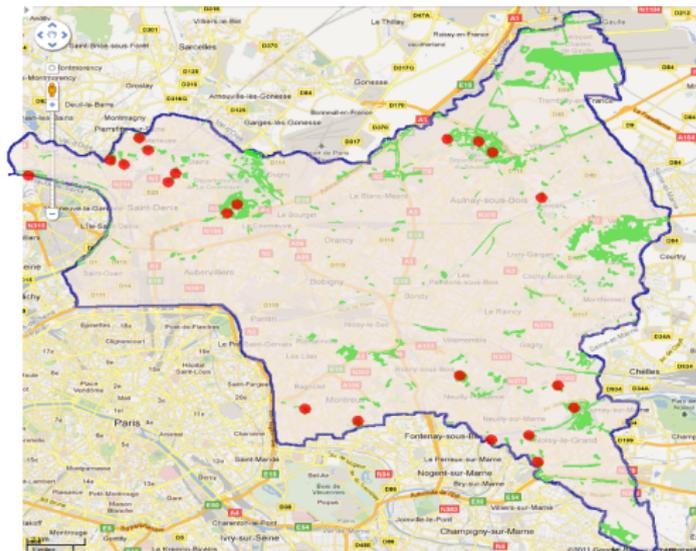
- Cartographie des habitats: 446 milieux naturels ouverts
 - connectivité "distance"
- Matrice de vert
 - connectivité "chemin de moindre coût"

Données de connectivité *a priori*



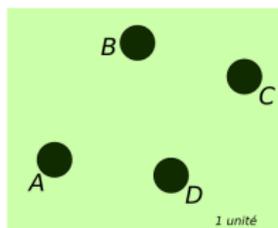
- Cartographie des habitats: 446 milieux naturels ouverts
 - connectivité "distance"
- Matrice de vert
 - connectivité "chemin de moindre coût"
- HYPOTHÈSE: indice quantitatif standardisé corrélé à la perméabilité

Données de connectivité *a posteriori*



- Inventaire floristique standardisé dans 21/446 patches
 - distance taxonomique (Indice de Bray-Curtis)

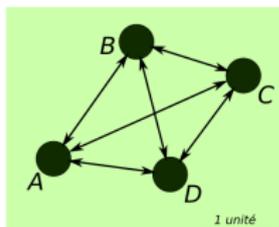
Les mesures de connectivités utilisées



- 2 connectivités *a priori*

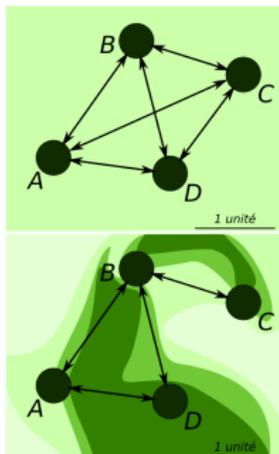
- 1 connectivité *a posteriori*

Les mesures de connectivités utilisées



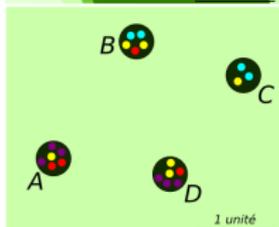
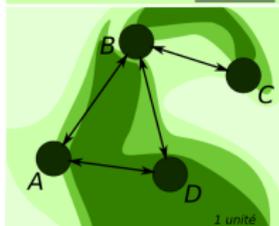
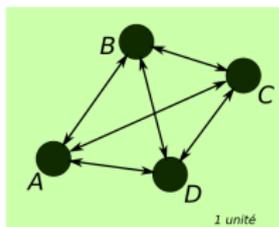
- 2 connectivités *a priori*
 - **Connectivité "Distance"**
définie par l'organisation spatiale des patches.
- 1 connectivité *a posteriori*

Les mesures de connectivités utilisées



- 2 connectivités *a priori*
 - **Connectivité "Distance"**
définie par l'organisation spatiale des patches.
 - **Connectivité "Chemin de moindre coût"**
prise en compte de la perméabilité du paysage.
- 1 connectivité *a posteriori*

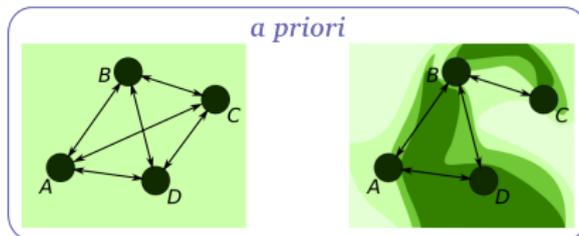
Les mesures de connectivités utilisées



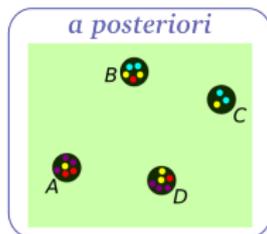
- 2 connectivités *a priori*
 - **Connectivité "Distance"**
définie par l'organisation spatiale des patches.
 - **Connectivité "Chemin de moindre coût"**
prise en compte de la perméabilité du paysage.
- 1 connectivité *a posteriori*
 - **Connectivité réalisée**
résultat de la connectivité:
distance génétique, distance taxonomique.

Principe du modèle

Caractériser l'effet de l'hétérogénéité de la perméabilité sur la structuration des méta-communautés

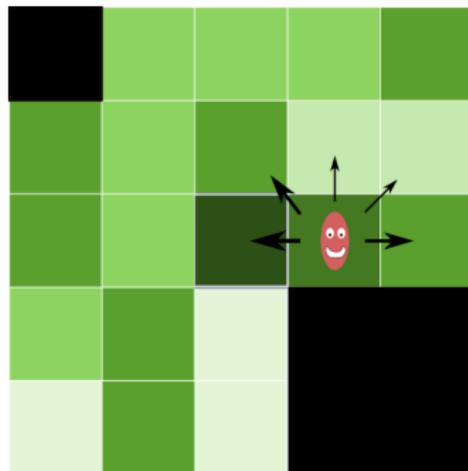


VALIDATION



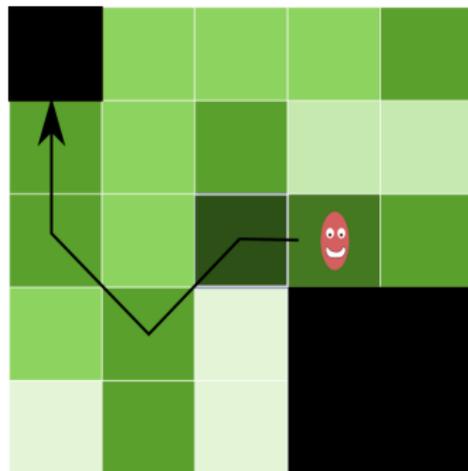
Un modèle individus centrés

- Tenir compte de la perméabilité
 - information géographique très fine
 $15m \times 15m$
 - le nombre de chemins possibles infini



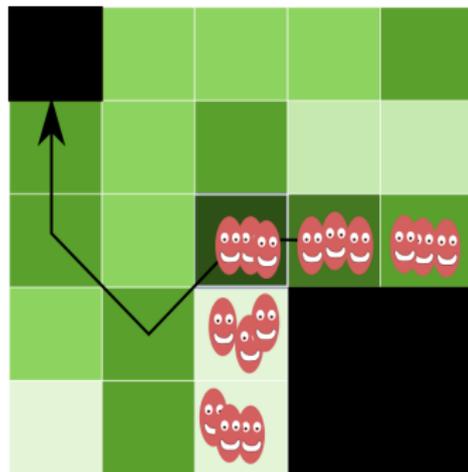
Un modèle individus centrés

- Tenir compte de la perméabilité
 - information géographique très fine
 $15m \times 15m$
 - le nombre de chemins possibles infini
- Modèle de dispersion de graines
 - individus centrés
 - probabiliste
 - chemins de moindre coût



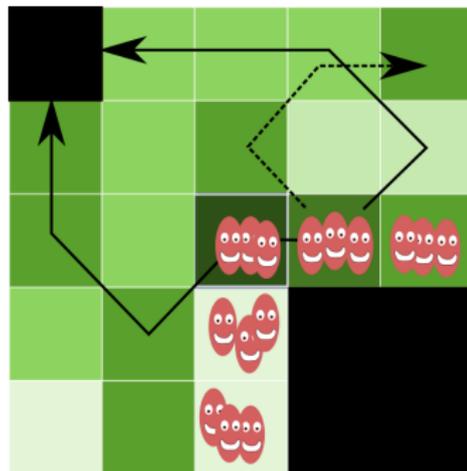
Un modèle individus centrés

- Tenir compte de la perméabilité
 - information géographique très fine
 $15m \times 15m$
 - le nombre de chemins possibles infini
- Modèle de dispersion de graines
 - individus centrés
 - probabiliste
 - chemins de moindre coût
- A chaque pas
 - voisin classé par indice de vert croissant
 - tirage dans loi de poisson tronqué $[1,8]$
 - déplacement



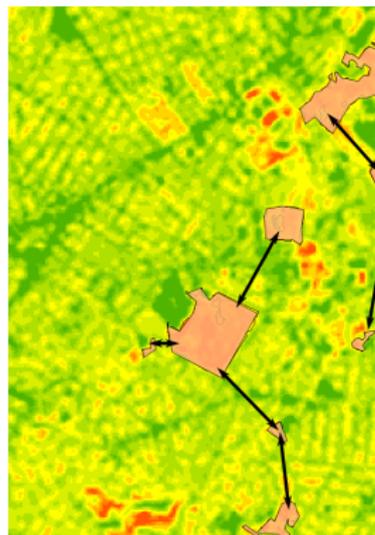
Un modèle individus centrés

- Tenir compte de la perméabilité
 - information géographique très fine
 $15m \times 15m$
 - le nombre de chemins possibles infini
- Modèle de dispersion de graines
 - individus centrés
 - probabiliste
 - chemins de moindre coût
- A chaque pas
 - voisin classé par indice de vert croissant
 - tirage dans loi de poisson tronqué $[1,8]$
 - déplacement

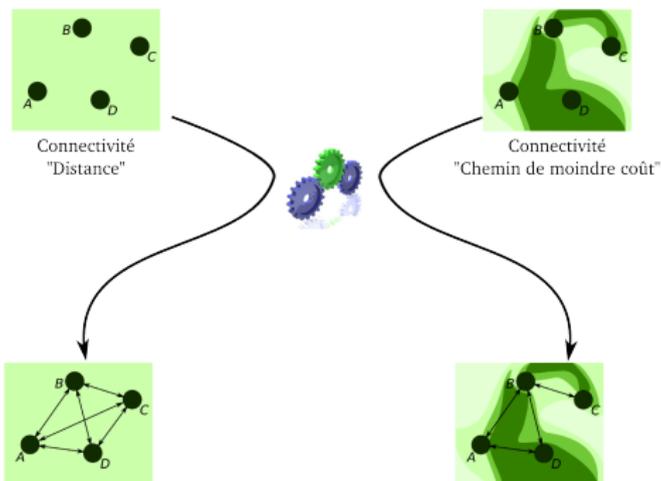


Un modèle individus centrés

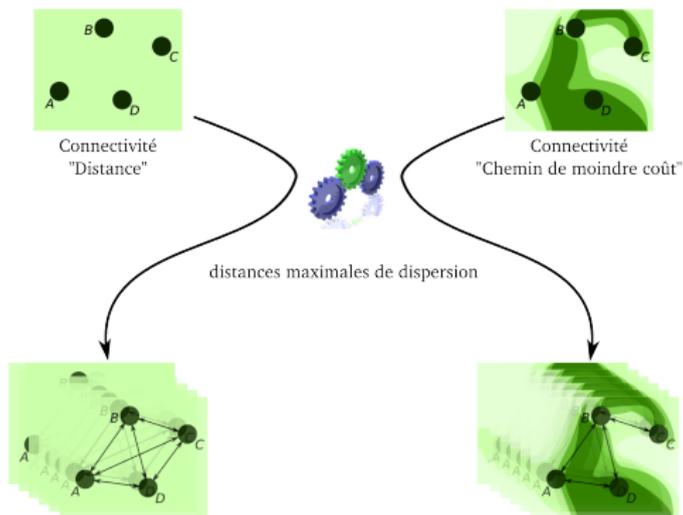
- Tenir compte de la perméabilité
 - information géographique très fine
 $15m \times 15m$
 - le nombre de chemins possibles infini
- Modèle de dispersion de graines
 - individus centrés
 - probabiliste
 - chemins de moindre coût
- A chaque pas
 - voisin classé par indice de vert croissant
 - tirage dans loi de poisson tronqué $[1,8]$
 - déplacement



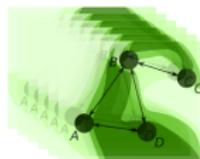
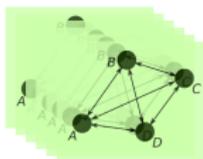
Le modèle



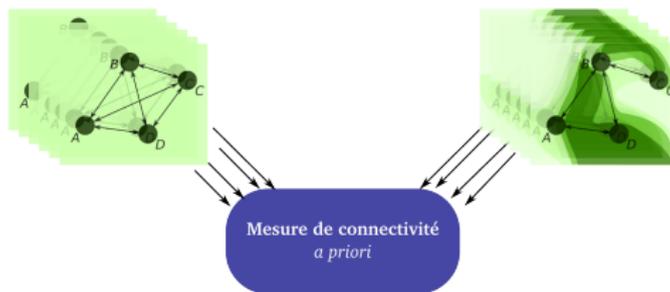
Le modèle



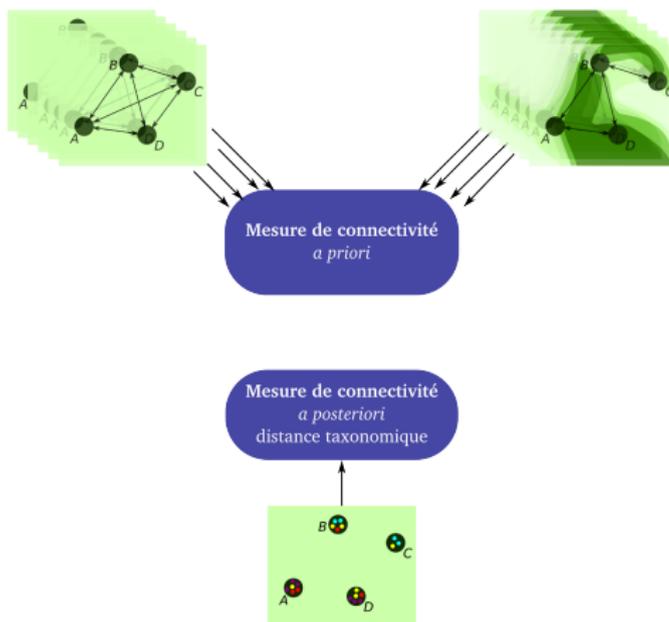
Le modèle



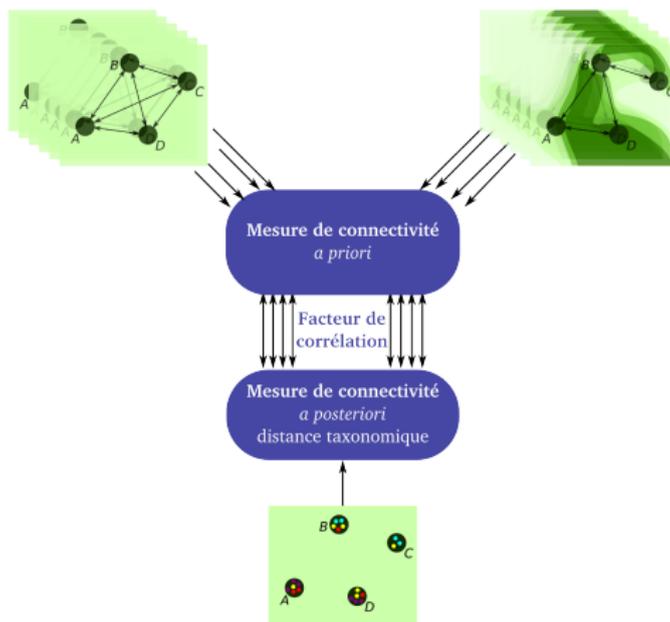
Le modèle



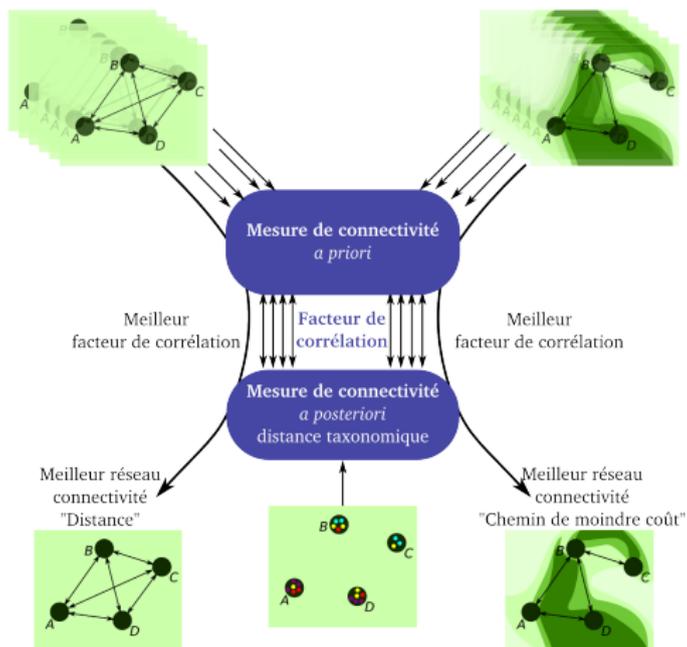
Le modèle



Le modèle

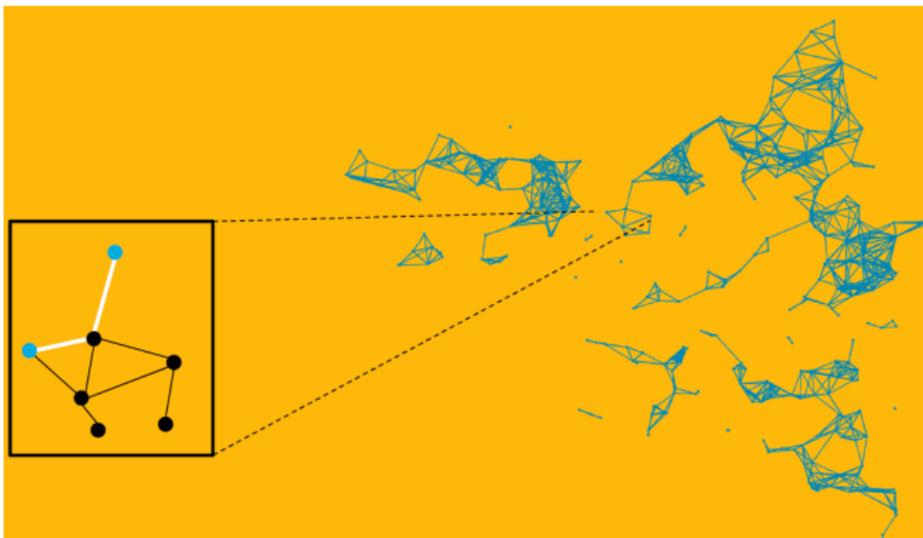


Le modèle



Mesure de la force des connections

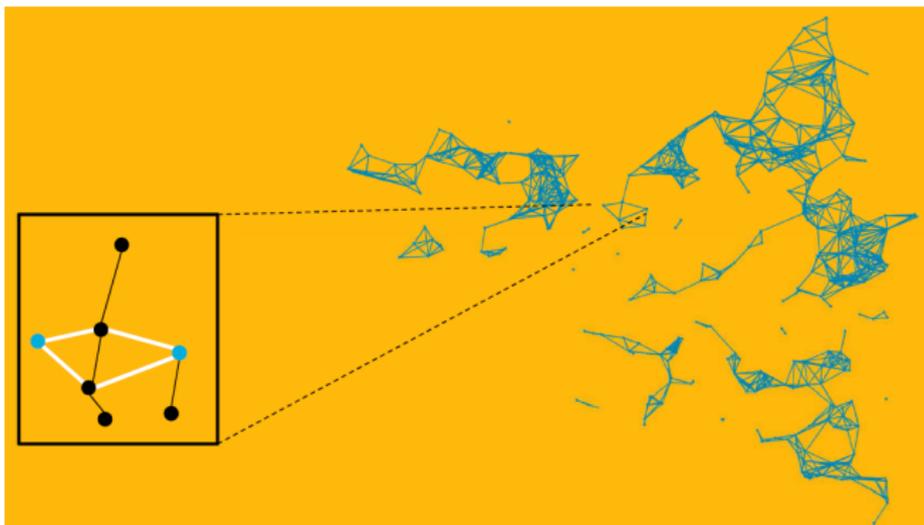
Chemin le plus court entre deux patches
Les autres patches sont utilisés comme relais



Mesure de la force des connections

Flux maximal ente deux patches

Nombre de chemins indépendants (directs ou indirects)



Calibration

	Matrice homogène	Matrice hétérogène
Plus courte distance	Meilleur réseau 1	Meilleur réseau 2
Flux maximal	Meilleur réseau 3	Meilleur réseau 4

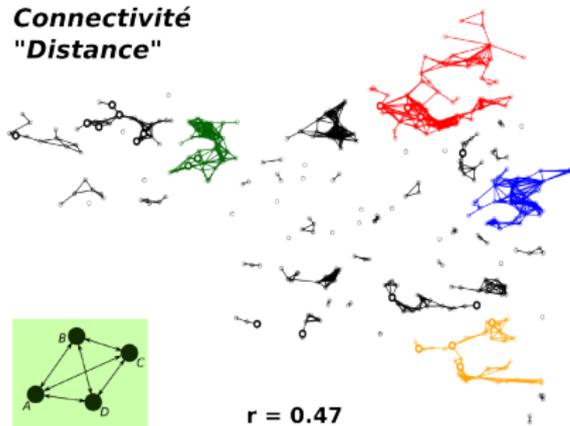
Calibration

	Matrice homogène	Matrice hétérogène
Plus courte distance	Meilleur réseau 1	Meilleur réseau 2
Flux maximal	Meilleur réseau 3	Meilleur réseau 4

Résultats

Meilleur réseau pour chaque connectivité *a priori*

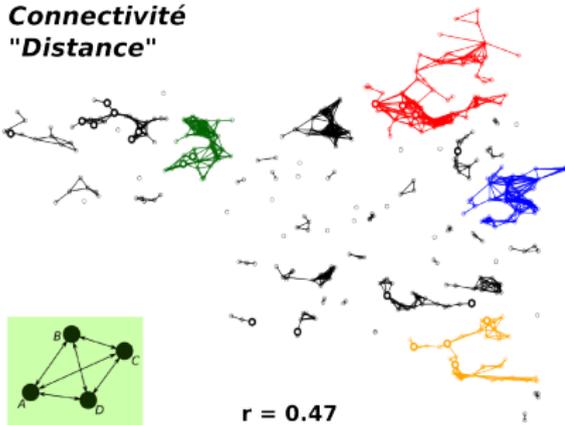
Connectivité
"Distance"



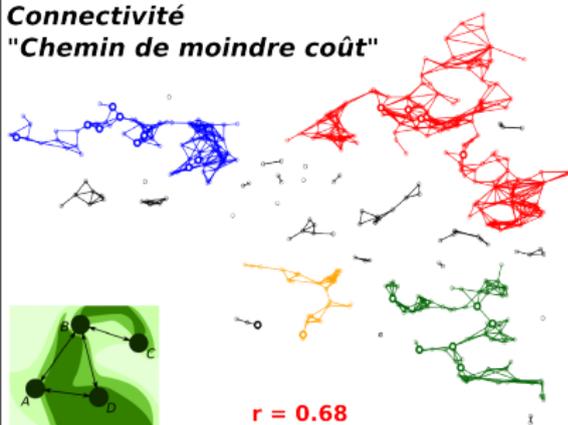
Résultats

Meilleur réseau pour chaque connectivité *a priori*

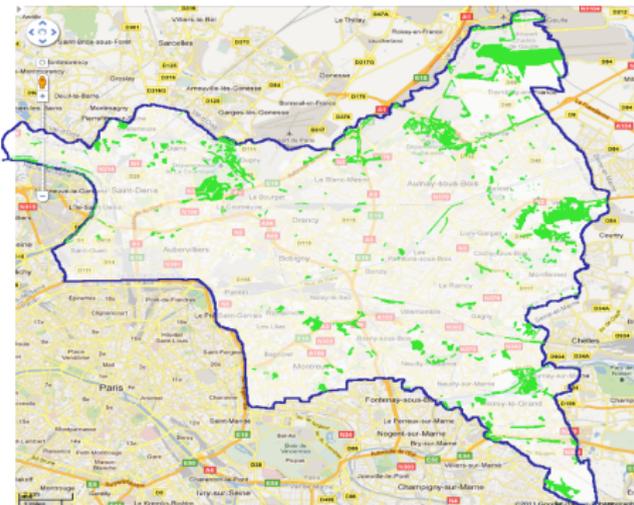
Connectivité
"Distance"



Connectivité
"Chemin de moindre coût"

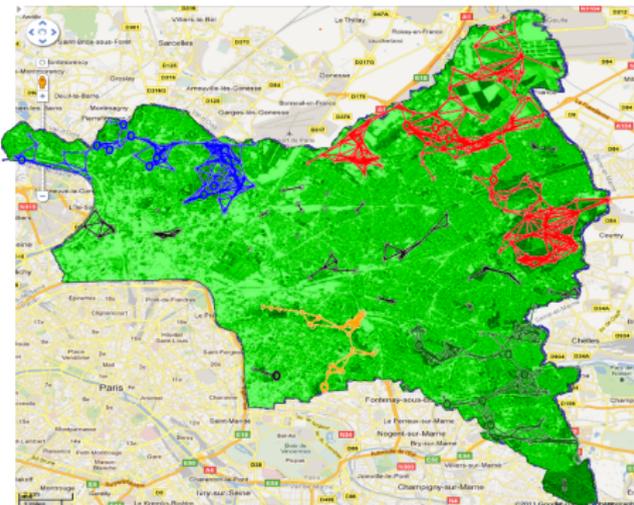


Conclusion



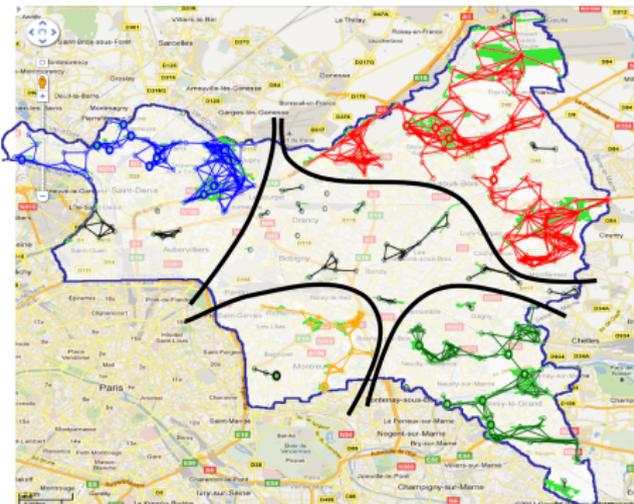
- Importance de la perméabilité dans la structuration des communautés

Conclusion



- Importance de la perméabilité dans la structuration des communautés
- Chemin de moindre coût = bon prédicteur de la perméabilité

Conclusion



- Importance de la perméabilité dans la structuration des communautés
- Chemin de moindre coût = bon prédicteur de la perméabilité
- Mise en évidence des barrières:
 - outil de gestion
 - mise en place de corridors écologiques

Le modèle mathématique 2.0

$$P_i(t) = \sum_{j \text{ voisin de } i} \rho_{ji} P_j(t-1) \quad (6)$$

$$\rho_{ji} = \frac{v_i}{\sum_{k \text{ voisin de } j} V_k}^\alpha \quad (7)$$

Conclusion

- Forte demande sociétale et politique autour de la TVB
- Utilisation possible des données de sciences participative

Merci

