

Modélisation spatiale de la transmission du virus Ebola dans un paysage forestier

Larisa Lee-Cruz, M. Lenormand, P. Degenne, J. Cappelle, A. Caron, H. De Nys, M. Peeters, M. Bourgarel, E. Schloesing, T. Pouliquen, F. Roger, A. Tran

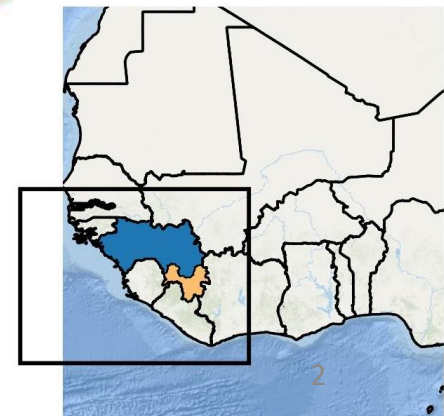
Atelier THEIA Risques et Maladies Infectieuses



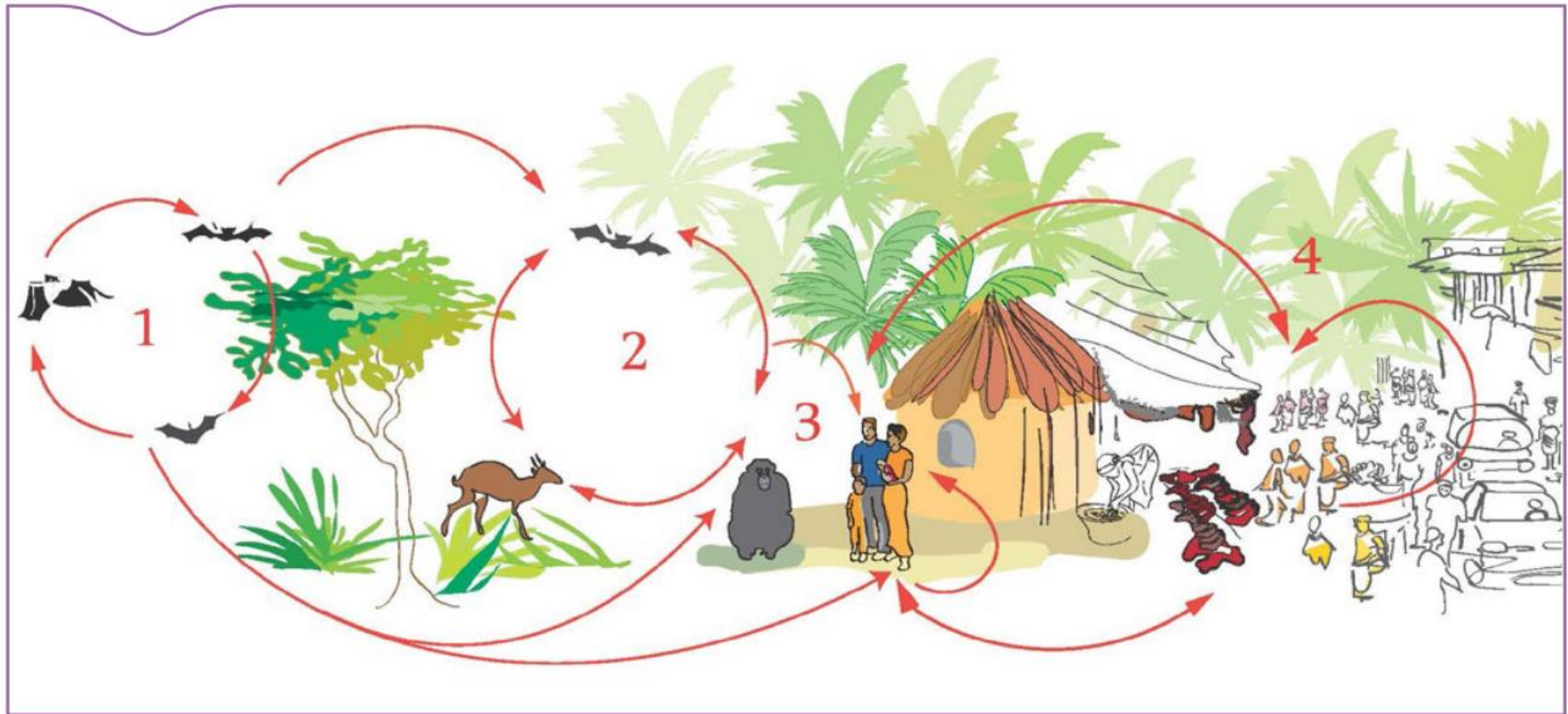
Une approche globale et interdisciplinaire de la santé

Objectifs

- Comprendre l'émergence, la dissémination, et les conséquences d'Ebola et d'autres maladies virales émergentes
- Définir des stratégies de surveillance et de prévention adaptées et acceptables pour les populations



Dynamique du virus Ebola



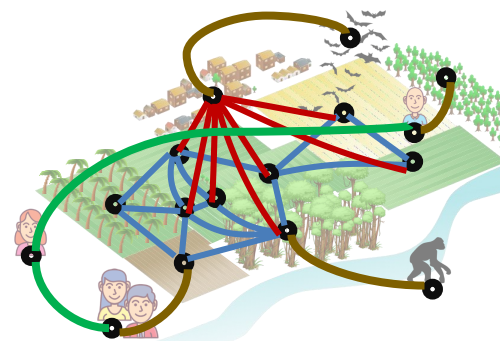
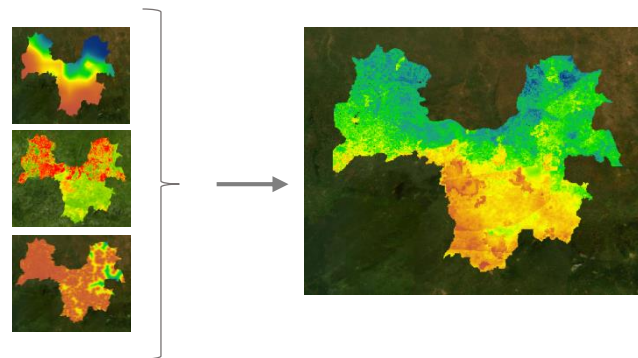
Ebola virus circulation and transmission in a forested socio-ecosystem: (1) bats, (2) wildlife, (3) human – wildlife contact, (4) human communities. © D. Guard-Lavastre/Cirad, modified from CDC: <http://www.cdc.gov/vhf/ebola/resources/virus-ecology.html>

- Taux de mortalité $\approx 50\%$
- 1er cas en 1976, RDC
- ≈ 22 épidémies; 16 depuis 2001.
- Afrique de l'ouest (2013 - 2016) $>28\,600$ cas 11 325 décès

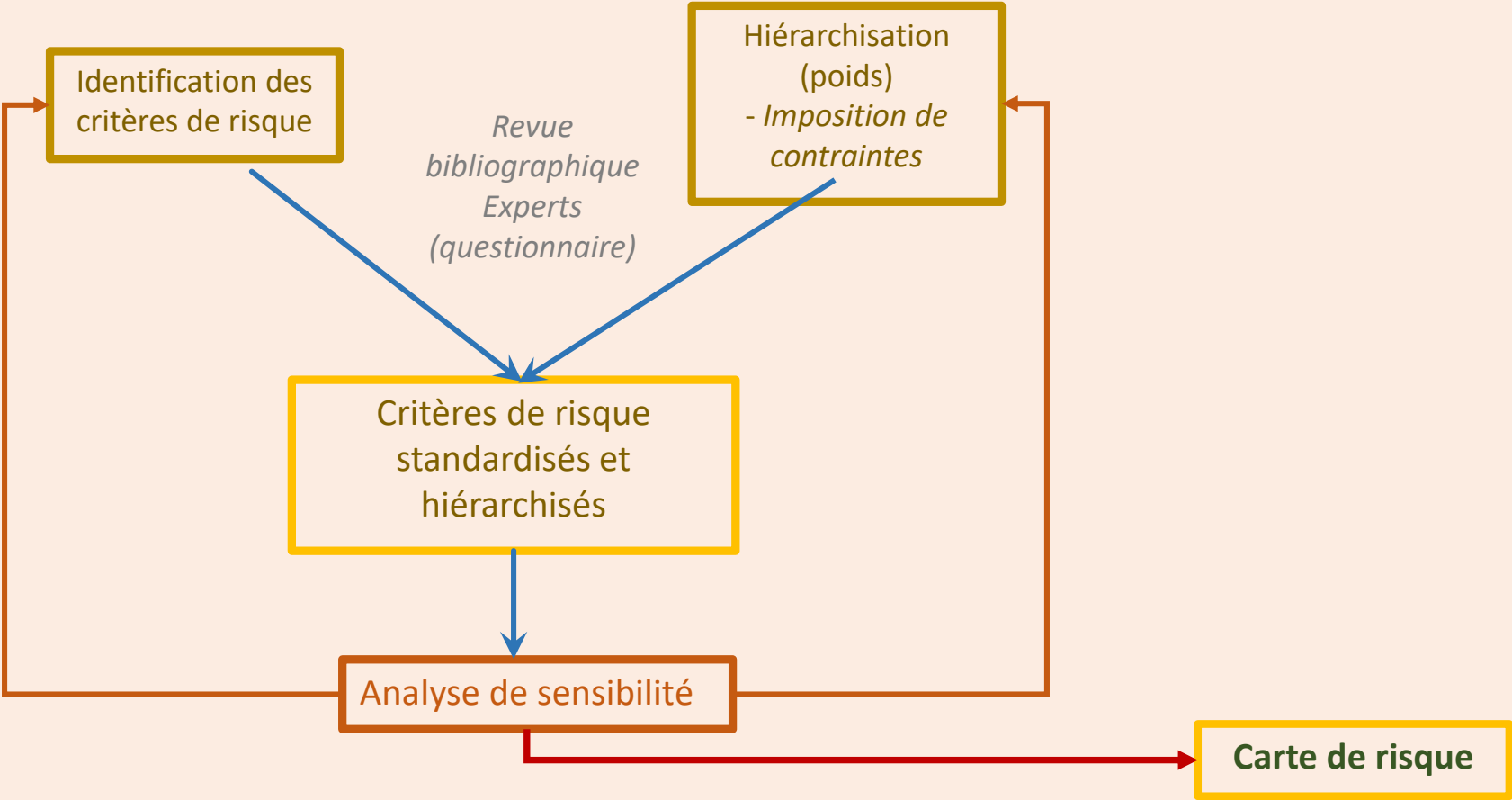


Approches spatiales

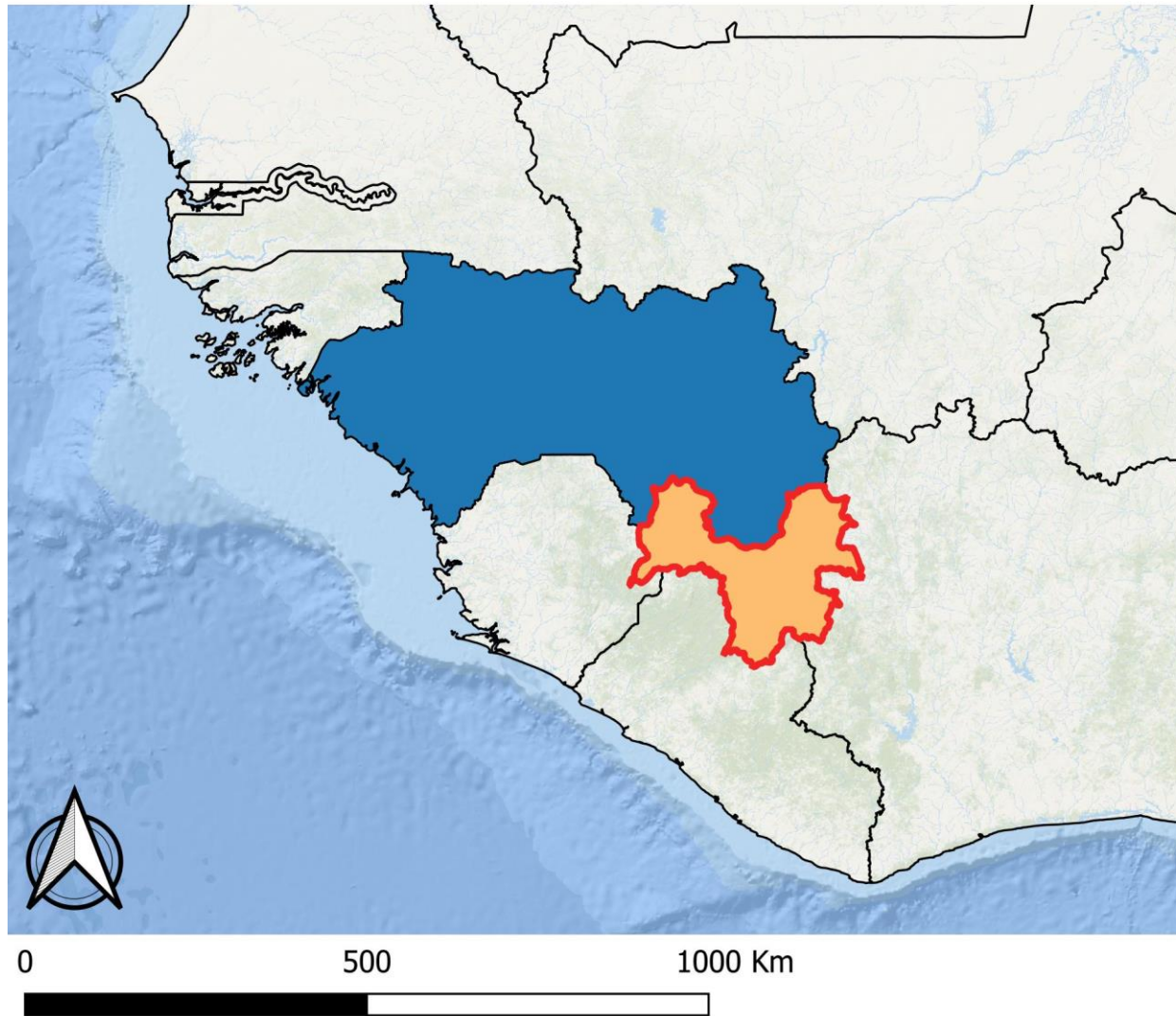
- I. Établir une **cartographie du risque** de transmission du virus Ebola de l'animal à l'homme en Guinée forestière en utilisant l'approche d'**évaluation multicritère spatialisée**
- II. Explorer la **dynamique de transmission** dans un réservoir potentiel du virus Ebola dans un paysage forestier en mutation en utilisant des **modèles spatialement explicites**



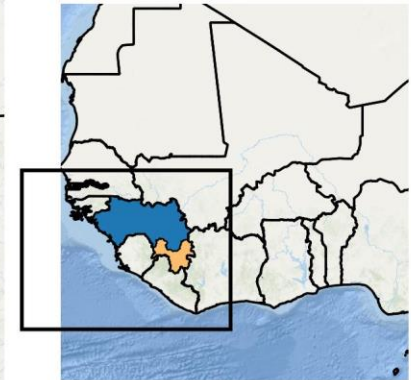
Evaluation Multicritère Spatialisée (GIS-MCE)



Zone d'étude



Afrique de l'ouest



-  Guinée
-  Zone d'étude: Guinée forestière

Identification des facteurs de risque

Revue bibliographique



Animaux infectés

- Chauves-souris frugivores
- Chauves-souris insectivores
- Céphalophes
- Primates



Environnement

- Couverture forestière%
- Productivité du paysage
- Terres agricoles
- Ratio T. agricoles : C. forestière
- Déforestation
- Proximité aux rivières
- Proximité aux chemins
- Densité de population humaine



Climat

- Plage de température annuelle
- Température moyenne annuelle
- Précipitation moyenne mensuelle



Viande de brousse

- Aires de chasse
- Commercialisation de la viande de brousse
- Présence d'animaux domestiques

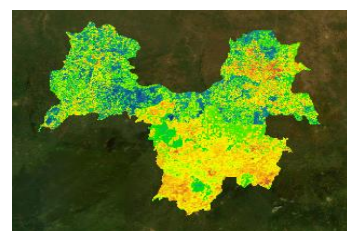
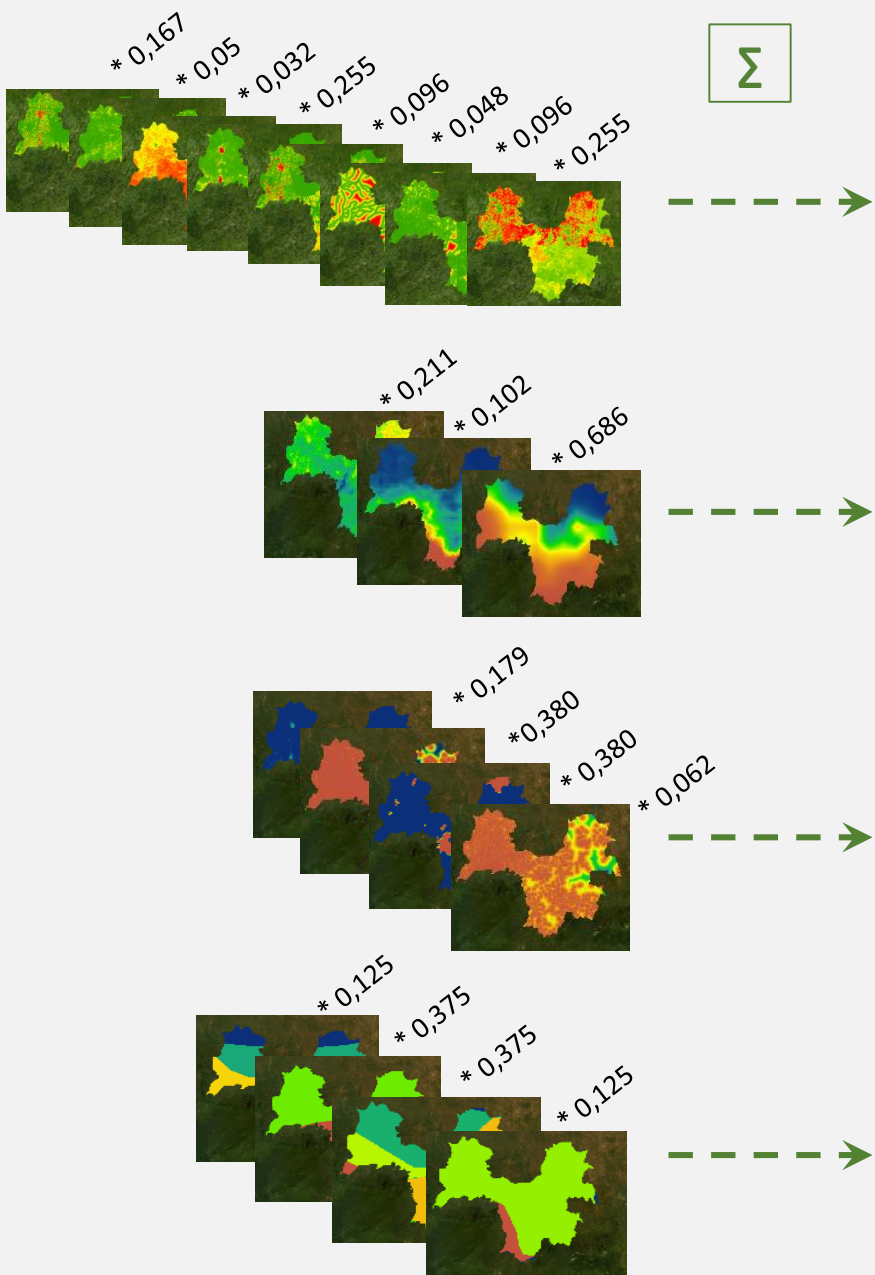
Cartographie du risque

Calcul de poids des facteurs de risque

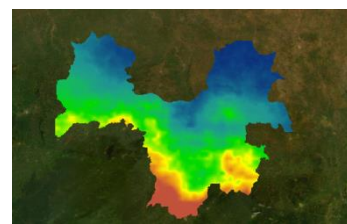
Facteur de risque	No. fois testé	Valeur P	Importance relative	
Couverture forestière	4	0,005; <0,01; 0,0007	Plus important	5
Ratio T.agricoles : couverture forestière	1	<0,01	Moins important	1/5

	Couverture forestière	Ratio ta : cf	Terres agricoles	Déforestation	Productivité paysagère	Proximité aux rivières	Proximité aux chemins	Densité de population humaine	Poids
Couverture forestière	1	3	5	1	3	5	5	3	0,255
Terres agricoles		1/3	1	1/5	3	3	1	1/5	0,048
Ratio ta : cf			1	1/3	1	3	3	1/3	0,096
⋮									⋮

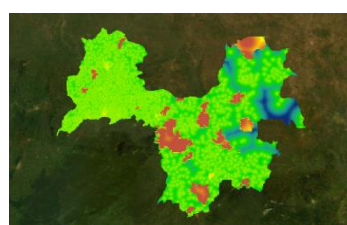
Cartographie du risque



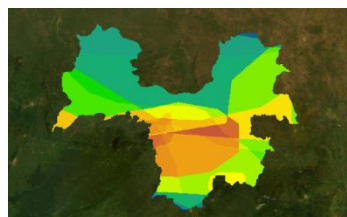
Carte des facteurs de
risque **environnementaux**



Carte de facteurs de
risque **climatiques**

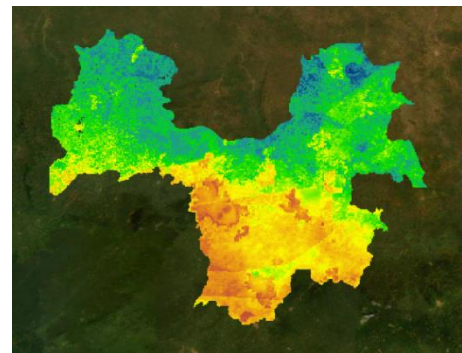


Carte de facteurs de risque associés
à la consommation de la **viande de
brousse**



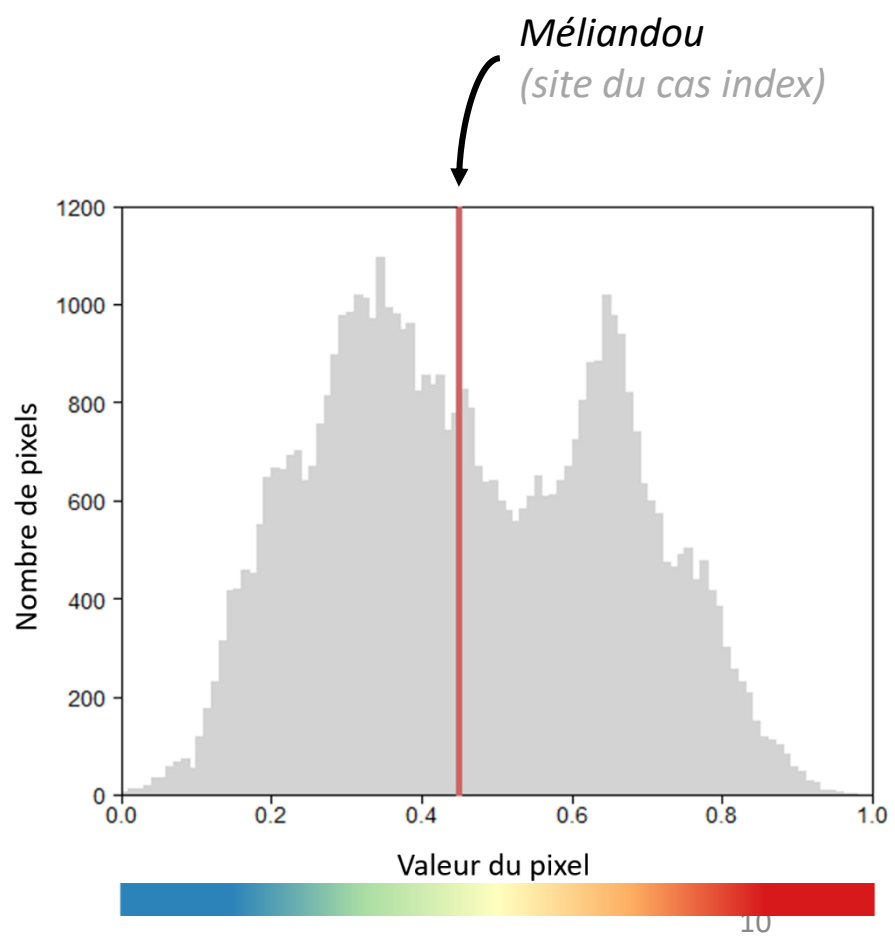
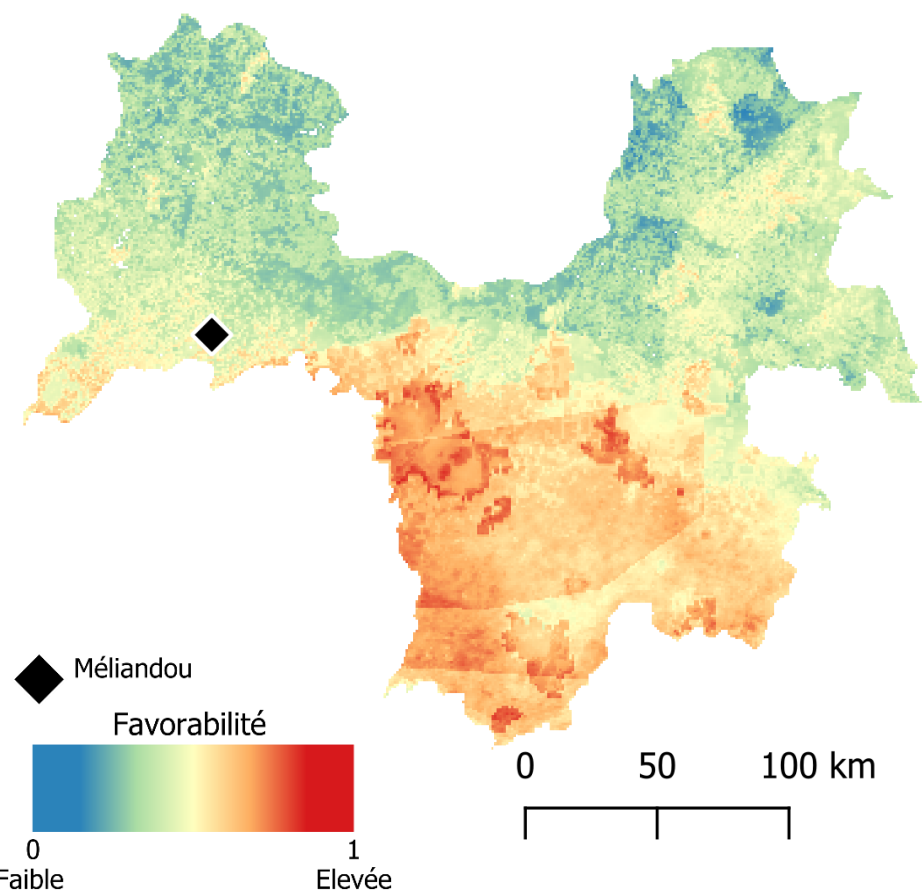
Carte d'**espèces
impliquées**

Moyenne

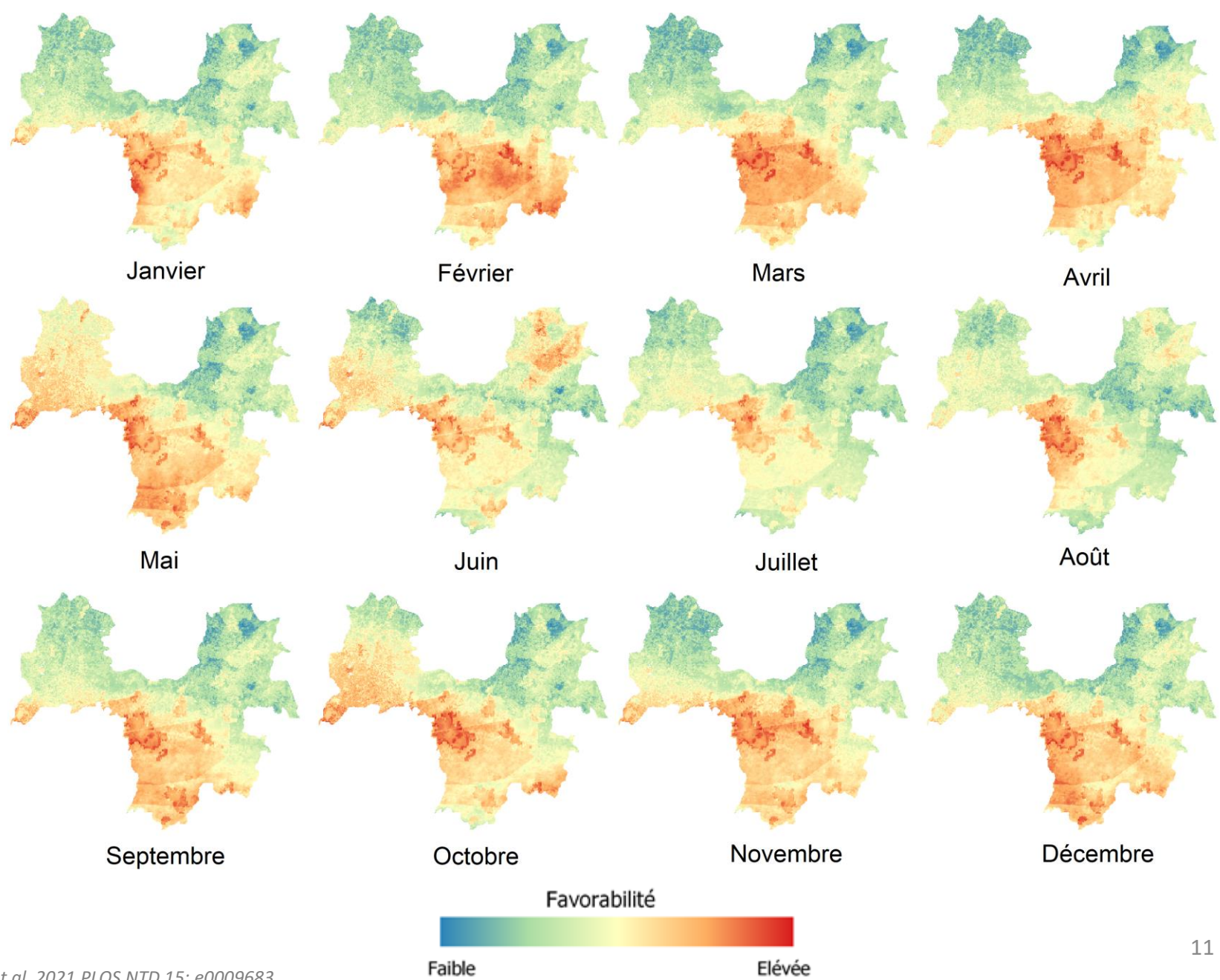


**Carte finale de
risque de
transmission du
virus**

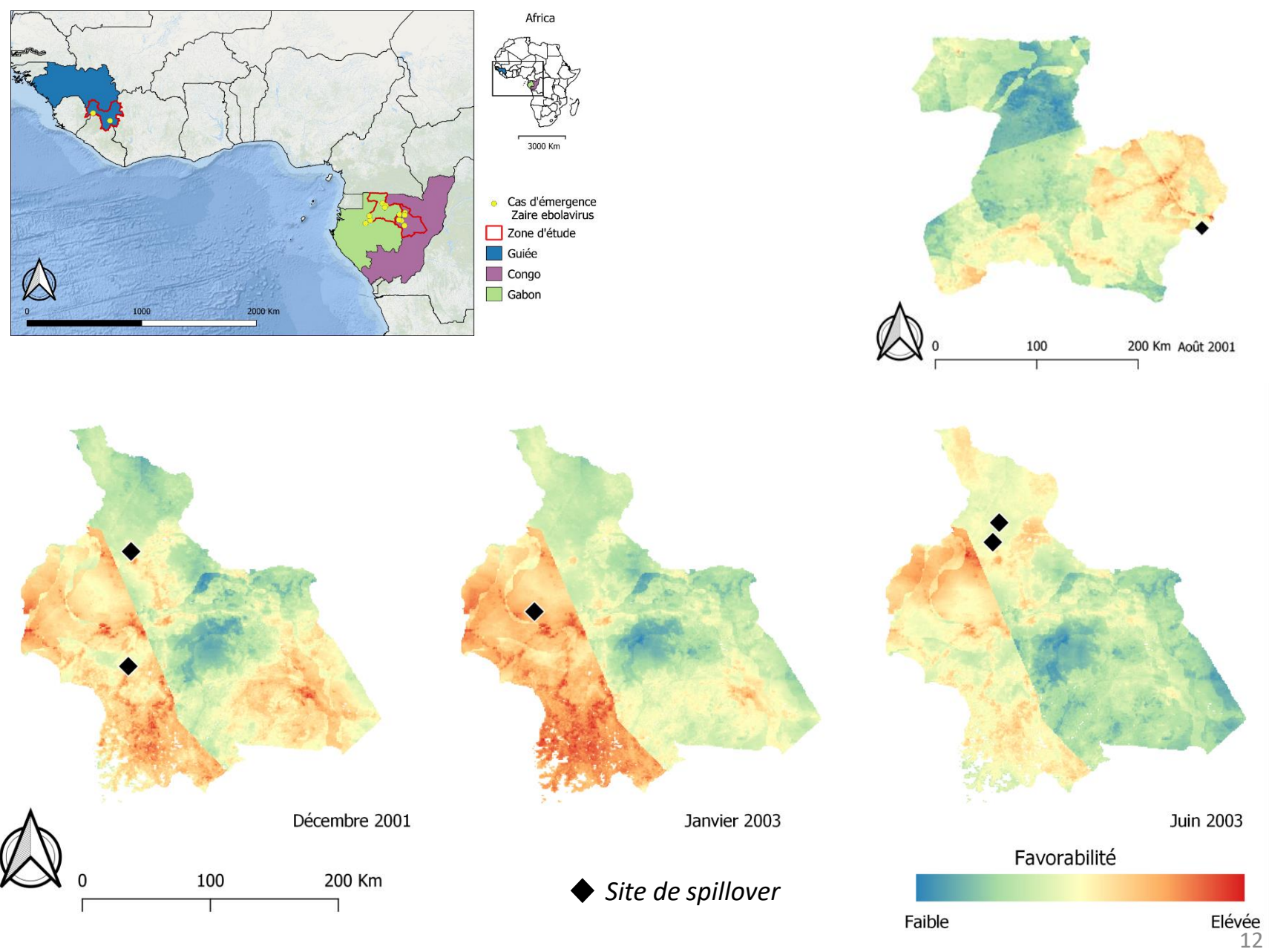
Guinée forestière, Décembre 2013



Cartographie du risque



Cartographie du risque



L'évaluation multicritère spatialisée

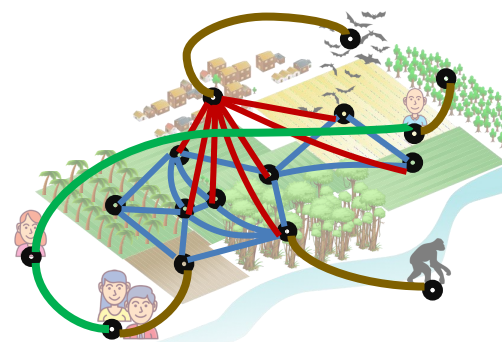
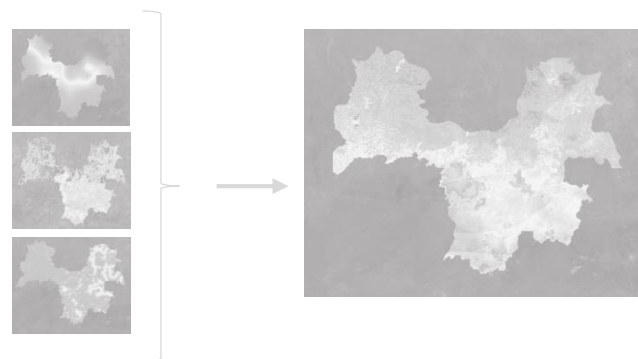
- Méthode facilement adaptable (nouvelles connaissances et données)
- Permet l'intégration de multiples facteurs et des données hétérogènes
- Utile en cas de manque de données épidémiologiques
- Variation spatiale et temporelle du risque
- Amélioration et mise à jour du modèle
- Analyse de sensibilité (choix des facteurs et pondération)
- Extraction d'information (campagnes d'échantillonnage, surveillance)



Approches spatiales

- I. Établir une **cartographie du risque** de transmission du virus Ebola de l'animal à l'homme en Guinée forestière en utilisant l'approche d'évaluation **multicritère spatialisée**

- II. Explorer la **dynamique de transmission** dans un réservoir potentiel du virus Ebola dans un paysage forestier en mutation en utilisant des **modèles spatialement explicites**



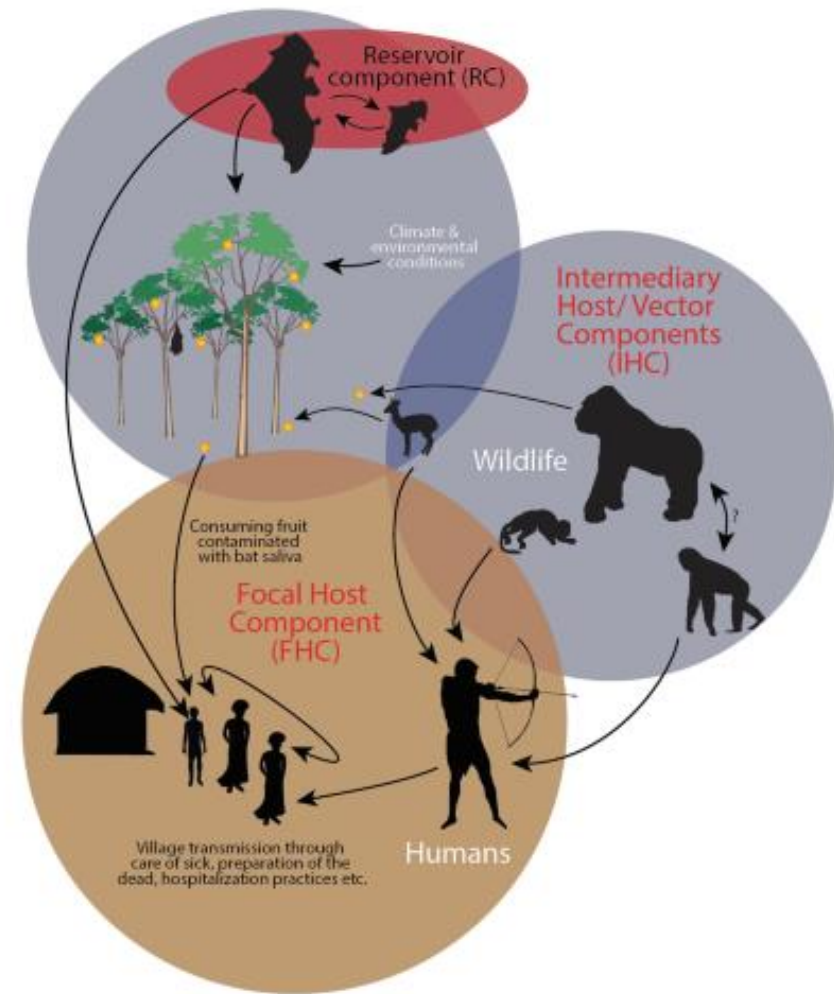
Interface Animaux - Humains

- *Intégration des variables environnementales*
 - *Prise en compte des variables paysagères*
 - *Comportement (animaux; pop. humaine)*
 - *Saisonnalité*
-
- Zone géographique / échelle
 - Période d'intérêt
(jours, semaines, mois, années)

Construction des différents scénarios



***Meilleure compréhension du système
et des facteurs impliqués***



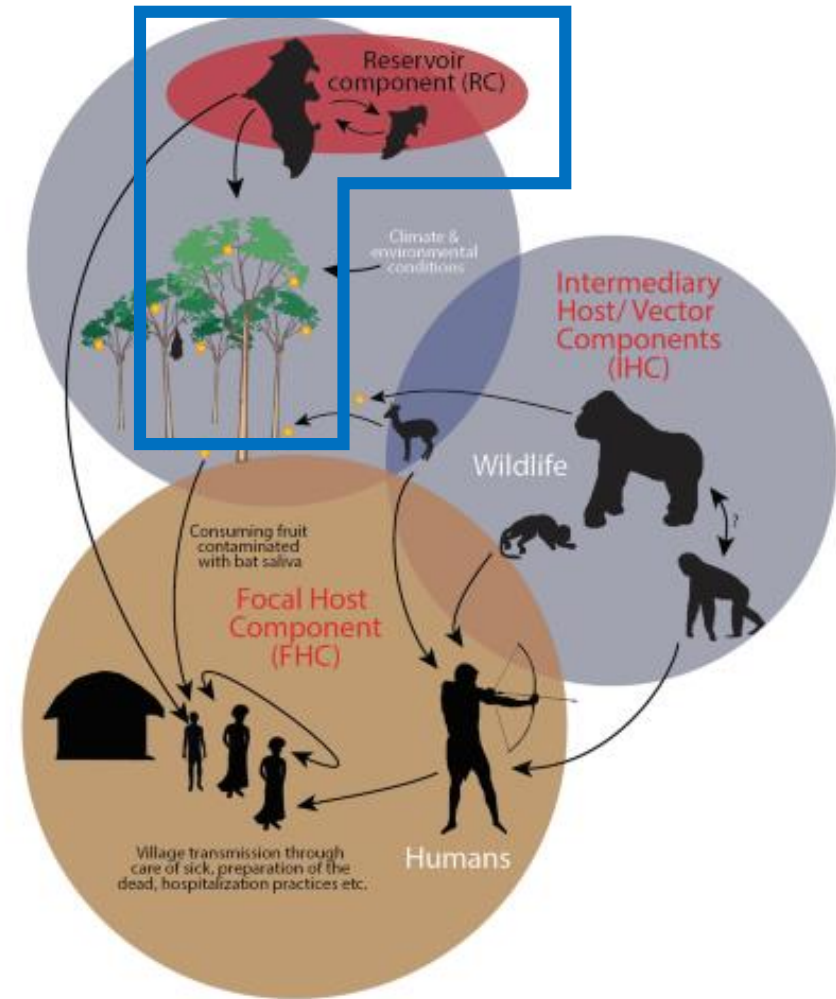
Interface Animaux - Humains

- *Intégration des variables environnementales*
 - *Prise en compte des variables paysagères*
 - *Comportement (animaux; pop. humaine)*
 - *Saisonnalité*
-
- Zone géographique / échelle
 - Période d'intérêt
(jours, semaines, mois, années)

Construction des différents scénarios



***Meilleure compréhension du système
et des facteurs impliqués***





(P. Degenne, D. Lo-Seen 2019)

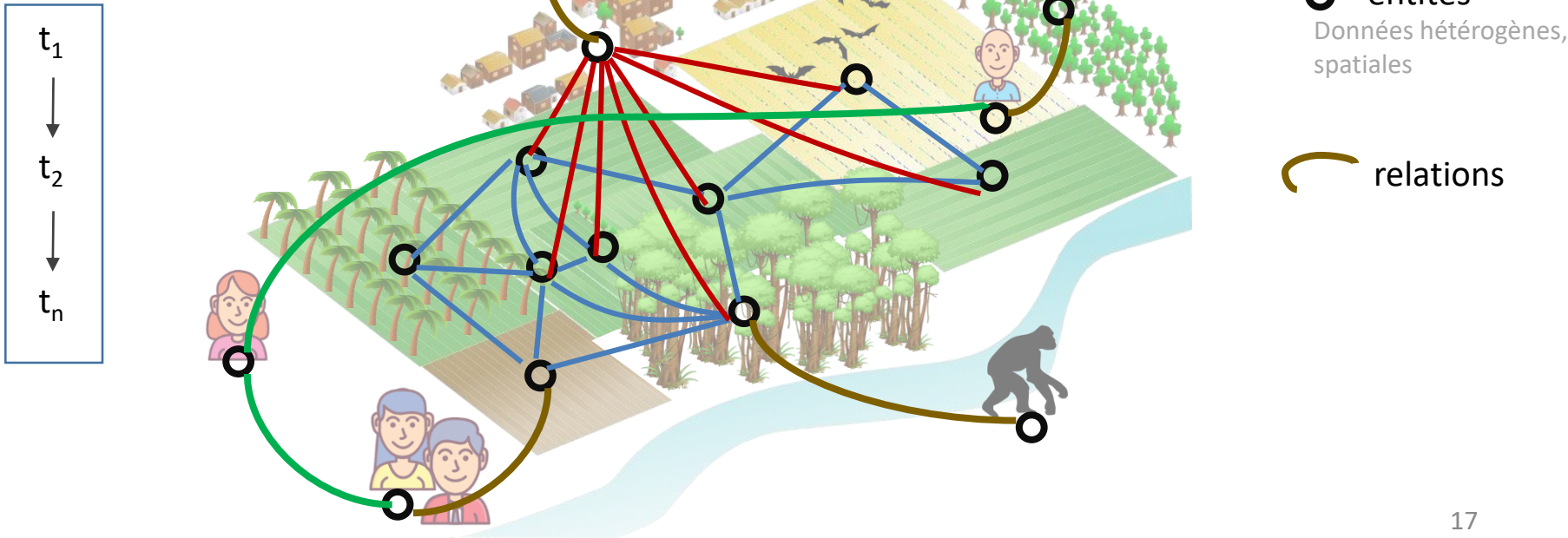
Modélisation de **relations** entre **entités**



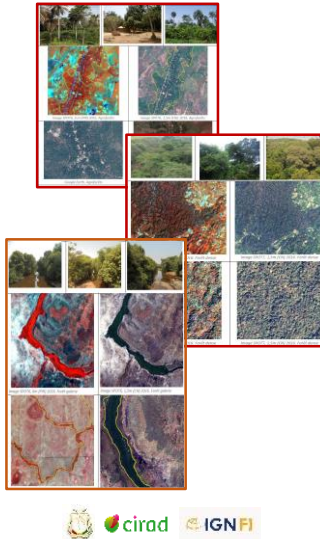
Graphes d'interaction



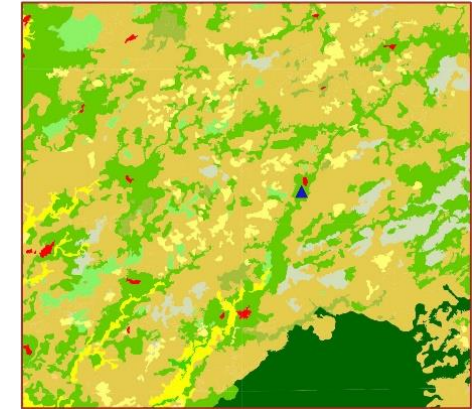
Simulation de dynamiques spatio-temporelles



Modèle dynamique de transmission



52 classes
d'ocsol

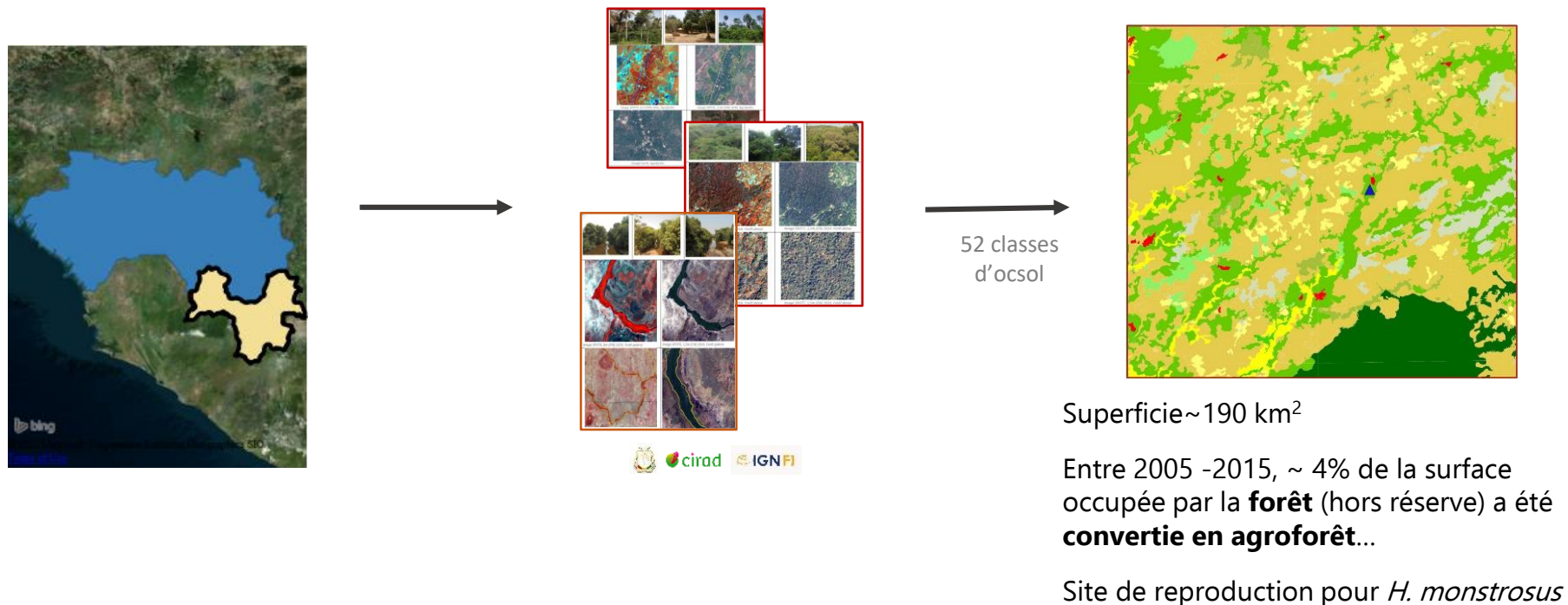


Superficie ~190 km²

Entre 2005 -2015, ~ 4% de la surface occupée par la **forêt** (hors réserve) a été **convertie en agroforêt**...

Site de reproduction pour *H. monstrosus*

Modèle dynamique de transmission



Ecologie de *Hypsignathus monstrosus*



RESEARCH ARTICLE

Lek-associated movement of a putative Ebolavirus reservoir, the hammer-headed fruit bat (*Hypsignathus monstrosus*), in northern Republic of Congo

University of California, San Diego, Department of Biology, La Jolla, California

Lek Mating Behavior in the Hammer-headed Bat

By JACK W. BRADBURY

Sarah H. Olson^{1,*}, Gerard Bounaga², Alain Ondzie², Trent Bushmaker³, Stephanie N. Seifert³, Eeva Kuisma², Dylan W. Taylor¹, Vincent J. Munster³, Chris Walzer^{1,4}

Données préliminaires sur la distribution spatio-temporelle des chauves-souris à tête de marteau, *Hypsignathus monstrosus* H. Allen, 1861 dans la commune du Plateau (Abidjan, Côte d'Ivoire)

Coffi Jean Magloire NIAMIEN^{1*}, Blaise KADJO², Inza KONE² et Kouakou Eliézer N'GORAN²

- Réservoir potentiel
- Capable de longue migrations
- Concentration de mâles pendant la saison reproductive(leks)

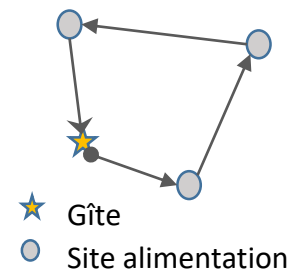
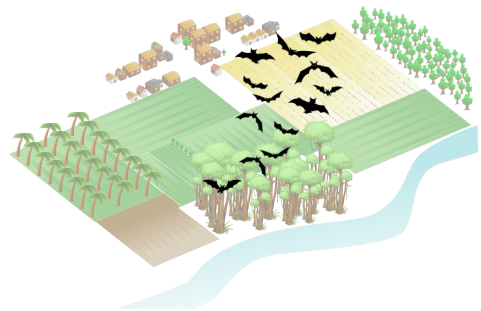
En Guinée:

- Concurrence ressources (ex. mangues) avec pop. humaine
- 2 saisons rep/an

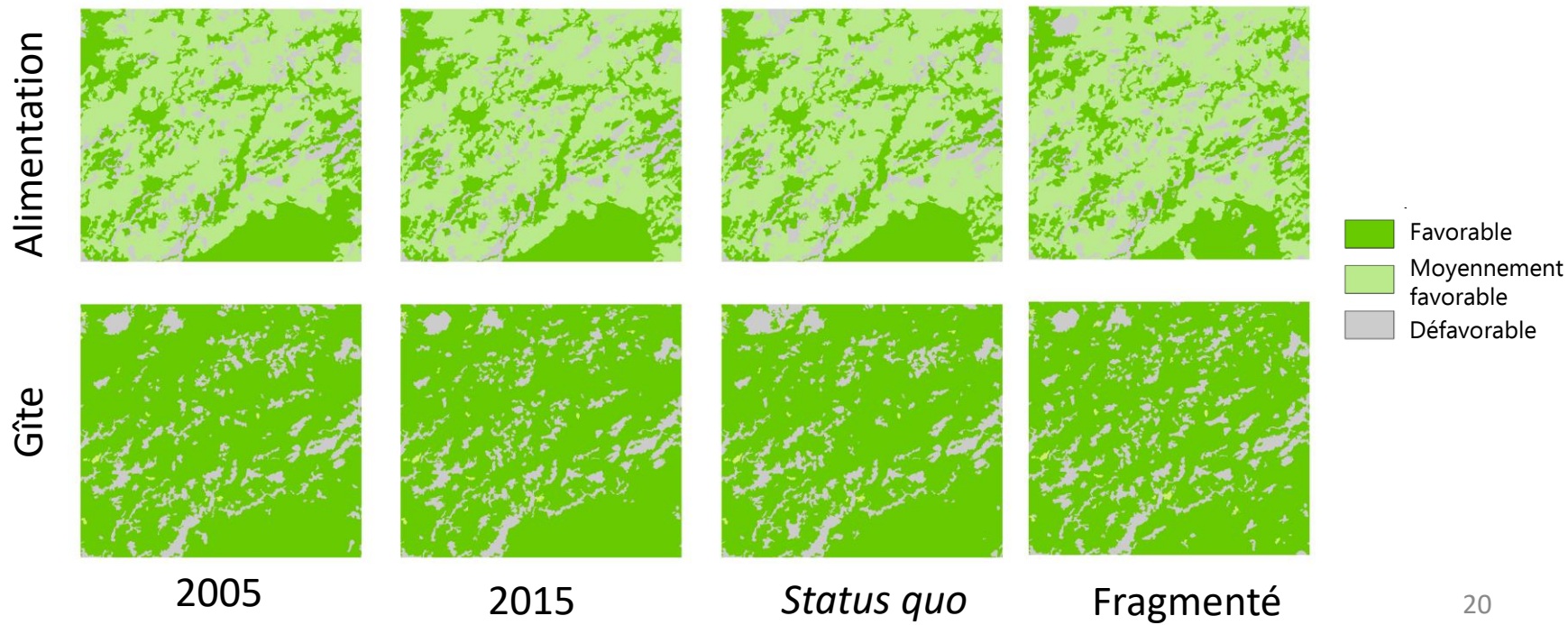
+ études en cours en Guinée et RDC

Changements du paysage

**Implications pour les déplacements
des chauves-souris et la dynamique
de transmission du virus ?**

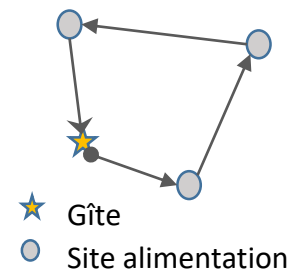
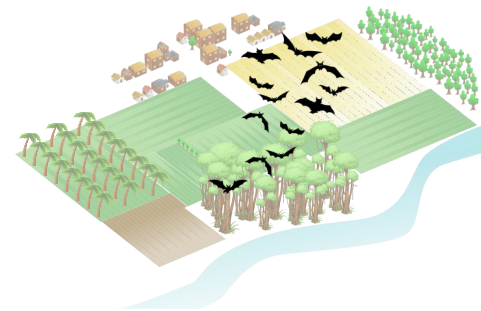


4 scénarios de changement d'occupation du sol

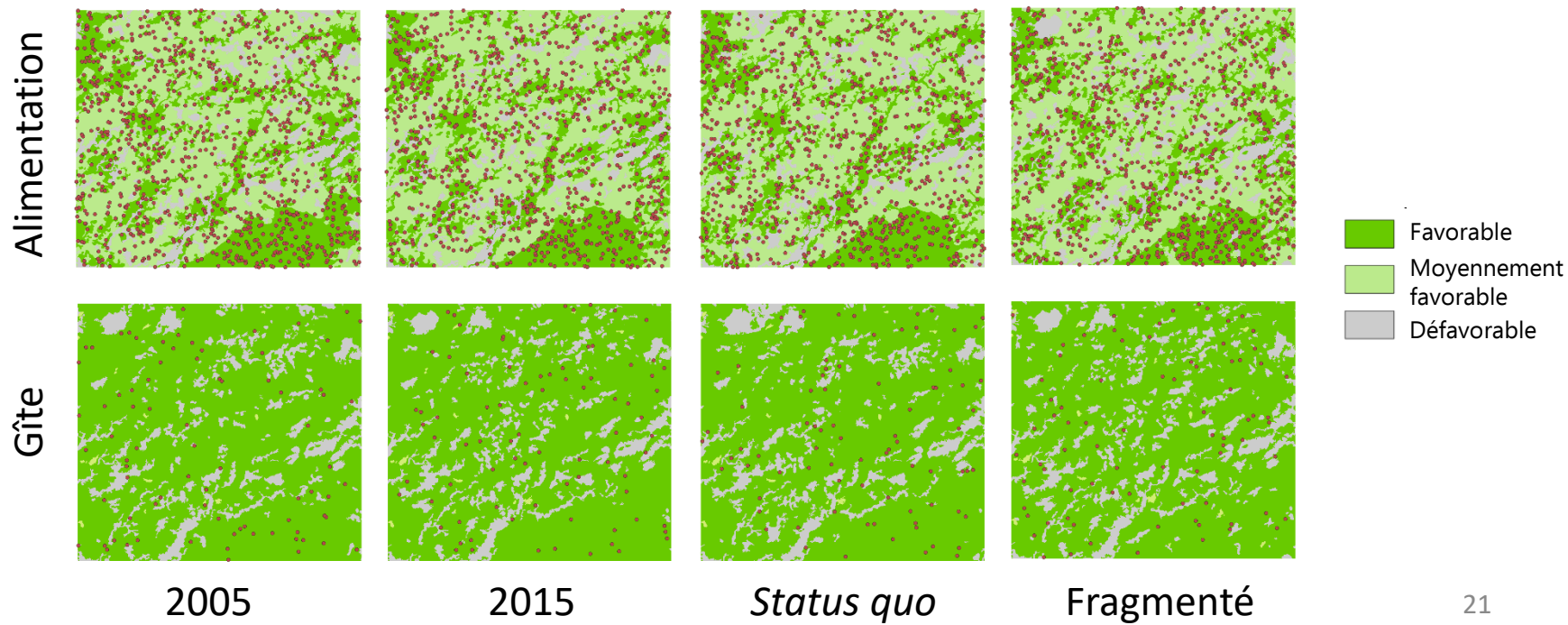


Changements du paysage

**Implications pour les déplacements
des chauves-souris et la dynamique
de transmission du virus ?**



4 scénarios de changement d'occupation du sol



Conditions initiales

- Nb.  dans population (1200)
- Nb. gîtes (80)
- Nb. sites alimentation (1000)

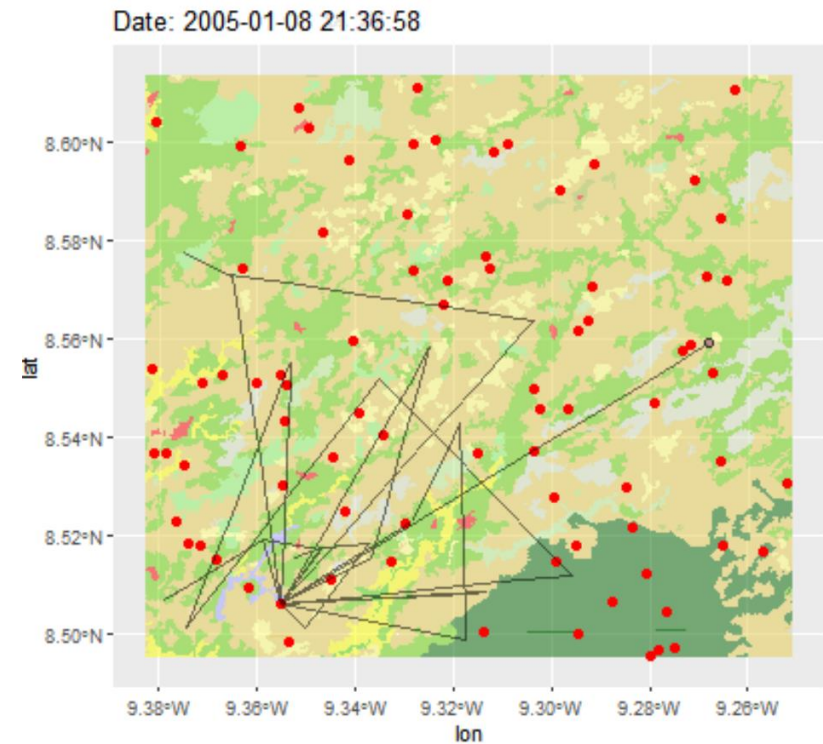
Paramètres fixes

- Distance max entre gîtes: 4 km
- Nb. max gîtes utilisés par mois: 1 – 10d
- Temps au gîte: 12h (6h – 18h)
- Temps au s. alimentation: 48 – 511 min
- Nb. s. alimentation visités /nuit: 5
- Distance max au s. alimentation: 14 km

Paramètres simulation

- Localisation de gîtes
- Localisation de s. alimentation
- Durée simulation (30 j)
- Pas de temps (1 min)

20 simulations par scénario



● Gîte
— Déplacement 

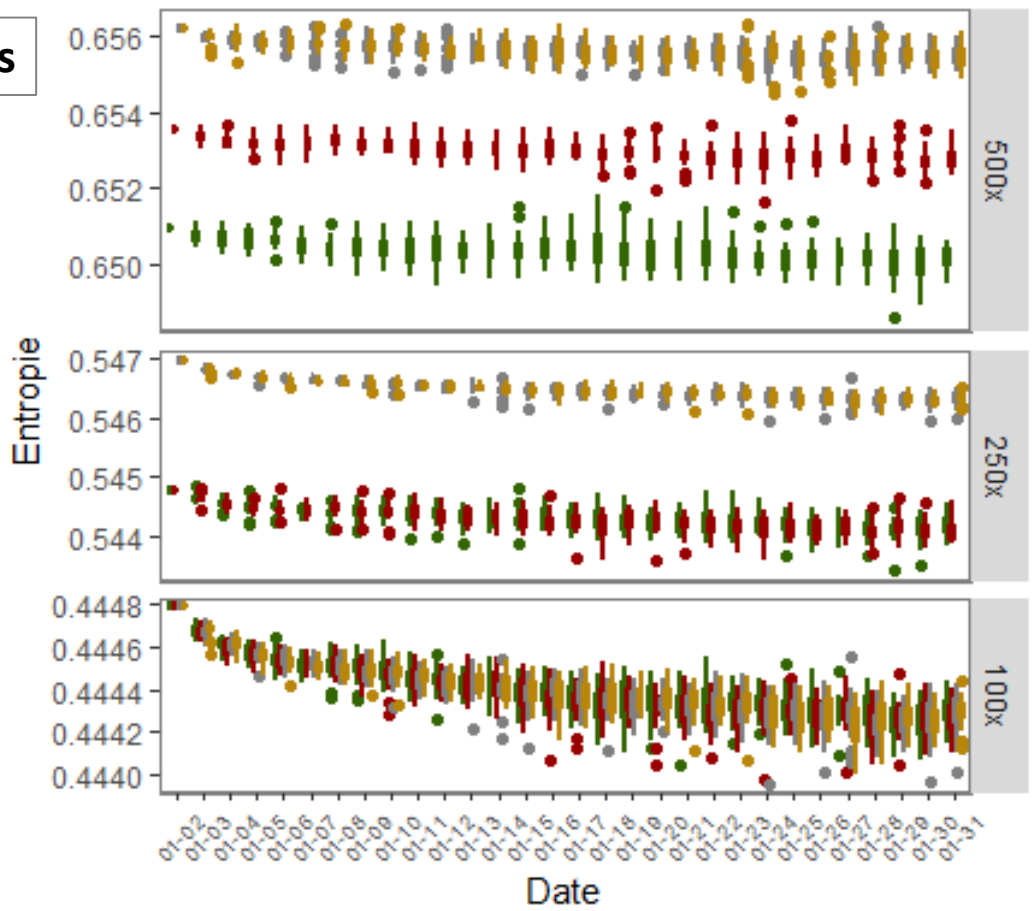
Indicateur de densité: Entropie

$$-\sum_{i=1}^N P_k \log(P_k) / \log(N)$$

P_k probabilité qu'une  soit localisée dans la cellule i du raster.

N total de cellules du raster

Gîtes



↑ Entropie
 plus dispersées dans l'espace

Analyse de réseau

Contactes 

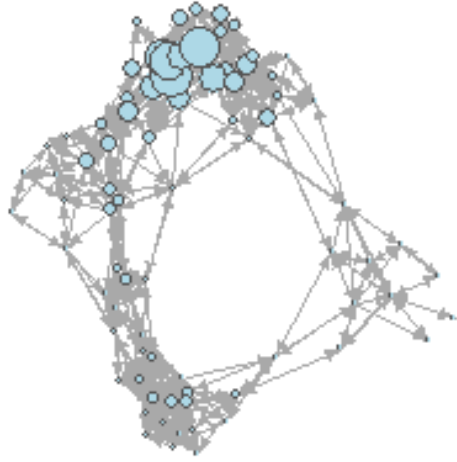


- Nœud* { Gîtes
Sites d'alimentation
- Liens* { Déplacements 
-  uniques
- Nb. total déplacements

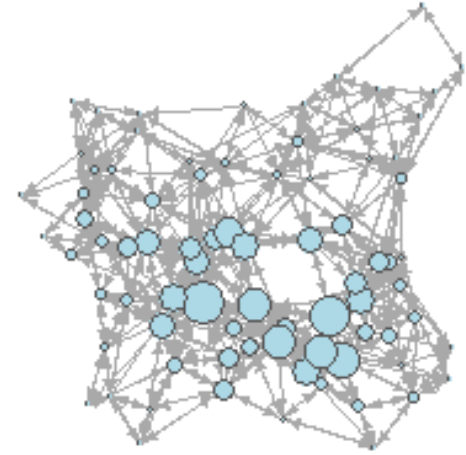
Analyse de réseau

Hubs: plus de liens que le nœud moyen

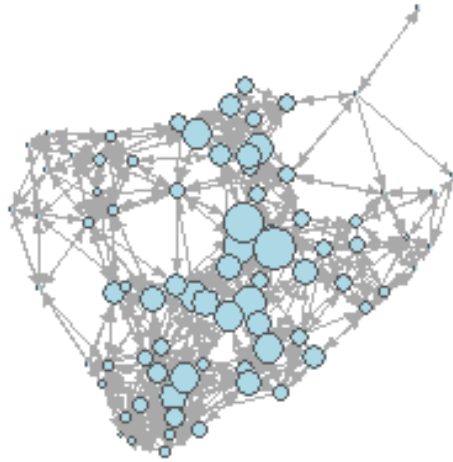
2005



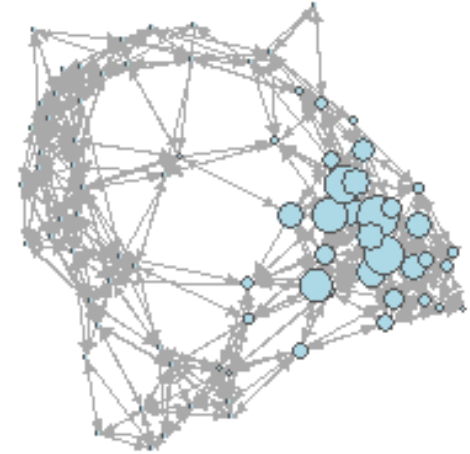
2015



Status quo



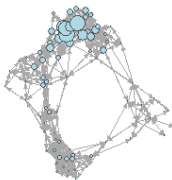
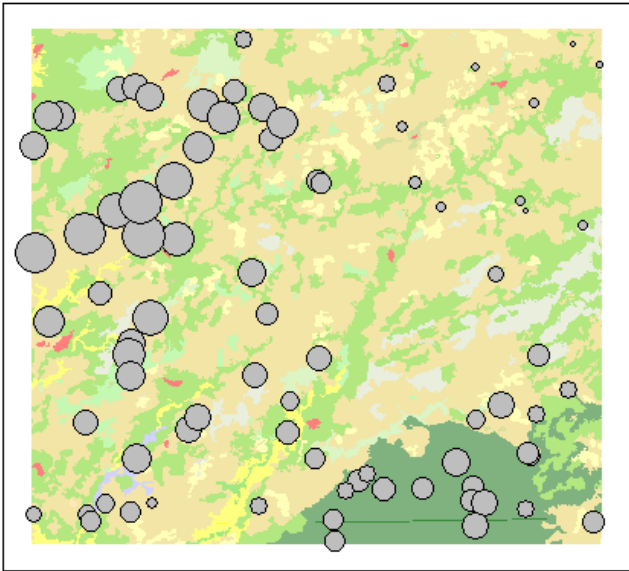
Fragmenté



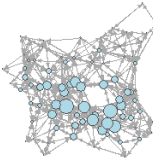
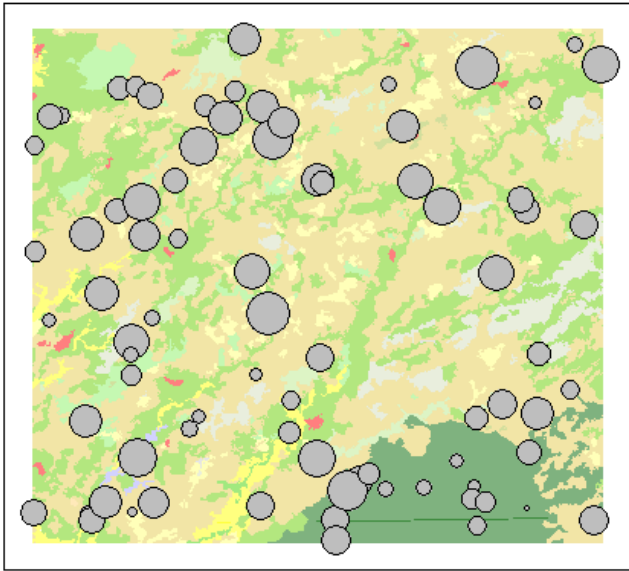
Analyse de réseau

Hubs: plus de liens que le nœud moyen

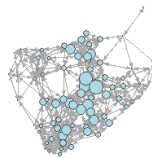
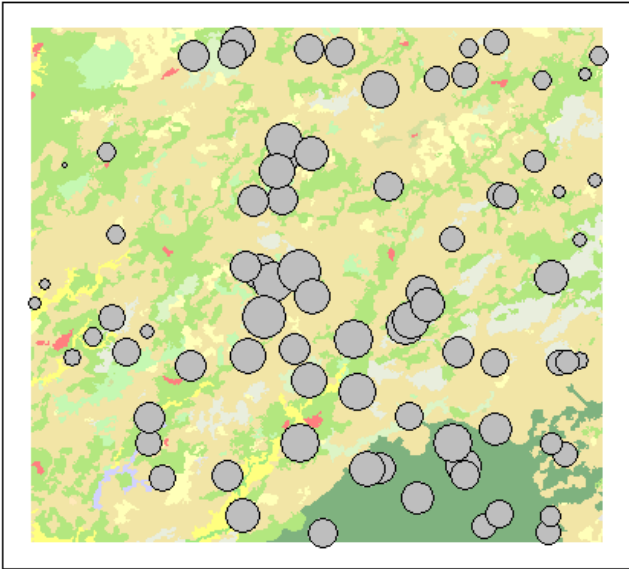
2005



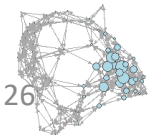
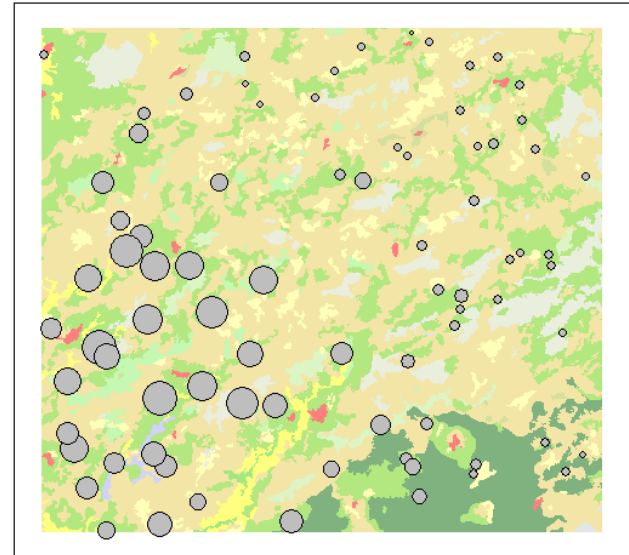
2015



Status quo



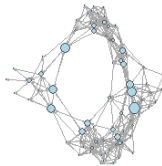
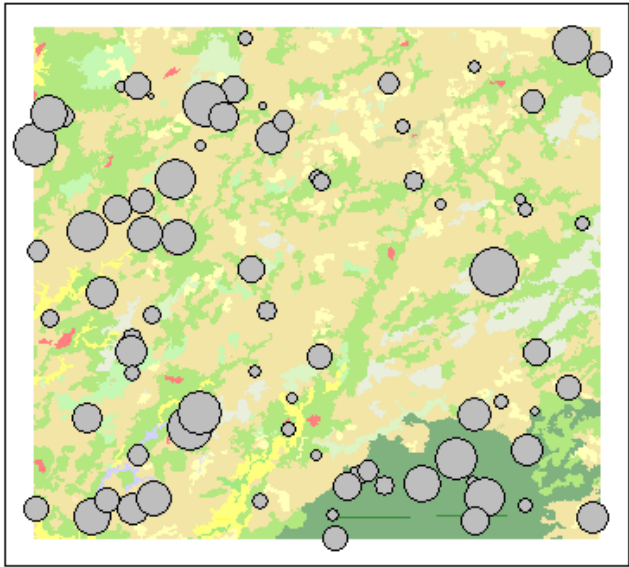
Fragmenté



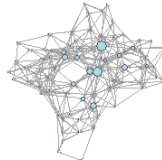
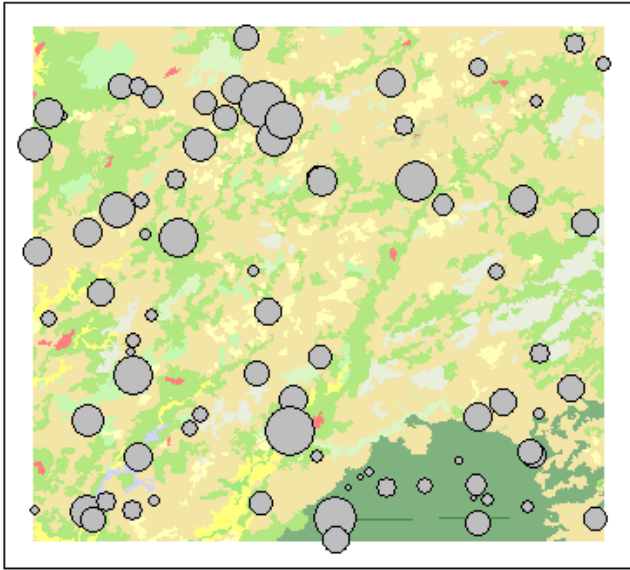
Analyse de réseau

Betweenness: influence du nœud dans le flux

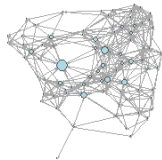
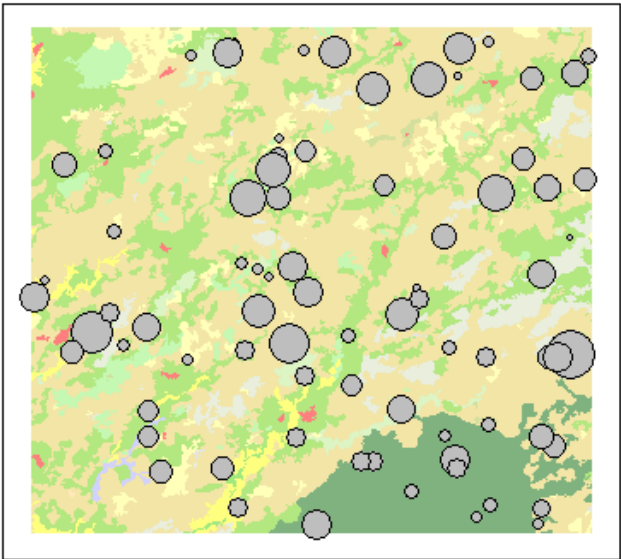
2005



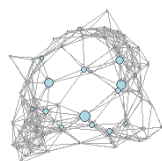
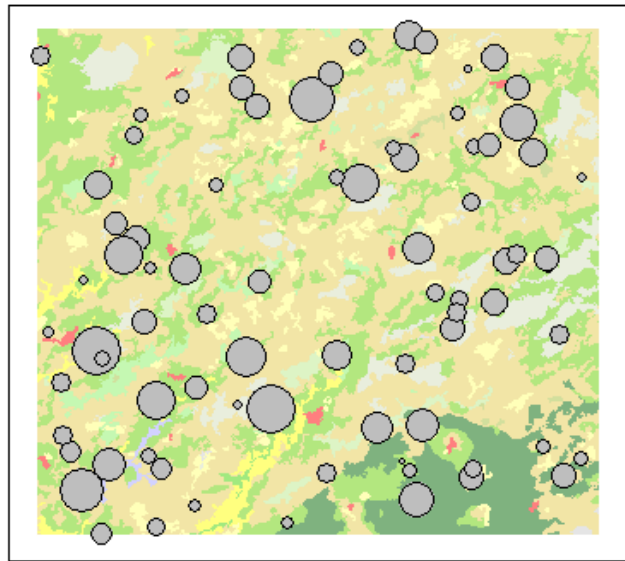
2015



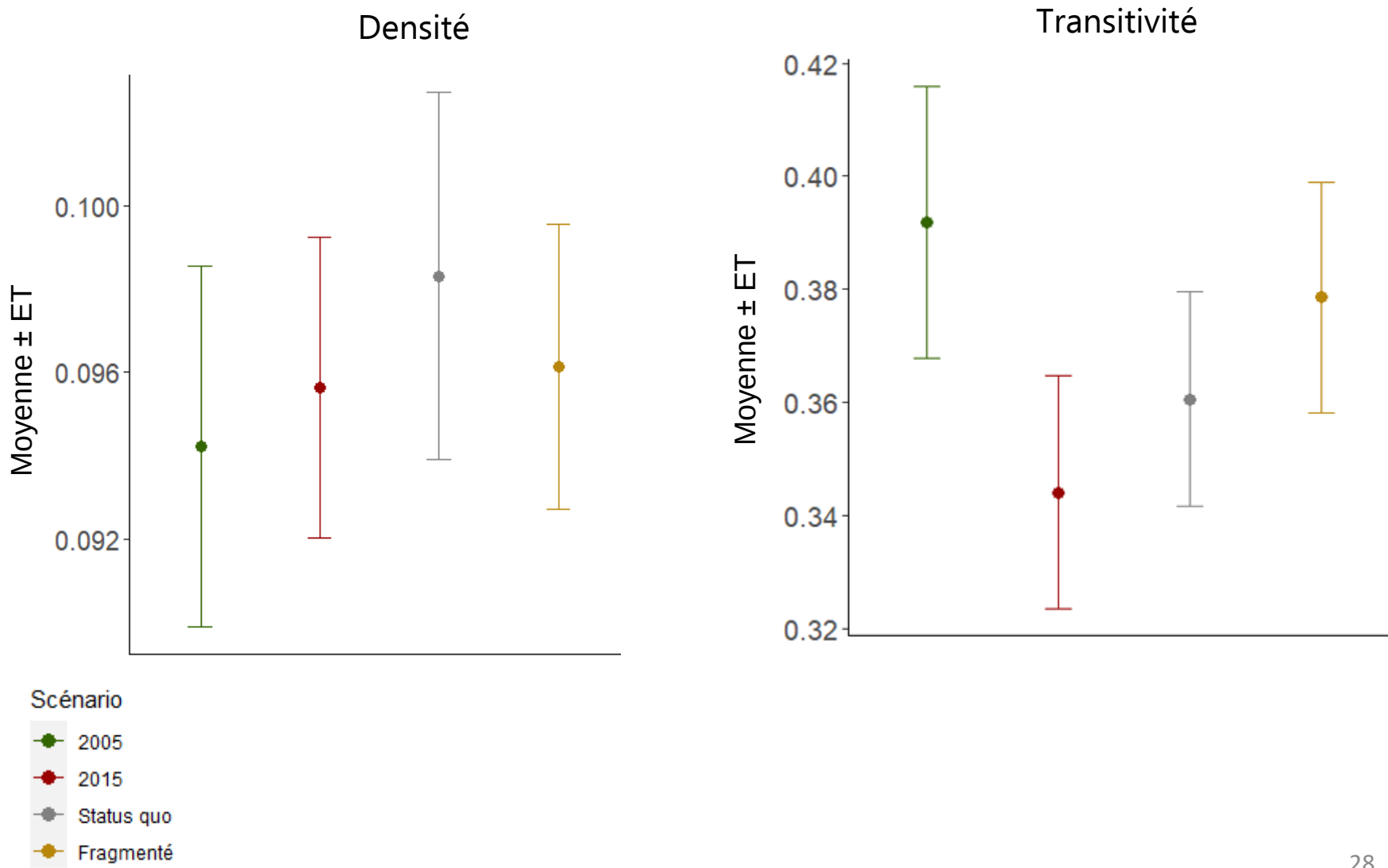
Status quo



Fragmenté



Analyse de réseau



Modèle dynamique spatiale

Analyse de réseau

Gîtes

Sites d'alimentation



Dynamique différente ?

Effets des changements paysagères dans la dynamique

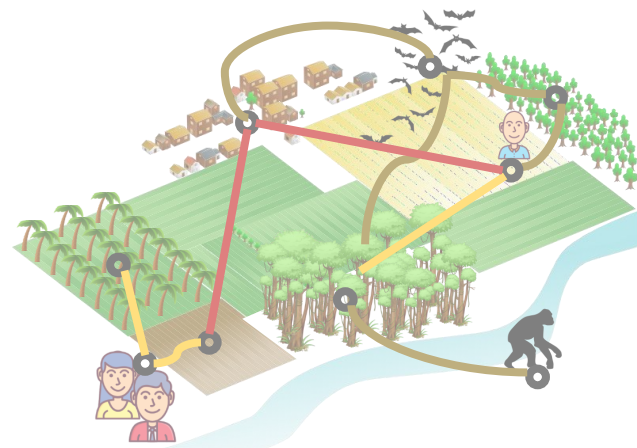
Evolution spatio-temporelle de la dynamique

Un modèle plus complexe

➤ Autres facteurs dans le modèle

- Reproduction
- Saisonnalité
- Démographie
- Autres espèces

➤ Modèle SIR



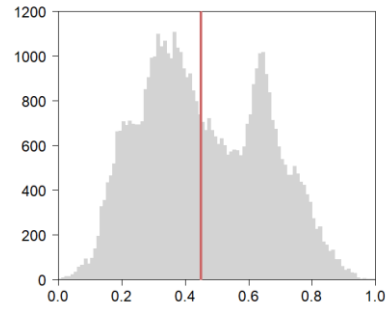
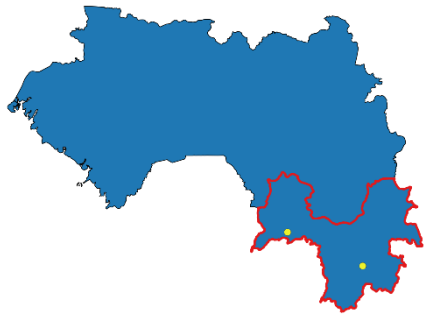
A map of Brittany, France, showing its administrative boundaries. The map is overlaid on a satellite image of the region. The southern part of the map, including the Finistère, Morbihan, and parts of Ille-et-Vilaine and Loire-Atlantique, is highlighted in a light yellow color. The rest of the map is in a light green color.

Merci de votre attention

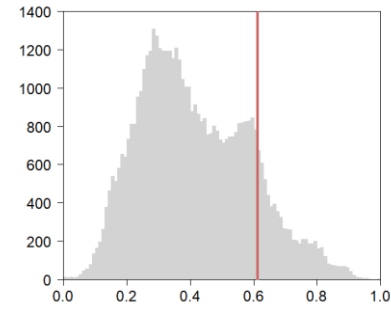
larisa.lee-cruz@inrae.fr
lleecruz@gmail.com

Annexes

Guinée



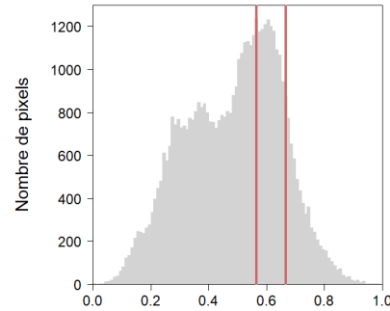
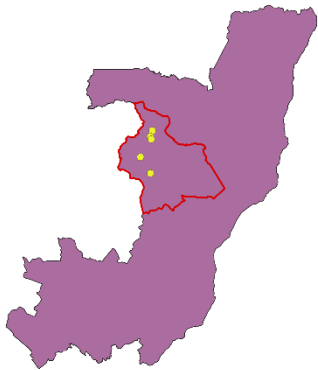
Déc 2013



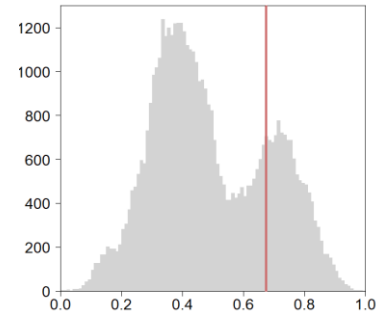
Jan 2021

 Cas d'émergence

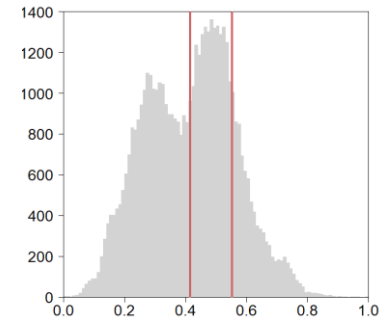
Congo



Déc 2001

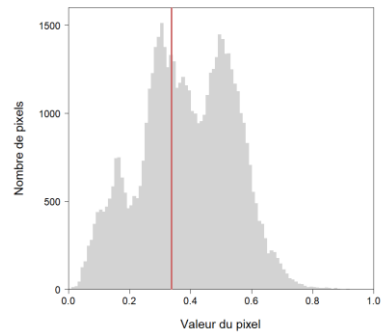
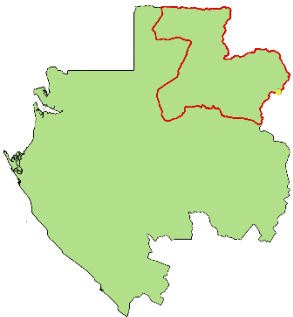


Jan 2003

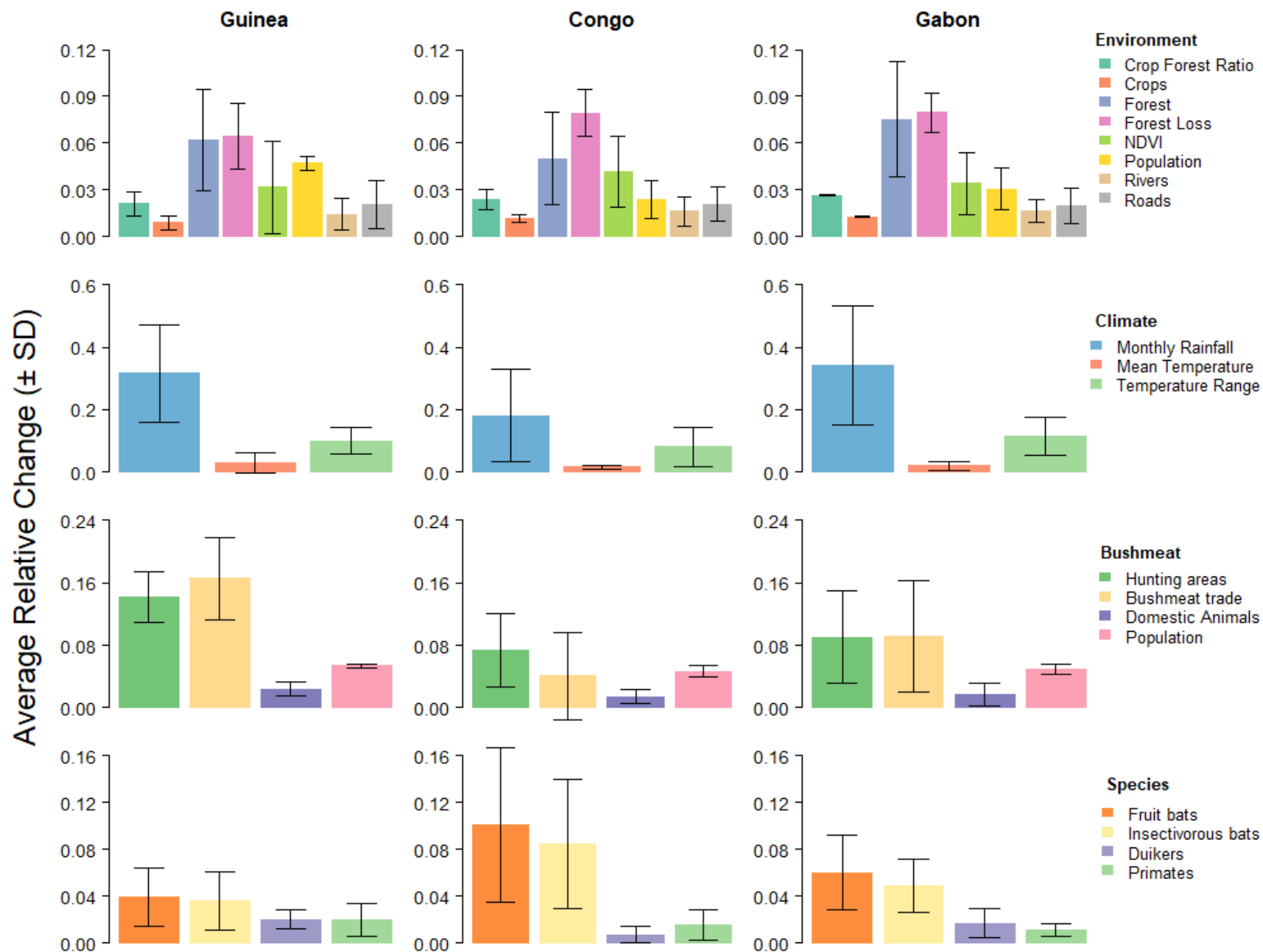


Jun 2003

Gabon

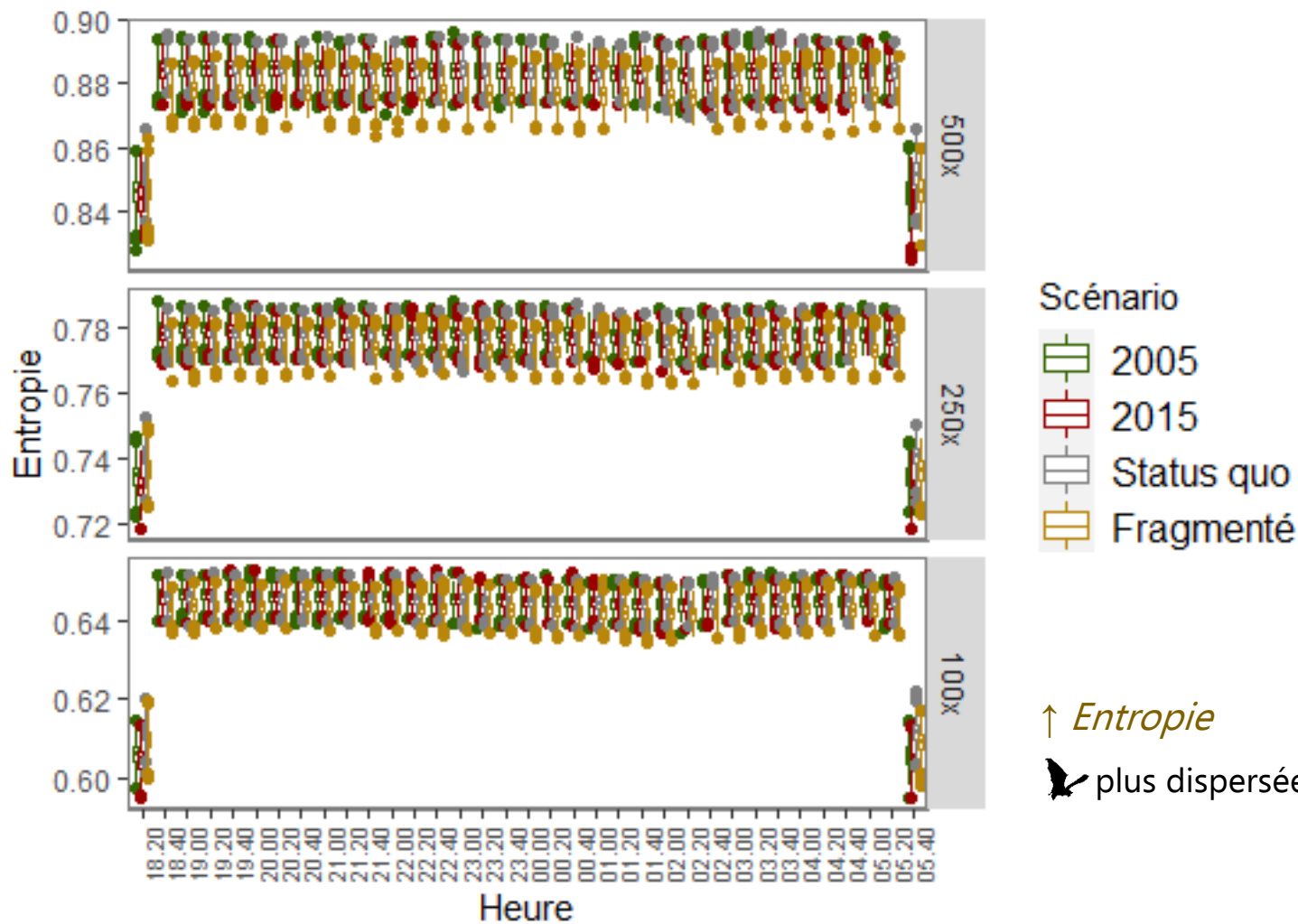


Août 2001



Indicateur de densité: Entropie

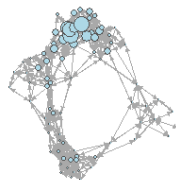
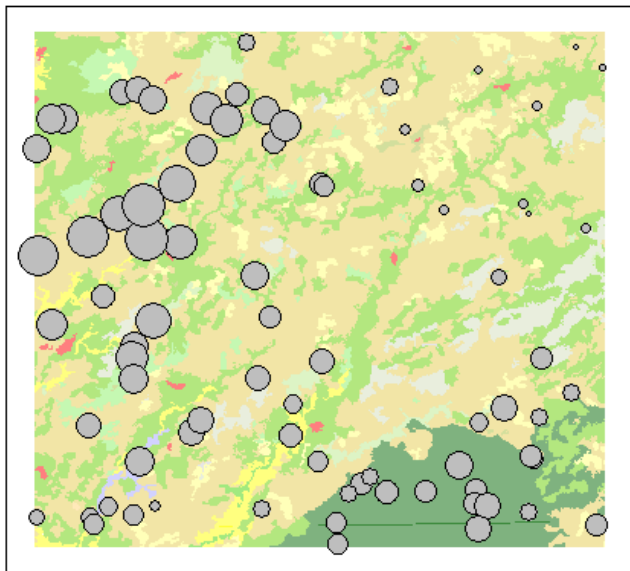
Sites d'alimentation



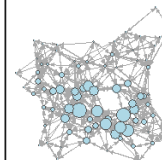
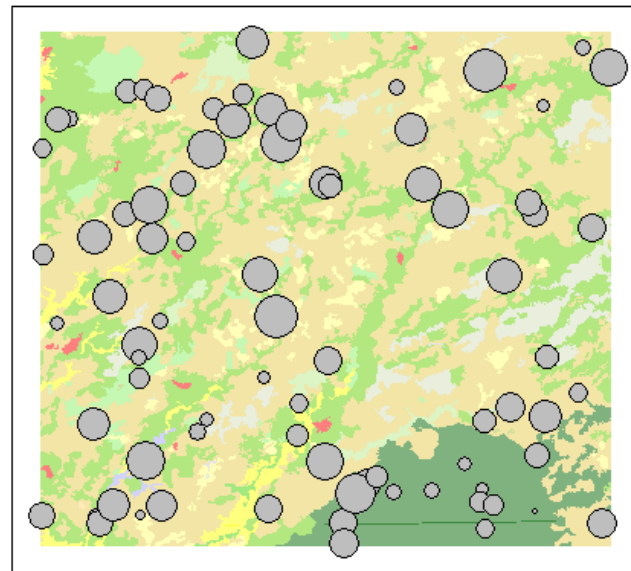
Analyse de réseau

Autorités

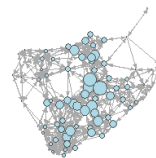
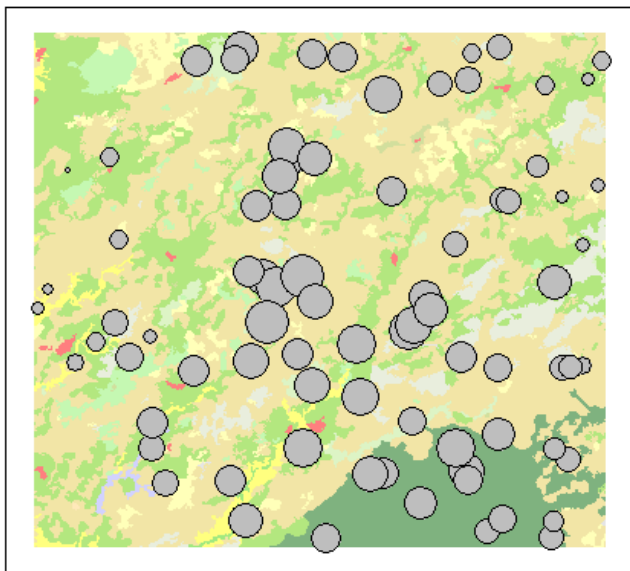
2005



2015



Status quo



Fragmenté

