

Rongeurs invasifs au Sénégal: étude de scénarios d'expansion et retour d'information vers les populations

Laurent Granjon¹, Leyli Borner¹, Christophe Diagne¹, Françoise Duraffour², Jean Le Fur¹, Abba Sonko³, Massamba Thiam⁴, Khalilou Bâ⁵





CERISE: Scénarios d'invasion de rongeurs au Sahel : Impact des changements globaux sur l'expansion de la gerbille nigériane et la souris domestique au Sénégal (2014-2017)

CONTEXTE: La souris domestique (*Mus musculus*) et la gerbille nigériane (*Gerbillus nigeriae*) sont 2 espèces de rongeurs invasives au Sénégal.

→ *M. musculus*, commensale, progresse d'ouest en est en suivant le réseau des agglomérations, infrastructures et transports en développement, et remplace les rongeurs natifs.



→ *G. nigeriae*, non commensale apparue au nord du pays dans les années 80-90, progresse vers le sud en profitant du changement global, et devient l'espèce dominante des communautés de rongeurs locales.



Espèces nuisibles en tant que vecteurs potentiels de pathogènes, déprédateurs des denrées stockées et des cultures

➔ Intérêt de comprendre les modalités de ces invasions, prédire leur extension, et informer sur les processus en cours et leurs conséquences potentielles



1 Constituer une base de données intégrant données d'occurrence des espèces et données environnementales au sens large

Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal:

2 → approche statistique / corrélative (modèles de niche écologique)
→ approche mécanistique (modèles multi-agents)

et faire des prédictions quant à la colonisation de nouvelles localités (*M. musculus*) ou zones agro-écologiques (*G. nigeriae*)

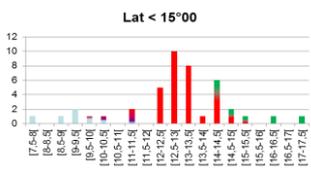
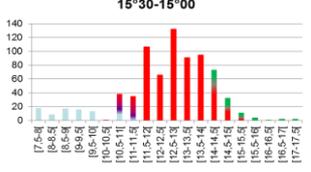
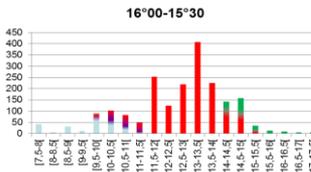
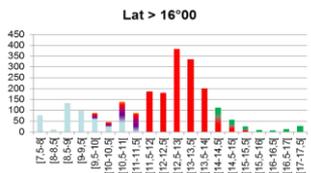
3 Réaliser une validation-terrain des projections des modèles dans des zones non envahies aujourd'hui mais susceptibles de l'être demain

4 Faire un retour d'information / expertise vers les populations / communautés / décideurs concernés par le problème via la dissémination de connaissances sur les espèces, les dommages qu'elles peuvent causer, et l'atténuation de leurs effets négatifs.



Constituer une base de données intégrant données d'occurrence des espèces et données environnementales au sens large

BD « pelotes » : (Ré)-examen de >8000 pelotes de chouette effraie géoréférencées récoltées entre 1989 et 2014 au Sénégal → >20.000 proies dont 3.068 *G. nigeriae*



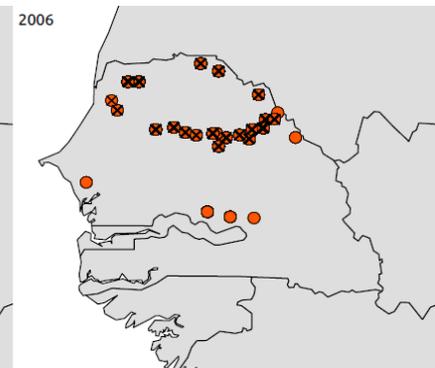
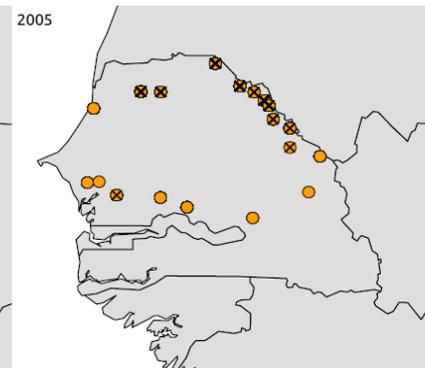
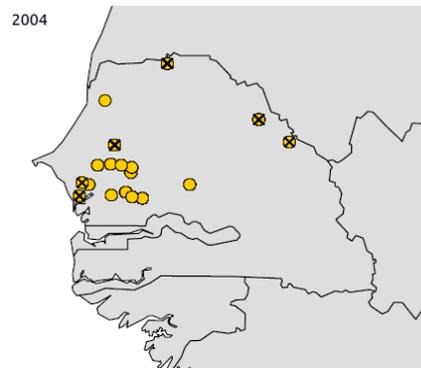
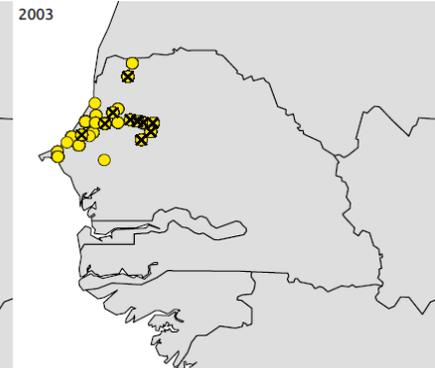
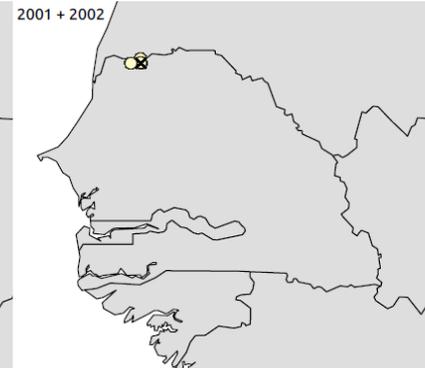
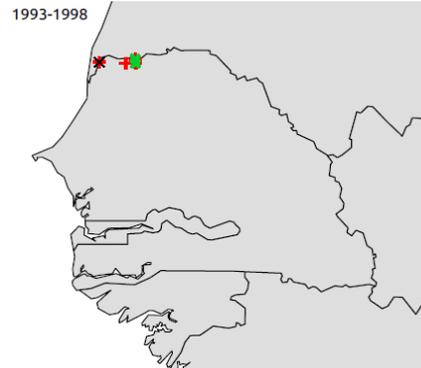
G. nancillus
G. henleyi

G. nigeriae

G. tarabuli

● = lot de pelotes

⊗ = présence de *G. nigeriae* dans pelotes

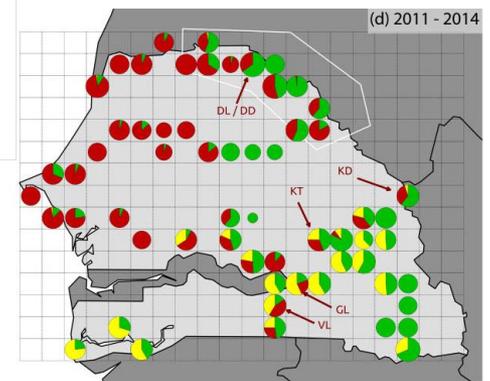
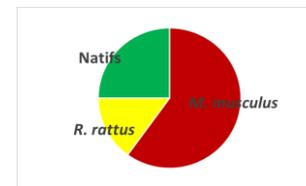
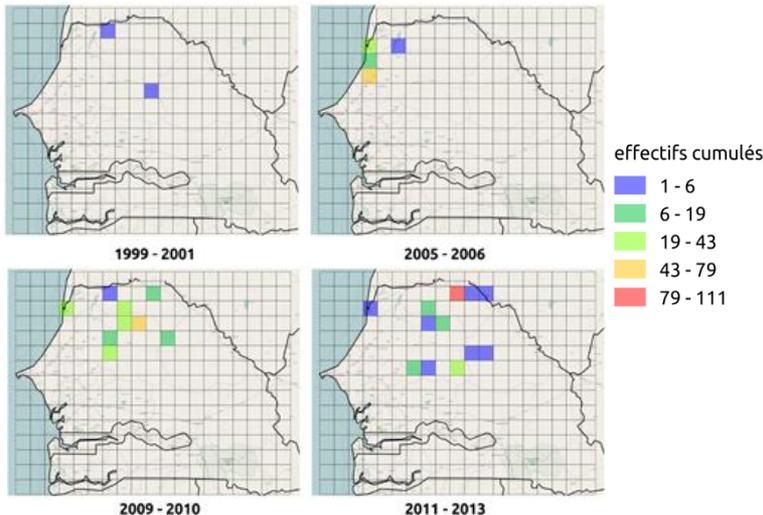
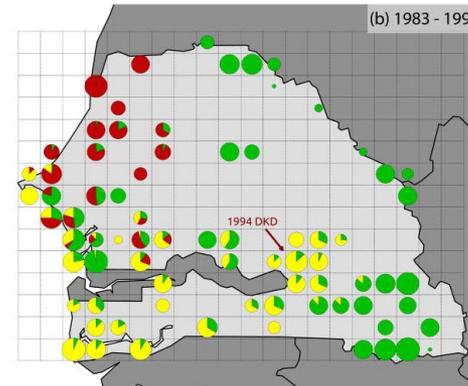
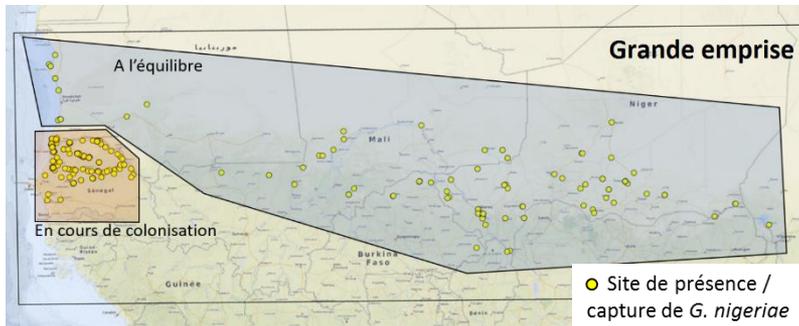




Constituer une base de données intégrant données d'occurrence des espèces et données environnementales au sens large

BD « captures »: *G. nigeriae*: 1209 captures géo-référencées dans la zone sahélienne dont 605 captures au Sénégal entre 1984 et 2014 (cf BPM)

M. musculus: données de captures de μmammifères commensaux dans 700 sites / sessions au Sénégal de 1983 à 2014 cf Dalecky et al. (2015)





Constituer une base de données intégrant données d'occurrence des espèces et données environnementales au sens large

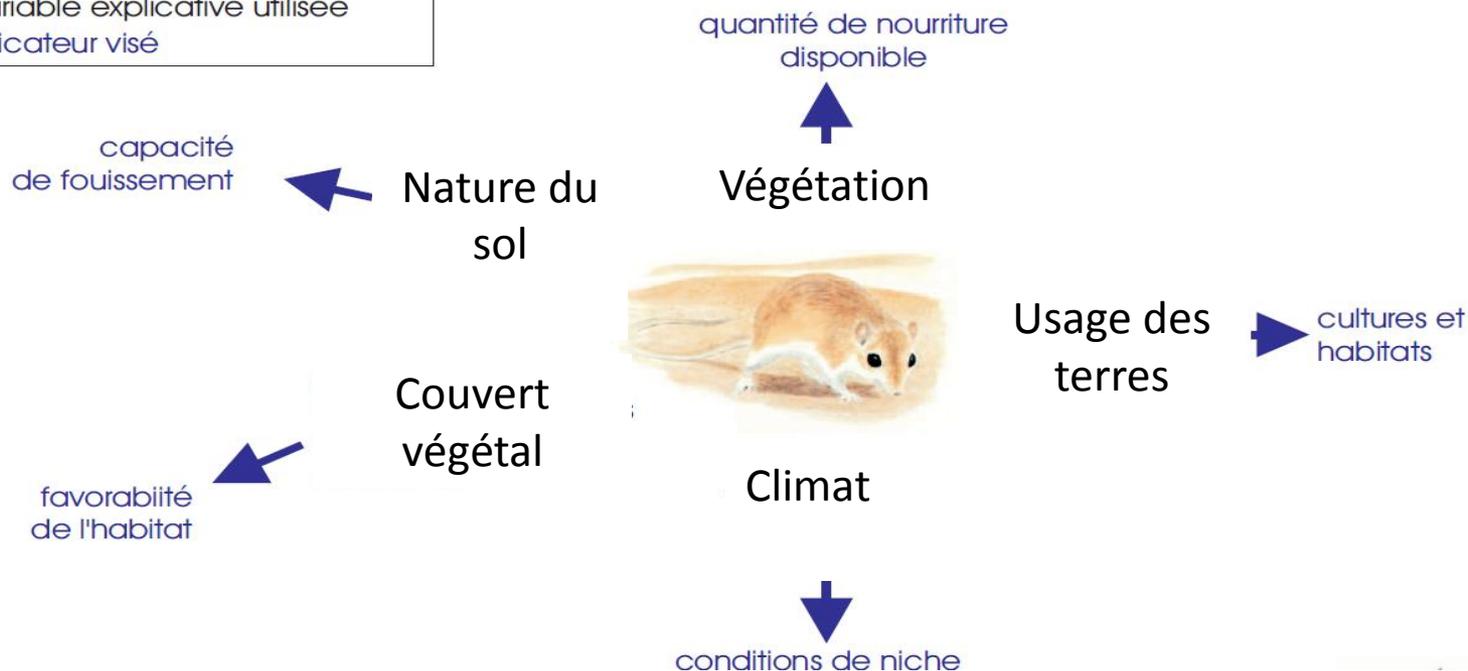
BD environnementales

Sélection des variables environnementales d'extérieur significantes pour *G. nigeriae*



LEGENDE

Forçage environnemental:
i.variable explicative utilisée
indicateur visé



= des sources de données similaires mais pas tout à fait identiques selon le type de modélisation



Constituer une base de données intégrant données d'occurrence des espèces et données environnementales au sens large

BD environnementales

Sélection des variables environnementales d'extérieur significantes pour *G. nigeriae*



1) approche descriptive (modèles de niche écologique)

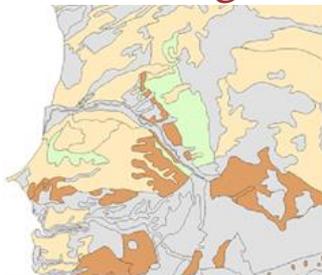
2) Approche mécanistique (modèles multi-agents)

Climat

WorldClim - Global Climate Data
Free climate data for ecological modeling and GIS

BIO₄: Saisonnalité de la T°
(déviatiion standard *100)

Pédologie



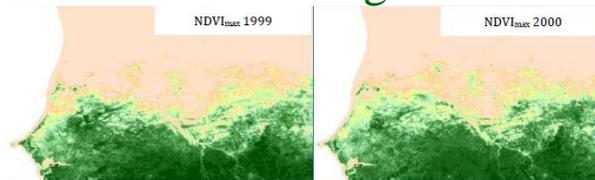
Carte IRD de Boluet et al. (1971)
réinterprétée

Couverture du sol

Classes SYNMAP	Contenu	Classes ME
0	eau	1
1 à 9	arbres	2
10 à 18	arbres / arbustes	3
19 à 24	arbres / herbe (broad)	4
25 à 27	arbres / herbe (broad et needle)	5
28 à 36	arbres / cultures	6
37	arbustes	7
38	arbustes / herbe	8
39	arbustes / cultures	9
40	arbustes / sable	10
41	herbe	11
42	herbe / cultures	12
43	herbe / sable	13
44	culture	14
45	sable	15
46	bât	16

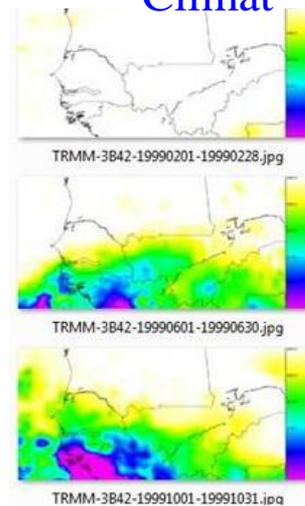
SYNMAP: 48 → 16 classes

Densité de végétation



NDVI (NOAA): 768 images (2/mois de 1983 à 2013)

Climat



= précipitation moyenne mensuelle à maille d'environ 4 km (= 384 fichiers de 01/1983 à 12/2013).

Pédologie

%age de sable couches supérieures du sol (BD SoilGrids à résolution 250m (Hengl et al. 2017))

Fichier de 63071 lignes x 26 colonnes avec données environnementales et de présence/absence de *G. nigeriae* sur grande emprise (maille 8km)

Deux paramètres « fixes » (couverture du sol et pédologie) et deux paramètres variables avec le temps (climat et NDVI)



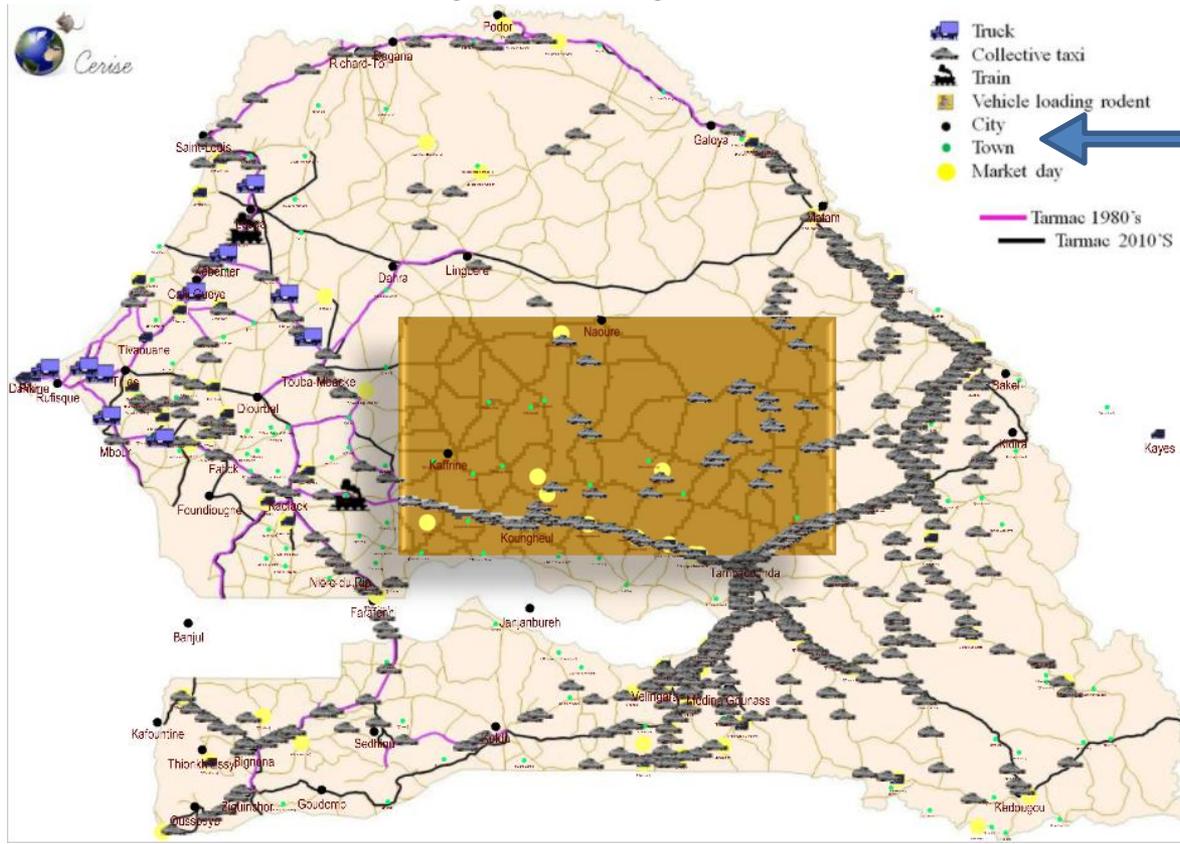
Constituer une base de données intégrant données d'occurrence des espèces et données environnementales au sens large

BD environnementales

Sélection des variables environnementales significantes pour *M. musculus*



MMA échelle « Sénégal »: Adaptation d'un modèle d'expansion du rat noir (*Rattus rattus*) au Sénégal, basé sur la circulation des rongeurs le long du réseau ferré, de routes et de pistes (Mboup et al. 2017)



+ identification et ajout de 215 marchés villageois (loumos) supposés constituer des points névralgiques de la diffusion de la souris par les transports.



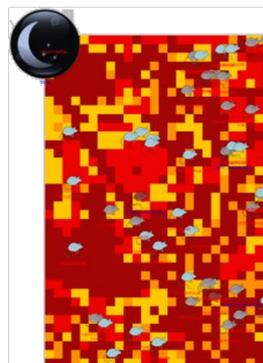
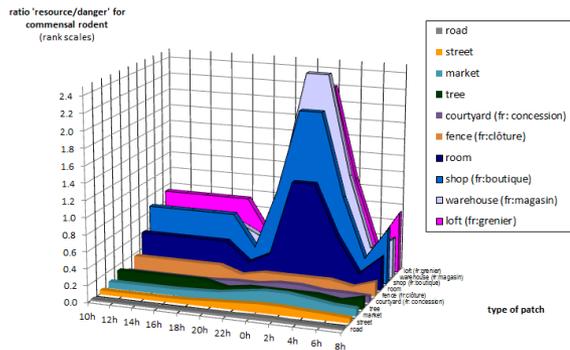
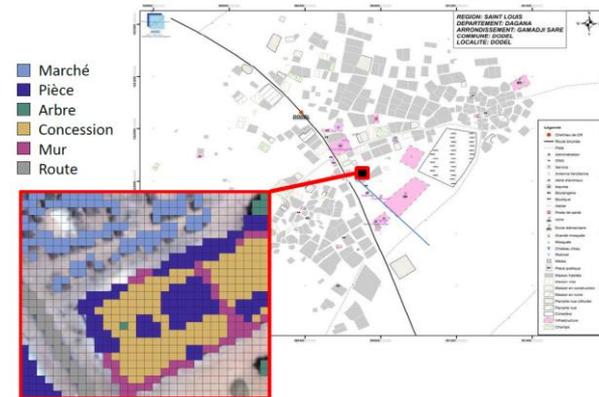
Constituer une base de données intégrant données d'occurrence des espèces et données environnementales au sens large

BD environnementales

Sélection des variables environnementales significantes pour *M. musculus*



MMA échelle locale: Numérisation à une échelle de 3m du site-atelier de Dodel, caractérisation des types d'habitat et identification de l'affinité des rongeurs avec ces types d'habitat et leur niveau de dangerosité pour les rongeurs en fonction des heures de la journée



ratio intérêt/danger des types d'habitat au cours de la journée -----> transcription dans le simulateur



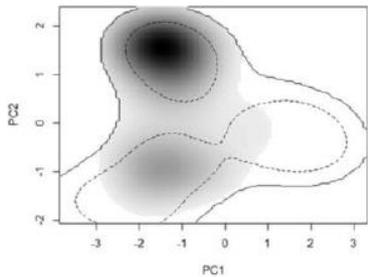
Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

Comparaison des niches écologiques entre aire historique et aire d'invasion (=Sénégal) chez *G. nigeriae*

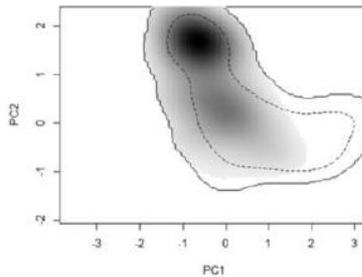


A- Méthode d'ordination, sur données d'observations [Broennimann et al. (2012)]

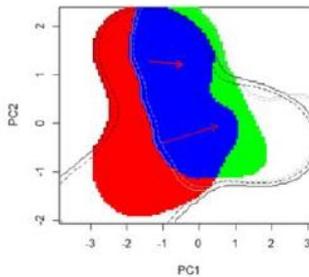
Niche "native"



Niche "invasive"

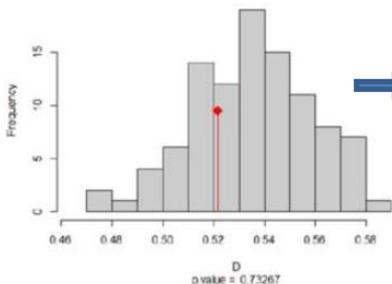


Recouvrement de niche



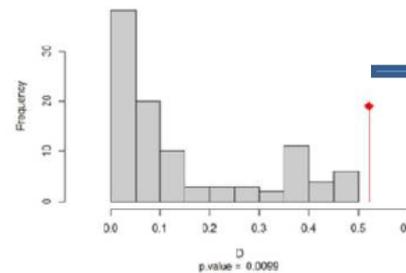
- *découverte de niche (41%)*
- *stabilité de niche (88%)*
- *expansion de niche (12%)*

Equivalence



Les deux niches sont équivalentes

Similarité



l'espèce occupe des habitats dans ses deux distributions plus similaires qu'attendu par hasard



Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

Comparaison des niches écologiques entre aire historique et aire d'invasion (=Sénégal) chez *G. nigeriae*



B- Modèles de distribution d'espèces

Basés sur la distribution spatiale des probabilités de présence, ici calculées via un modèle généralisé additif avec distribution binômiale (logiciel biomod2).

➡ Test de l'hypothèse d'expansion d'aire de distribution par construction:

i) d'un modèle basé sur les données de l'aire d'invasion (86 présences, 200 absences et 4.354 points sans données) et

ii) d'un modèle basé sur les données de l'aire historique (73 présences, 264 absences et 57.960 N/A).

→ Utilisation du modèle calibré sur l'aire historique projeté sur l'aire en cours d'invasion (i.e. le Sénégal), et comparaison des probabilités de présence de l'espèce sur l'aire en cours de colonisation pour les 2 modèles

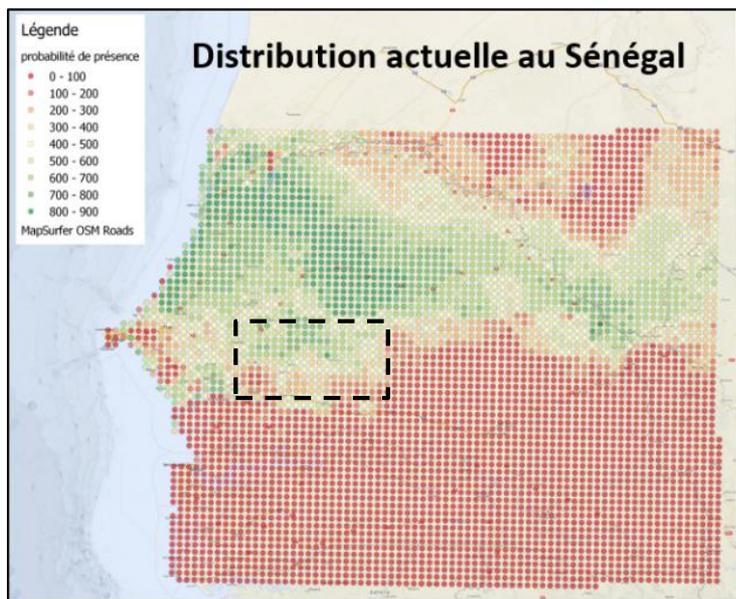


Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

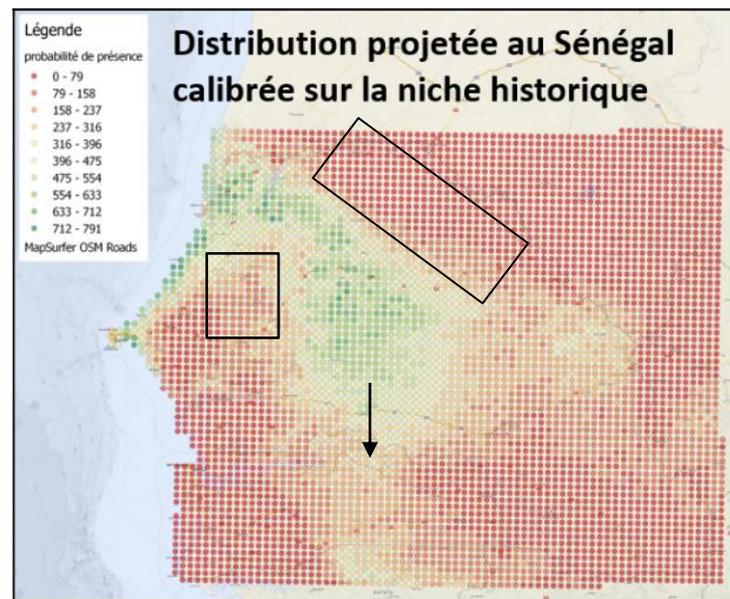
Comparaison des niches écologiques entre aire historique et aire d'invasion (=Sénégal) chez *G. nigeriae*



B- Modèles de distribution d'espèces



Assez bonne représentation de la distribution actuelle, avec extension vers le centre-sud



Des lacunes % distribution actuelle, avec forte extension vers le centre-sud

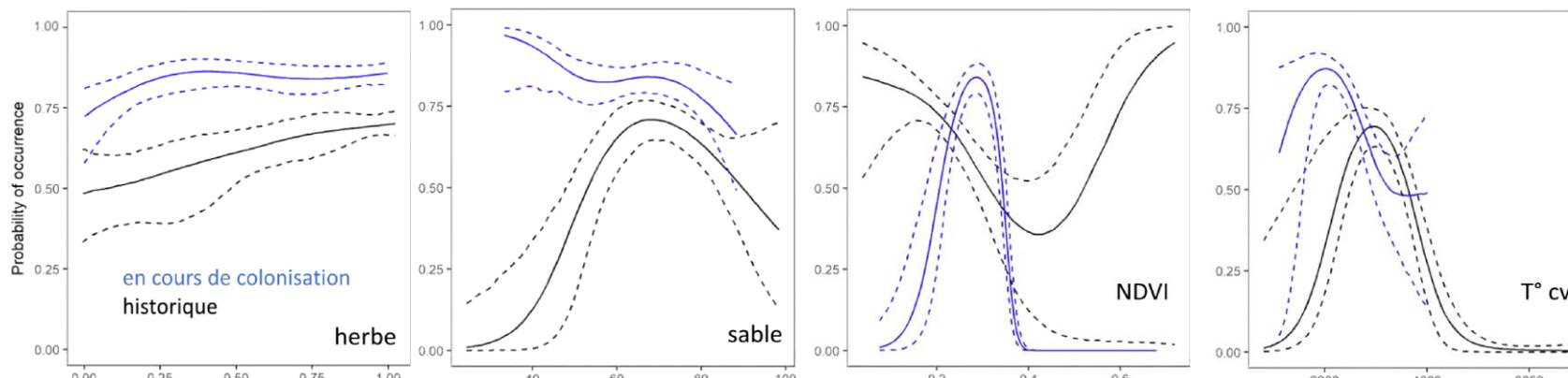


Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

Comparaison des niches écologiques entre aire historique et aire d'invasion (=Sénégal) chez *G. nigeriae*



B- Modèles de distribution d'espèces



+/- différences dans les gradients environnementaux utilisés par l'espèce entre aire historique et aire en cours de colonisation

<-> Différences réelles d'occupation de l'habitat entre les 2 aires / biais liés à la taille des pixels (8 x 8km)?

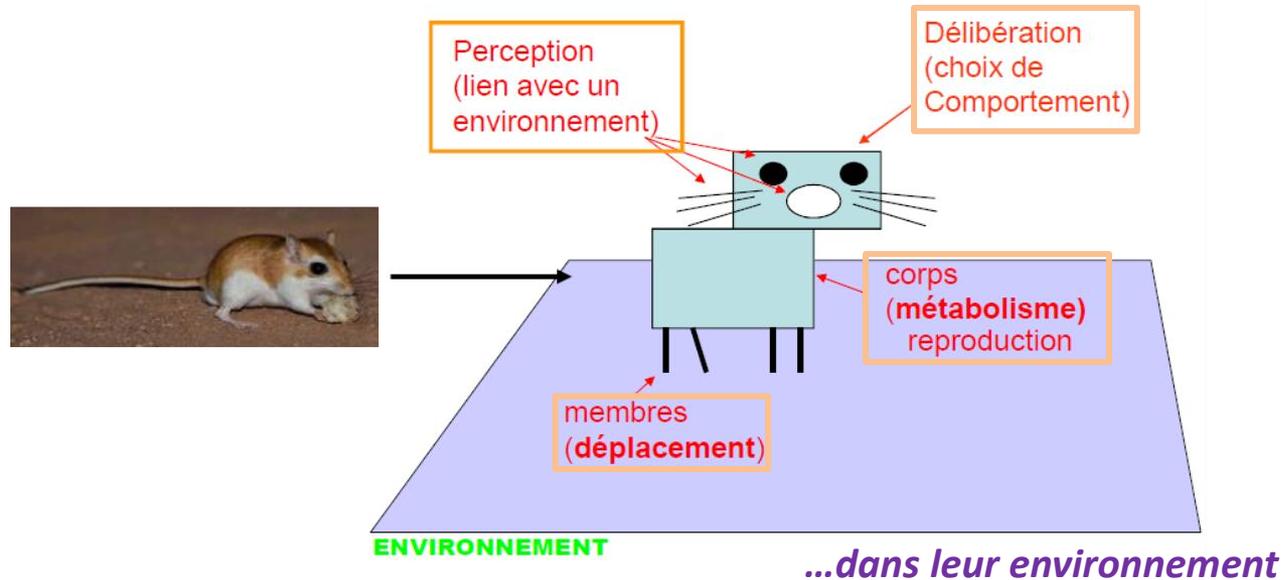
Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal



Modélisation multi-agents de l'invasion du Sénégal par *G. nigeriae*



Représentation des individus (=agents)...



Possibilité de considérer comme agents de petits groupes d'individus dotés de propriétés et de perceptions



Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

Modélisation multi-agents de l'invasion du Sénégal par *G. nigeriae*



Propriétés et perceptions des agents « populations de *G. nigeriae* »

- Taux de survie mensuel: entre 0,70 et 0,85 (pas de 0,2)
- Taux de reproduction (nombre de petits par portée): entre 3 et 5 (pas de 0,2)
- %age de femelles gestantes conditionné à la pluviométrie (Nomao 2002, BPM)
- %age de propagules (= fraction dispersante des jAd / population): 0,10 à 0,50
- Distance parcourue par les propagules dispersantes: entre 2.800m et 4.500m par mois (pas de 200m)
- Reconnaissance d'un habitat favorable* (→ installation et dvpt d'une nvelle pop.)

* habitat favorable (i.e. celui sur lequel une population peut se développer à partir de dispersants) défini sur la base de la distribution des points d'occurrence des gerbilles au Sénégal, comme cellule (4x4km):

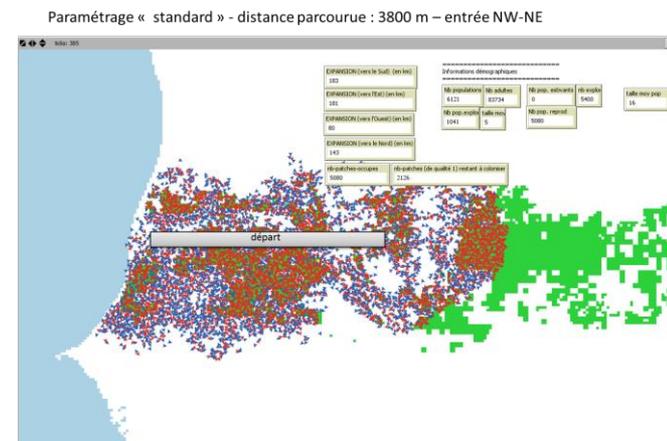
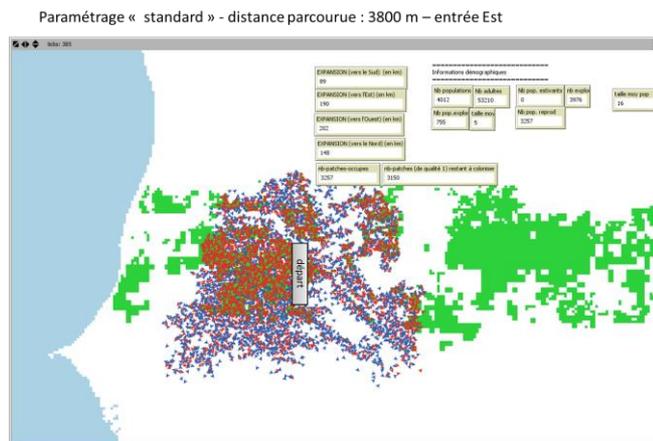
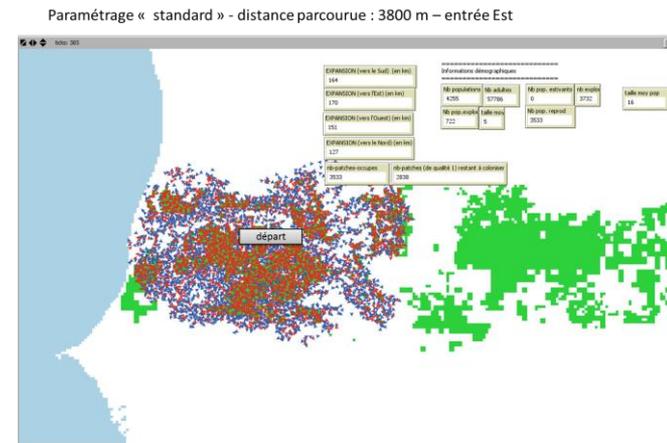
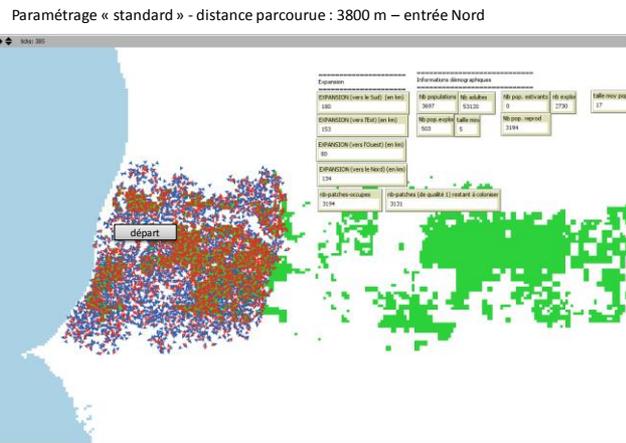
- ✓ à NDVI compris entre 0,19 et 0,24 en saison sèche,
- ✓ à caractéristiques pédologiques sableuses,
- ✓ à couverture végétale avec présence d'herbe.

+ critère « populations de départ », fixé à 10 populations de 10 individus chacune réparties le long d'une ligne en rive gauche du fleuve Sénégal en août 82



Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

Modélisation multi-agents de l'invasion du Sénégal par *G. nigeriae*

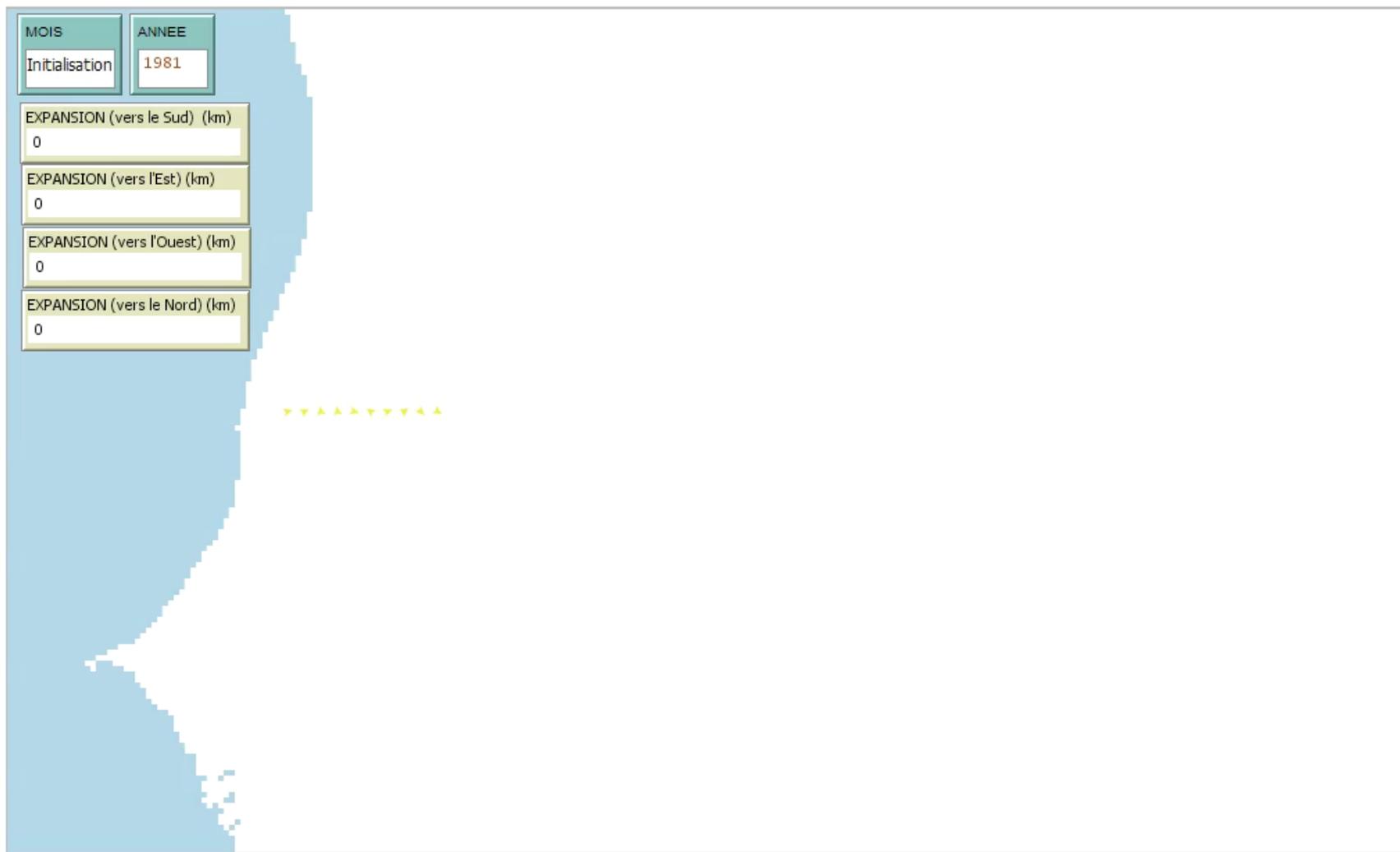


Paramétrage « standard »

- 50% des propagules dispersantes
- taux de survie mensuel = 0,75
- taille de portée = 3,7
- distance de dispersion mensuelle des propagules = 3800m
- 4 scénarios d'« entrée » différents



Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal





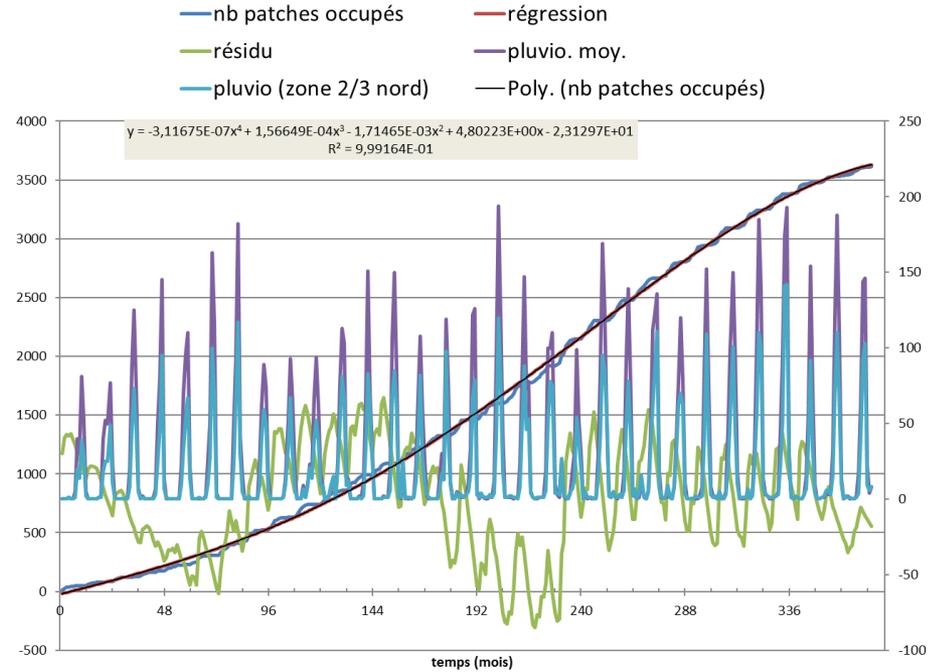
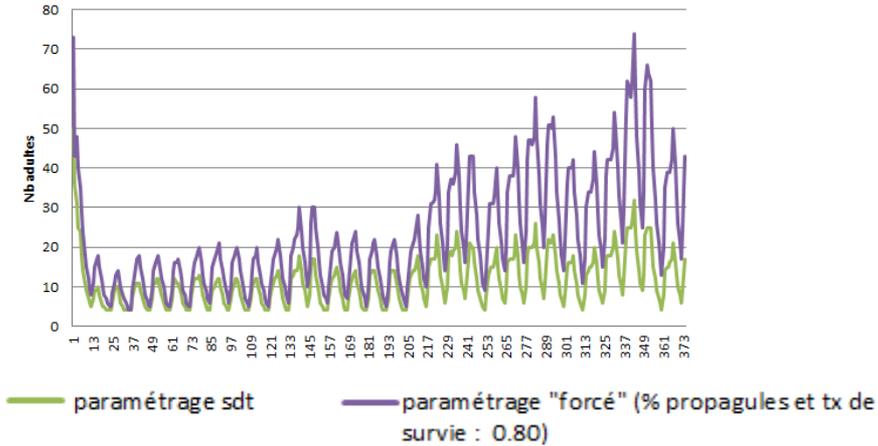
Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

Modélisation multi-agents de l'invasion du Sénégal par *G. nigeriae*



Exemples de sorties du modèles

Taille moyenne des populations





Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

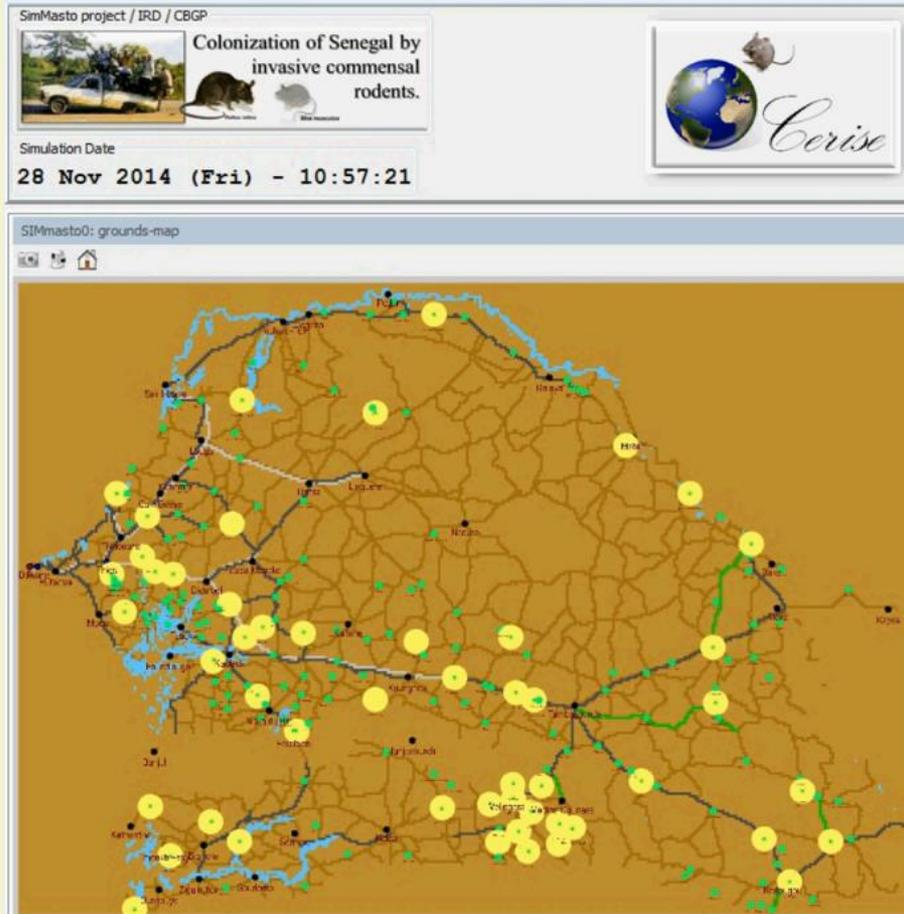
Modélisation multi-agents de l'invasion du Sénégal par *Mus musculus*



1/7

Manual census
then
simulation of
weekly market
days (*loumos*)
in Senegal

 Market day



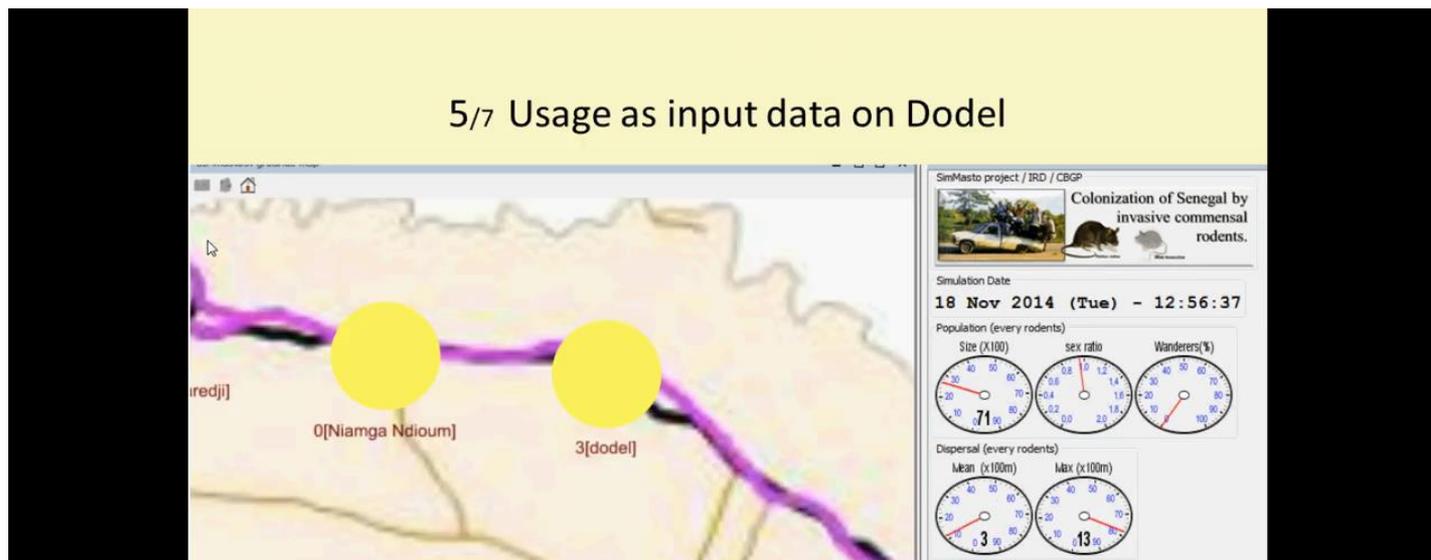


Développer des modèles spatialement explicites de l'expansion de *Mus musculus* et *Gerbillus nigeriae* au Sénégal

Modélisation multi-agents de la colonisation d'un village-type du nord Sénégal, Dodel, par *Mus musculus*



Travail en cours, inclut dans la thèse de Moussa Sall: *Modélisation intégrée des conditions de propagation et de transmission de zoonoses induites par les rongeurs nouvellement invasifs en milieu rural au Sénégal*



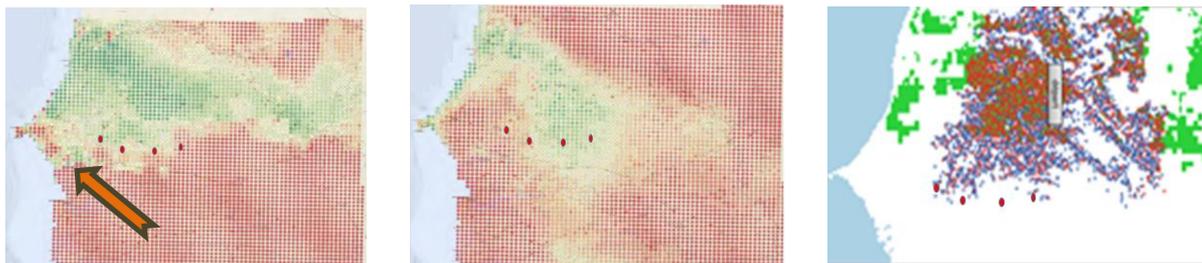
Composante 2 - Modélisation informatique des conditions de propagation et de transmission de zoonoses induites par les rongeurs nouvellement [J.-M. Dembélé (UGB-SAT) & J. Le Fur (IRD-CBGP)]

Modélisation mathématique et informatique en Epidémiologie
Etudes de cas de transmissions vectorielle et non vectorielle
[Pr. O. Diallo (Univ. Bamako) – 2017
2019]

Réaliser une validation-terrain des projections des modèles



● localités échantillonnées pour valider la limite sud de *G. nigeriae*

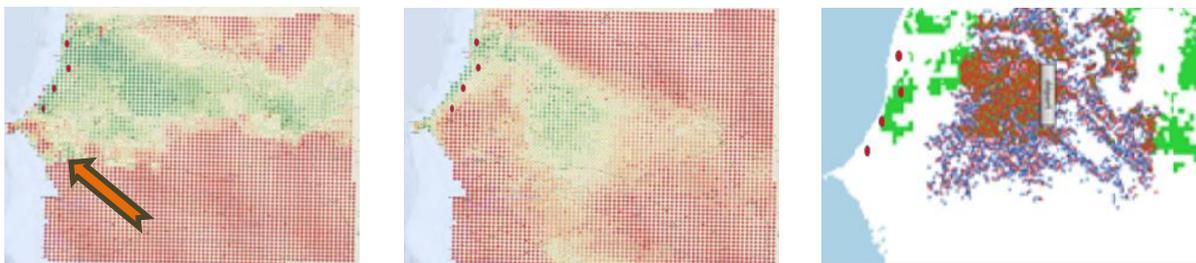


Chez *G. nigeriae*



➔ Septembre 2016:
G. nigeriae absente de ces 4 sites

● localités échantillonnées pour valider la limite ouest de *G. nigeriae*



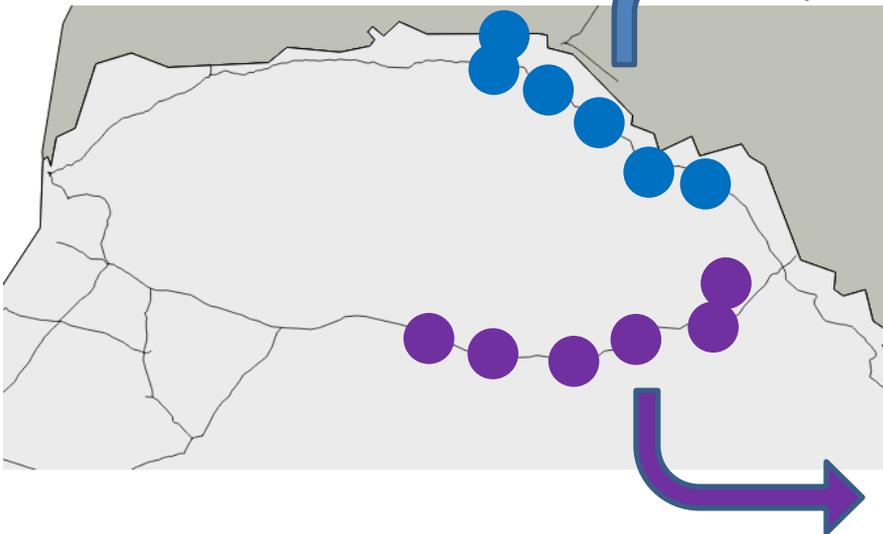
➔ Octobre-novembre 2017:
G. nigeriae présente sur les 3
sites les plus au nord

- ➔
- Limite sud de *G. nigeriae* au Sénégal au nord de 14°30'N (probablement vers 15°N)
 - Présente depuis la côte jusqu'à l'extrême Est
 - Cas particulier du Saloum à élucider

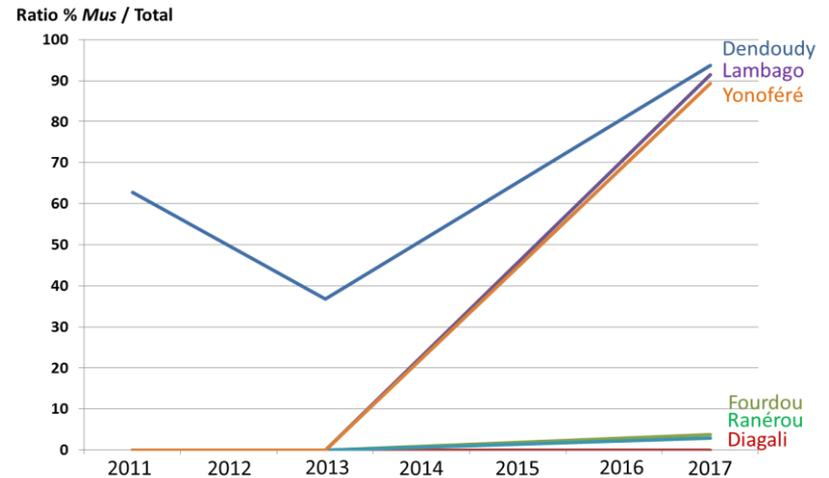
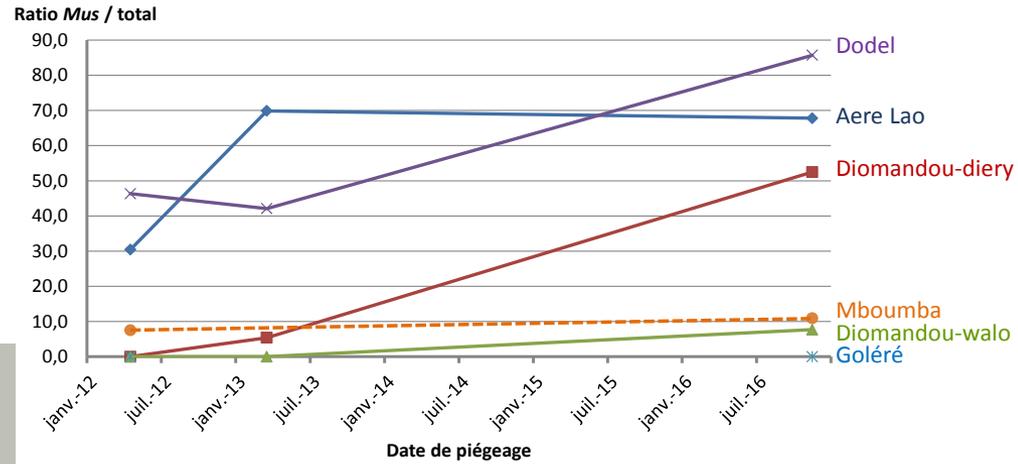


Réaliser une validation-terrain des projections des modèles

Evolution du ratio nombre de *Mus musculus* / Nombre total de petits mammifères commensaux (x100) depuis 2011



Chez *M. musculus*





Faire un retour d'information / expertise vers les populations / communautés / décideurs

Merci de votre attention ...

...et place au film

