

Science des géodonnées pour la lutte contre le paludisme en milieu rural ouest-africain : expliquer et prédire l'abondance des vecteurs à échelle opérationnelle

Paul Taconet
paul.taconet@ird.fr



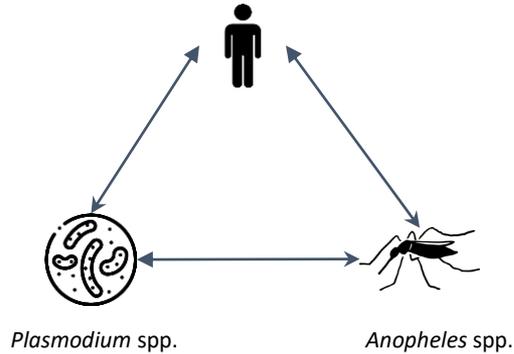
ATELIER THÉMATIQUE THEIA | 15 NOVEMBRE 2022

TÉLÉDÉTECTION,
RISQUES & MALADIES INFECTIEUSES



INITIATIVE 5%
SIDA, TUBERCULOSE, PALUDISME

Le paludisme



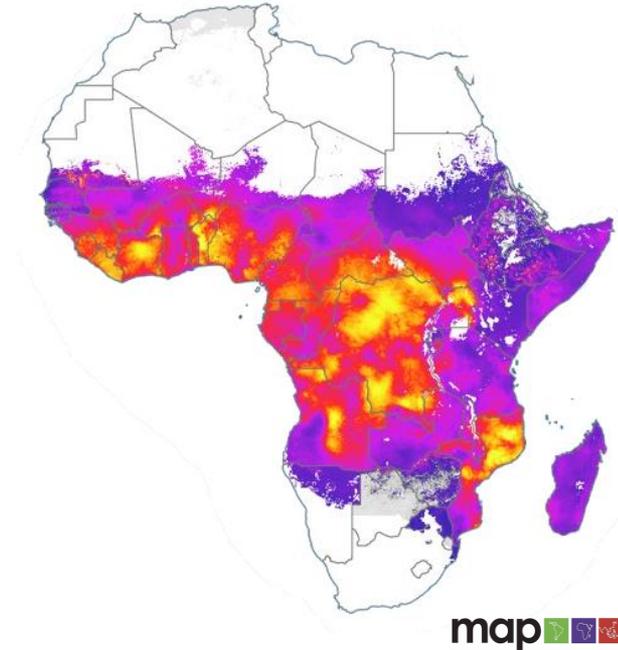
Le paludisme en 2020 :

- 95% des cas mondiaux en Afrique sub-saharienne
- ~ 200 millions de cas
- ~ 600 000 victimes
- 77 % sont des enfants < de 5 ans

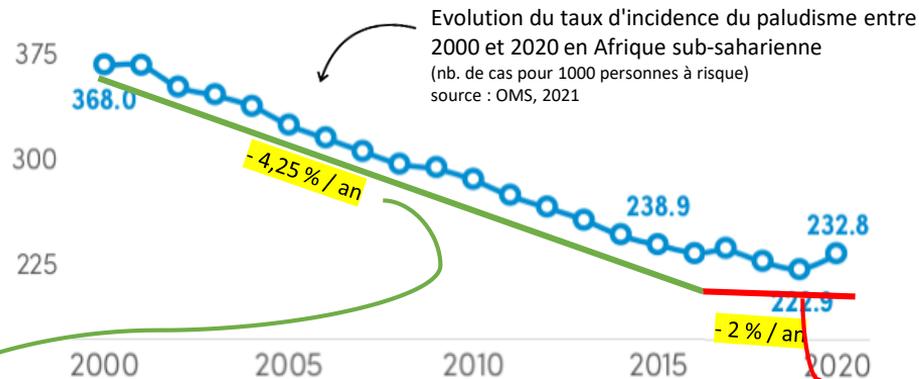
Source : OMS, 2021

Incidence du paludisme en Afrique (2019)

(nb. cas / 1000 personnes) 0 0 5 10 175 350 525 >700



Une évolution encourageante ... puis inquiétante



Généralisation de la lutte anti-vectorielle (LAV)



> Moustiquaires imprégnées d'insecticides



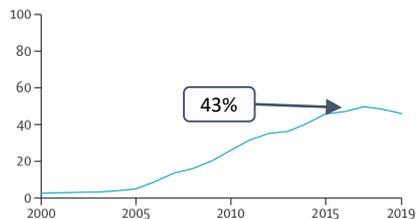
> Pulvérisations intra-domiciliaires d'insecticides



Limites et effets indésirables de la lutte anti-vectorielle

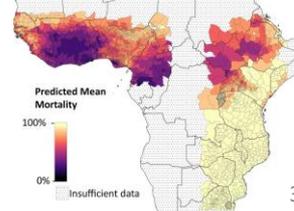
> Taux de possession et utilisation des outils de LAV

% utilisateurs de moustiquaires en Afrique (OMS, 2021)



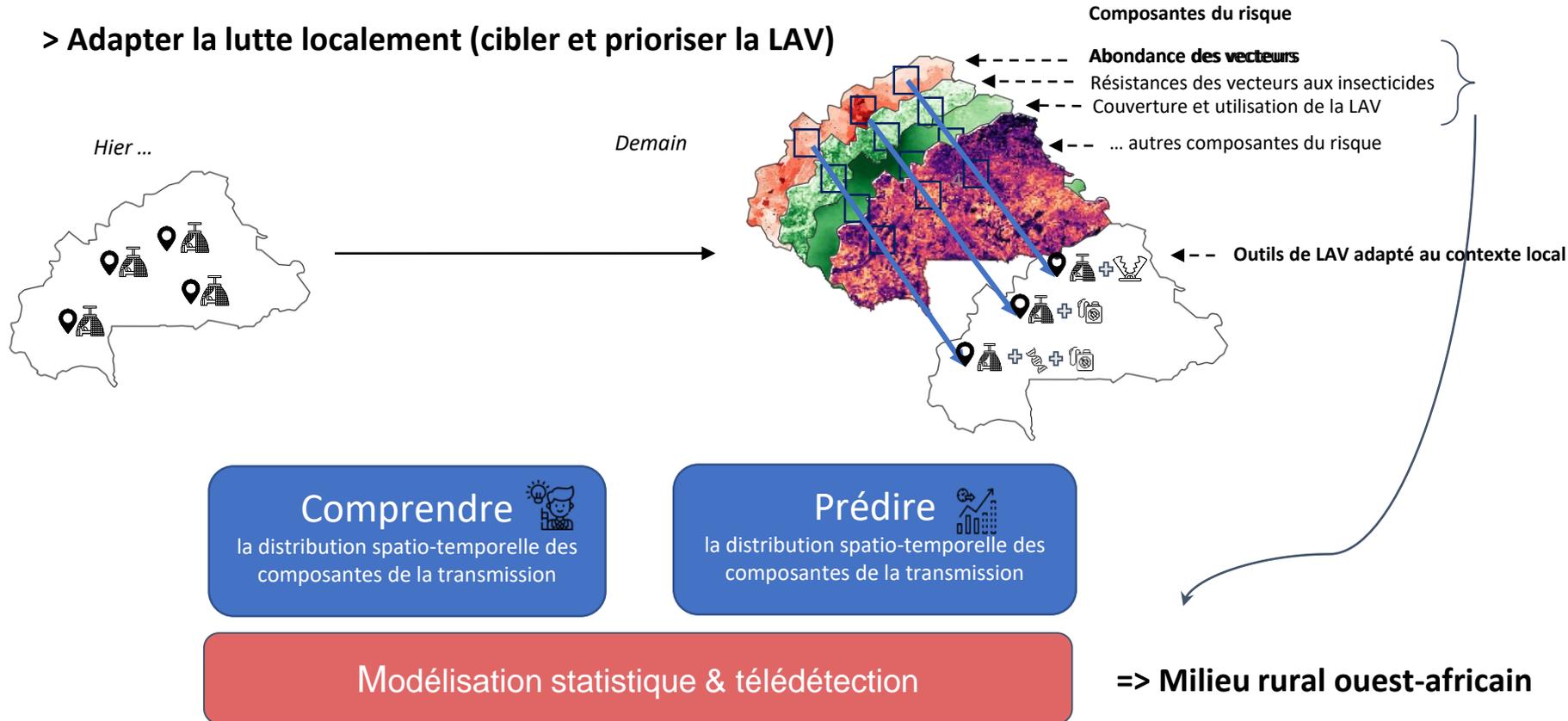
> Résistances des vecteurs aux insecticides utilisés dans la LAV

% survie des vecteurs aux insecticides utilisés dans la LAV (Moyes et al., 2020)



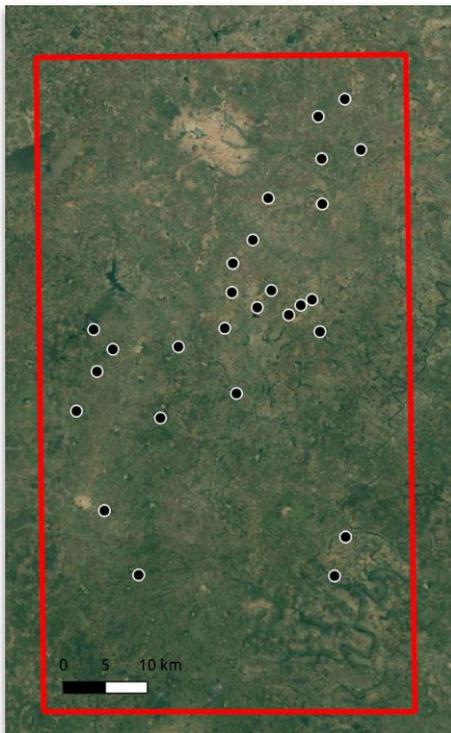
Comment redynamiser le progrès ?

> Adapter la lutte localement (cibler et prioriser la LAV)

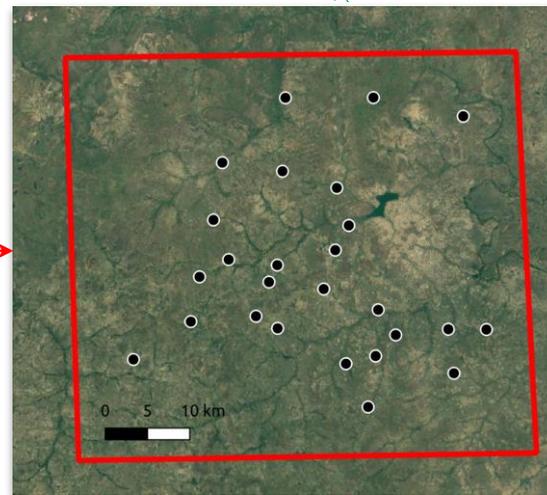


Zones d'études

Zone de Korhogo (CI)



Zone de Diébougou (BF)



2016

2017

2018



● Villages sélectionnés

■ Collecte de données

Projet REACT



Données entomologiques recueillies

Capture sur sujet humain

>> Zone de Korhogo (CI)



8 sessions de collecte, 28 villages

>> 1728 nuit-homme de CSH



17h à 9h

>> Zone de Diébougou (BF)



7 sessions de collecte, 28 villages

>> 1512 nuit-homme de CSH

>> 22 000 heures de captures

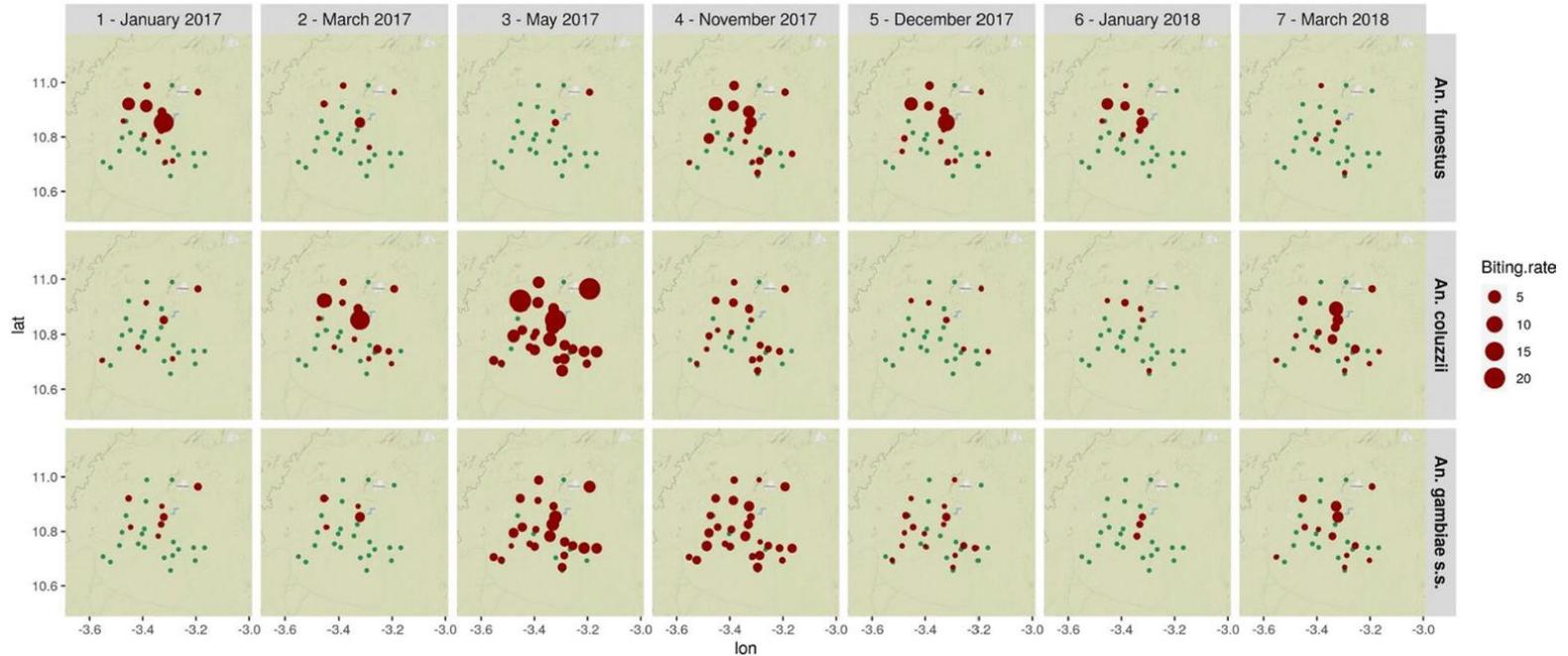
>>

Variables statistiques à expliquer / prédire :

>>

- **Présence** des vecteurs au cours des nuits-homme de capture
- **Abondance** des vecteurs au cours des nuits-homme de capture **positives**

Distribution spatio-temporelle des densités agressives des anophèles (zone de Diébougou, BF)

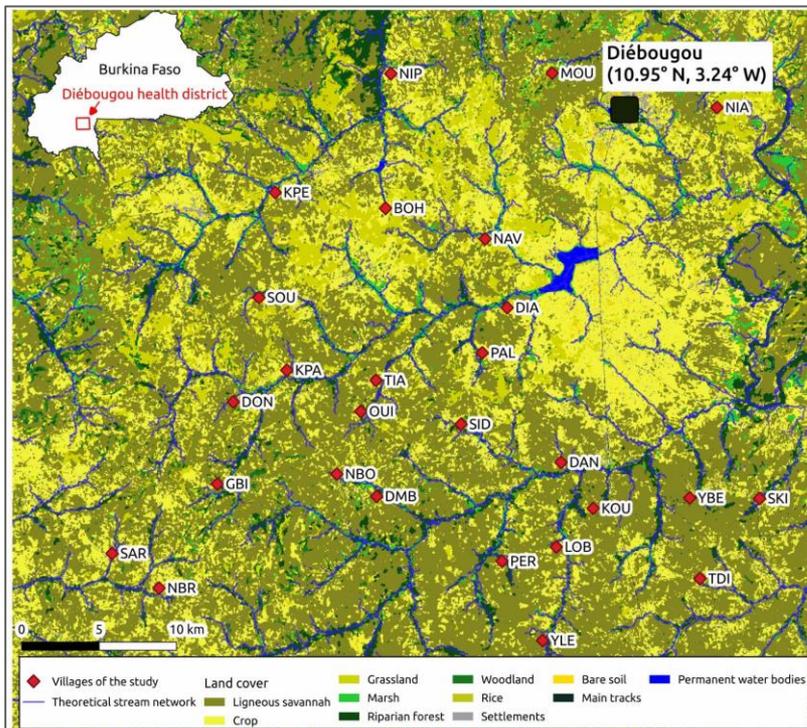


Données paysagères

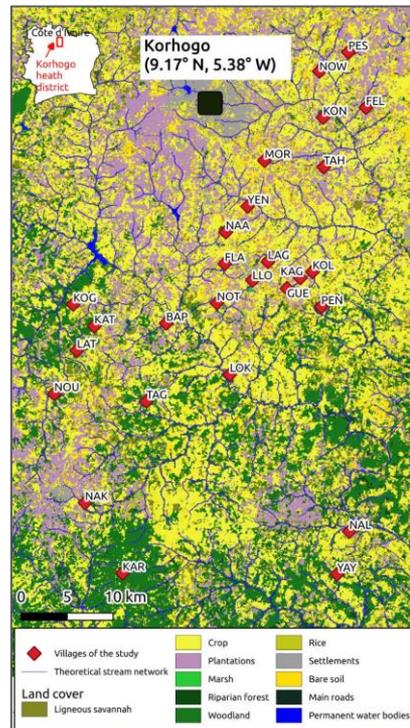
> Production de **cartes d'occupation sol** à 1.5 m de résolution spatiale par classification supervisée orientée objet d'images satellitaires multisource et multiéchelle (Spot 6, Sentinel 2, SRTM DEM)

> **Réseau hydrographique théorique** (source : SRTM DEM)

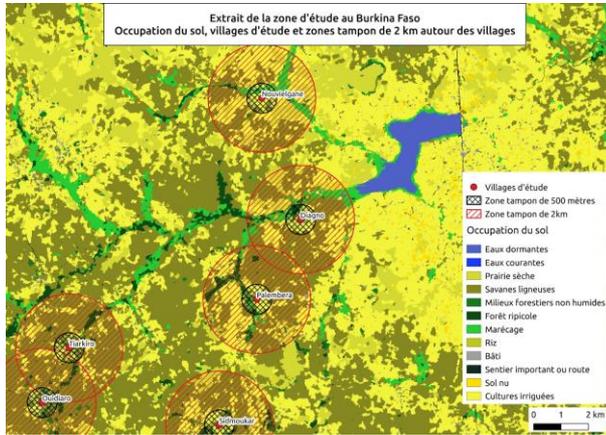
Zone de Diébougou (BF)



Zone de Korhogo (CI)



Préparation des variables explicatives **paysagères**



- % d'occupation du sol utilisé par chaque classe d'occ. du sol dans 4 zones tampon autour des points de capture (R = 250 m, 500 m, 1 km, 2 km)

=> **30 variables**



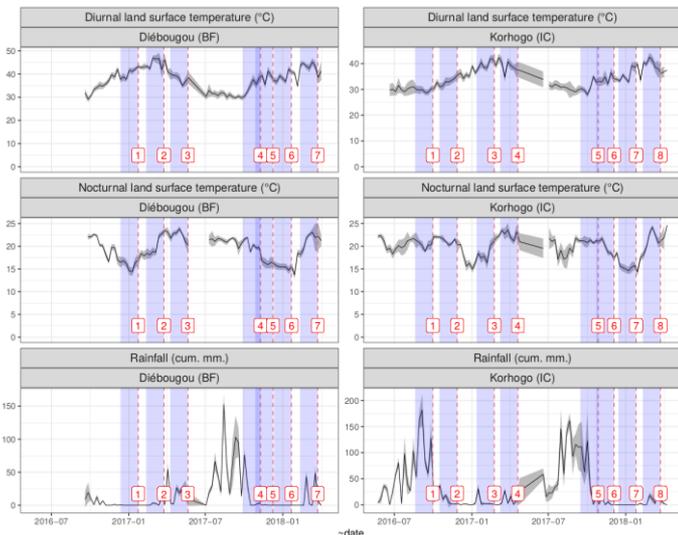
- Distance des points de capture au réseau hydrographique
- Longueur du réseau hydrographique dans les zones tampon

=> **2 variables**

Données météorologiques

Sur les 42 jours précédant la capture, au pas de temps quotidien, extraction de :

- > **Températures maximum** (MODIS LST Day) (res. : 1 km)
- > **Températures minimum** (MODIS LST Night) (res. : 1 km)
- > **Précipitations** (GPM) (res. : 10 km)

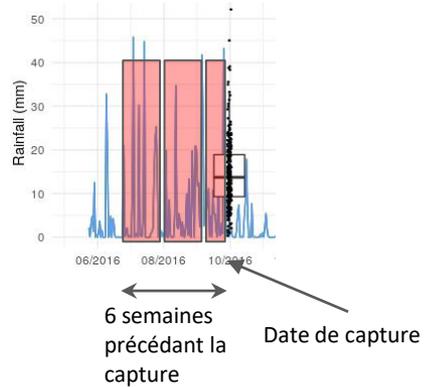


*Fast Download of many Earth
Observation Data in R using the
OPeNDAP Capacities*

<https://github.com/ptaconet/opepdapr>

opepdapr uses the abilities offered by the OPeNDAP to download a subset of data cube, along spatial, temporal or any other data dimension

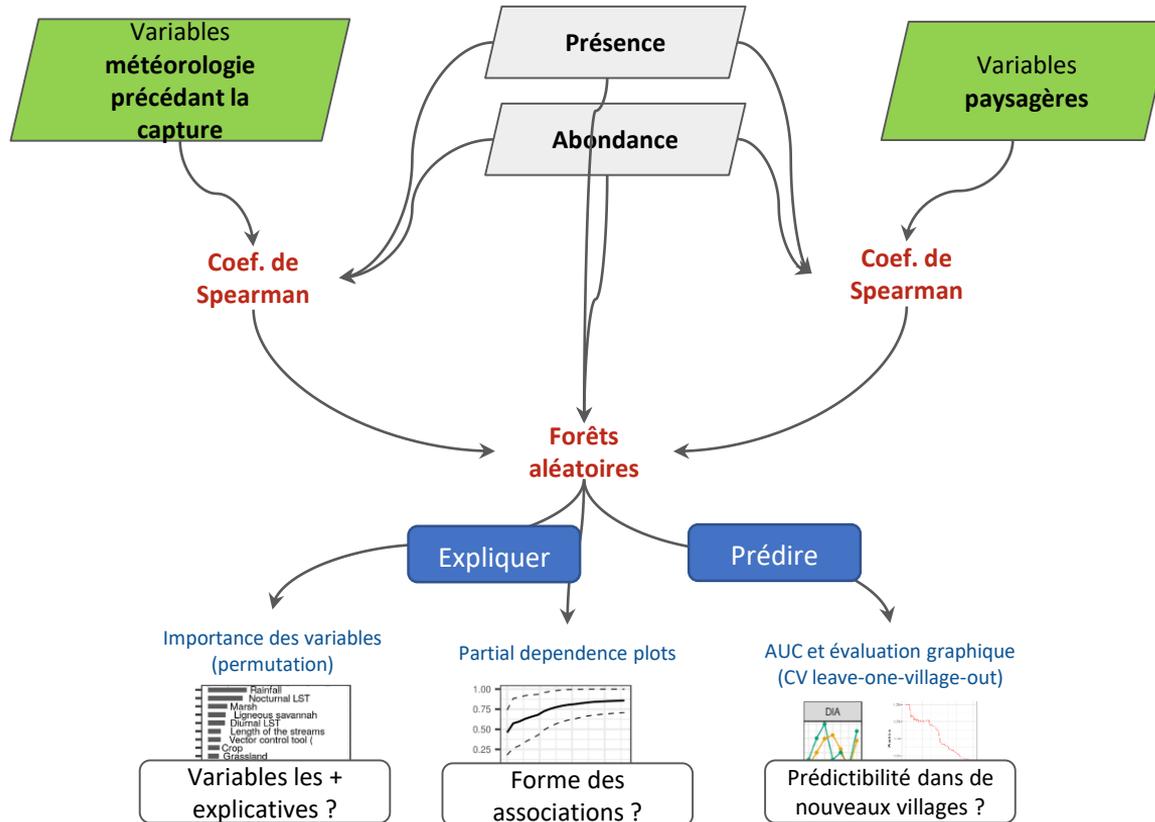
Préparation des variables explicatives **météorologiques**



- Agrégation à la semaine, puis :
- Calcul de la somme ou moyenne dans tous les intervalles de temps hebdomadaires possibles entre les captures et 6 semaines (42 jours) avant les captures

=> **63 variables**

Plan d'analyse des données



Approche science ouverte

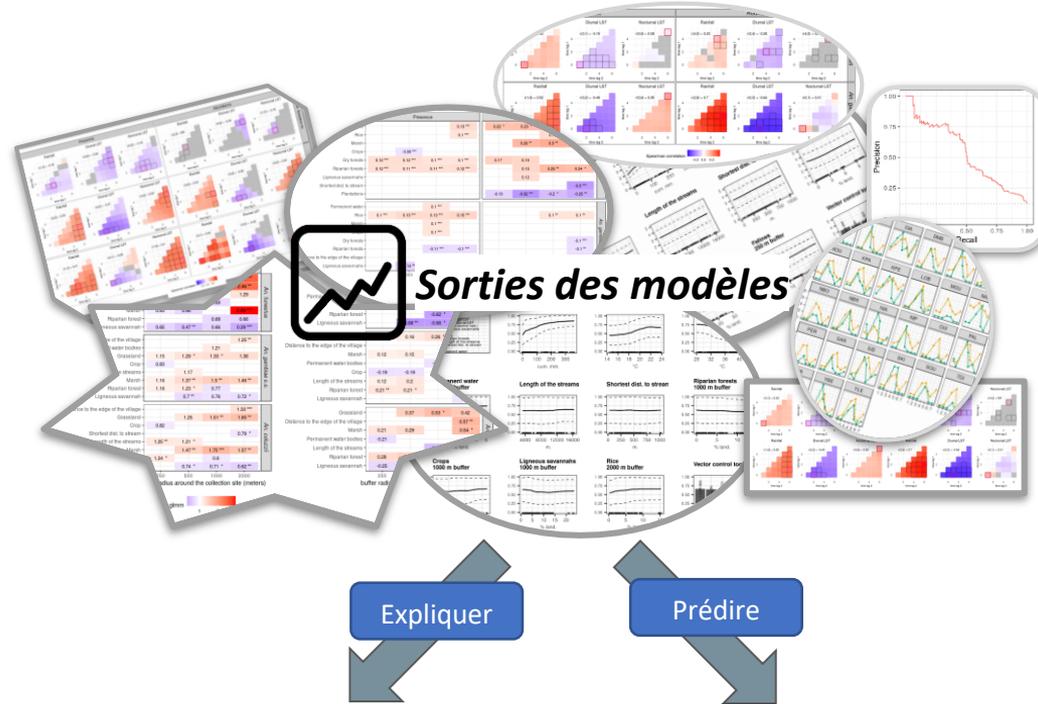
> Ensemble des traitements de données (classification occ. sol, extraction des données satellitaires, transformation, modélisation, visualisation, etc.) scriptés en 

> Codes ouverts, (en partie) décrits, (en partie) reproductibles

> L'ensemble des logiciels utilisés libres et ouverts (*Free and Open Source*)



Résultats



Hypothèses sur la niche écologique des vecteurs



Prédictibilité spatio-temporelle des densités agressives des vecteurs



Data-driven and interpretable machine-learning modeling to explore the fine-scale environmental determinants of malaria vectors biting rates in rural Burkina Faso

Paul Taconet^{1,2*}, Angélique Porciani¹, Dieudonné Diloma Soma^{1,2,3}, Karine Mouline¹, Frédéric Simard¹, Alphonsine Amanan Koffi¹, Cedric Pennerier^{1,2}, Roch Koumbobri Dabire², Morgan Mangeas² and Nicolas Moiroux^{1,2}

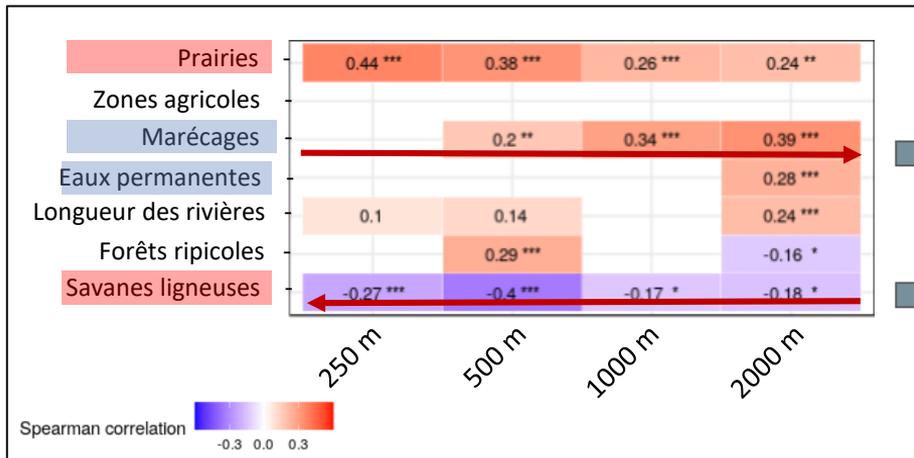
Taconet et al., 2021

Modélisation explicative

Variables paysagères : Distance spatiale à laquelle le paysage impacte les densités agressives

Abondance - *An. funestus* - zone BF

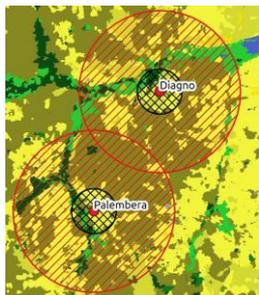
Corrélation entre l'abondance des vecteurs et les **variables paysagères** extraites dans 4 zones tampons autour des points de capture



> Gîtes larvaires éloignés des sites de piqûres (> 2km)



> Le niveau d'ouverture du paysage a un impact au voisinage proche des sites de piqûre



Variables associées aux gîtes larvaires

Variables associées au niveau d'ouverture du paysage

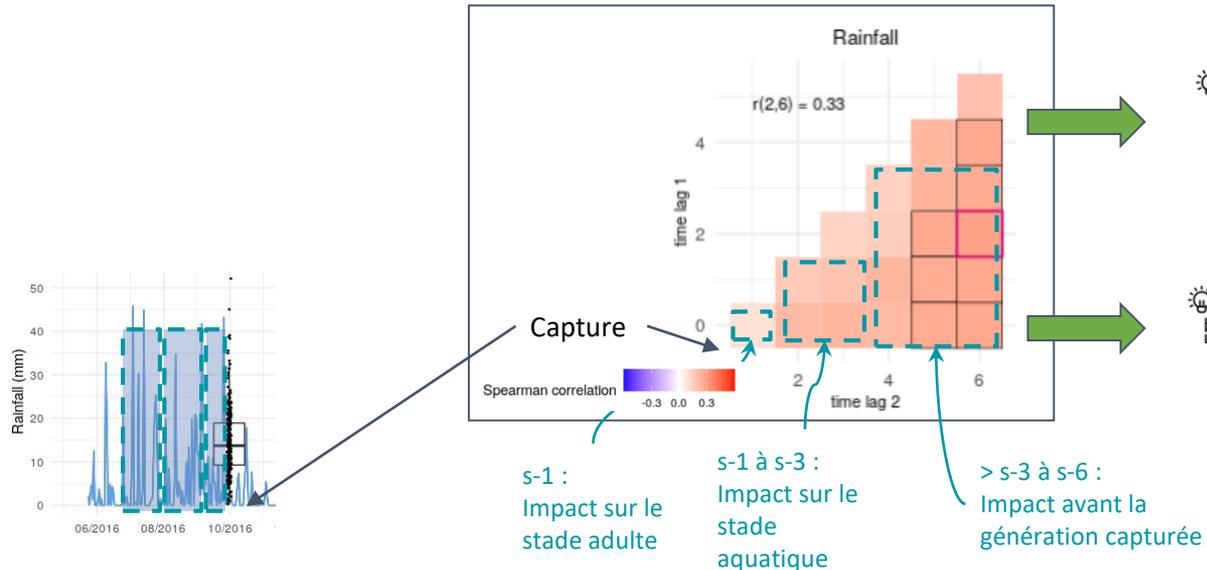
Modélisation **explicative**

Variables météo - Durées et délais avec lesquelles les conditions météorologiques impactent les densités agressives

Abondance - *An. gambiae* s.s. - zone BF

Cross correlation map :

Corrélation entre l'**abondance des vecteurs** et les **précipitations** extraites dans tous les intervalles de temps hebdomadaires possibles entre les captures et 6 semaines avant les captures



> Les conditions météorologiques impactent fortement tous les stades vie des vecteurs capturés



> Les conditions météorologiques ont parfois eu un impact plus important encore sur des périodes antérieures à la période de vie des vecteurs capturés

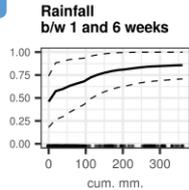
=> (dynamiques de pop. ou préparation de conditions biotiques ou abiotiques favorables pour la génération capturée)

Modélisation explicative

Typologie des gîtes larvaires selon les espèces

Abondance - zone BF

An. gambiae s.s.

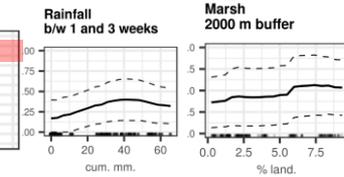
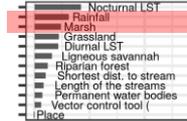


Gites temporaire



An. gambiae s.s.

An. coluzzii

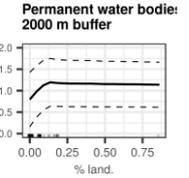
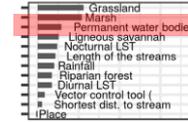


Persistance des gîtes larvaires



An. coluzzii

An. funestus



Gites permanents



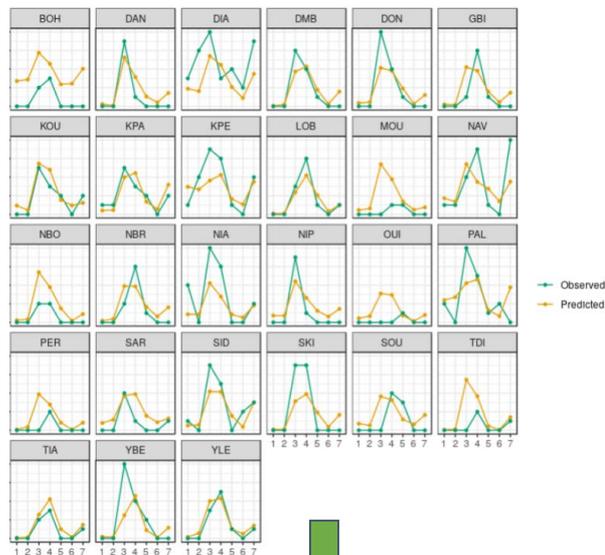
An. funestus

Modélisation prédictive

Capacités prédictives des modèles

Abondance - *An. gambiae* s.s. - zone BF

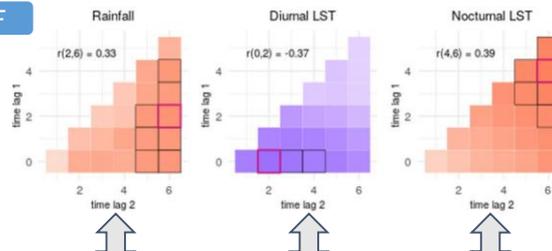
Abondances observées (vert) et prédites (jaune) dans chaque village en fonction des enquêtes entomologiques



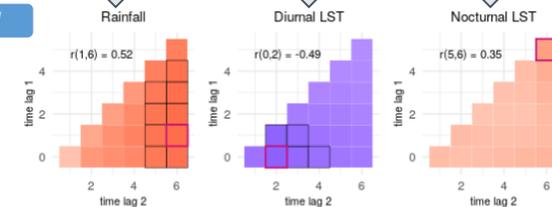
> Bonne prédictibilité des densités agressives au sein des zones d'étude

Présence - *An. gambiae* s.s. - zones BF et CI

BF



CI



> Possibilité d'anticiper les abondances des vecteurs plusieurs semaines à l'avance



> Probable bonne prédictibilité hors des zones d'étude pour *An. gambiae* s.s.



Conclusions intermédiaires

> Développement de méthodes en science des géodonnées qui exploitent pleinement :

- les granularités spatiales et temporelles des images satellitaires
- les modèles d'apprentissage automatique capables de capturer des relations complexes
- les outils d'interprétation de ces modèles capables de révéler ces relations (*interpretable machine learning*)

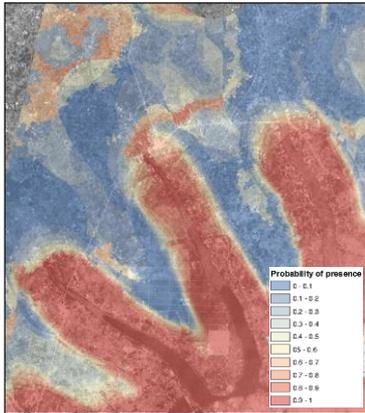
Pour générer des connaissances sur :

- les **déterminants locaux** des densités agressives des vecteurs du paludisme (à l'échelle du village)
- le niveau de **prédictibilité spatio-temporelle** des densités agressives des vecteurs à des échelles opérationnelles (i.e. villages)

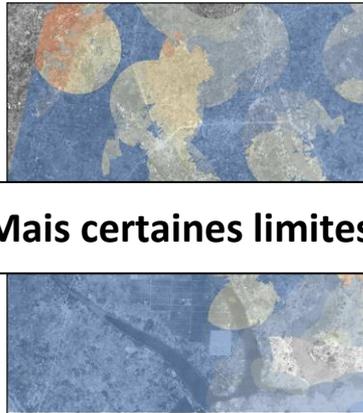
Perspectives :
>> Transfert opérationnel ??

Outil n°1 : Cartes saisonnières de la distribution spatio-temporelle des vecteurs

Saison pluvieuse

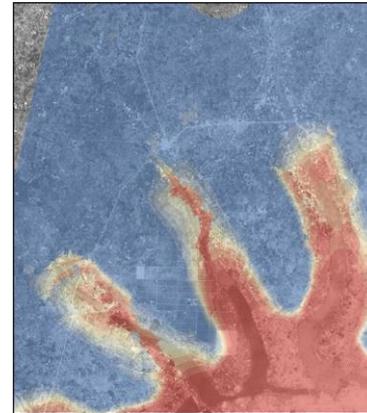


Saison sèche-froide



Mais certaines limites ...

Saison sèche-chaude



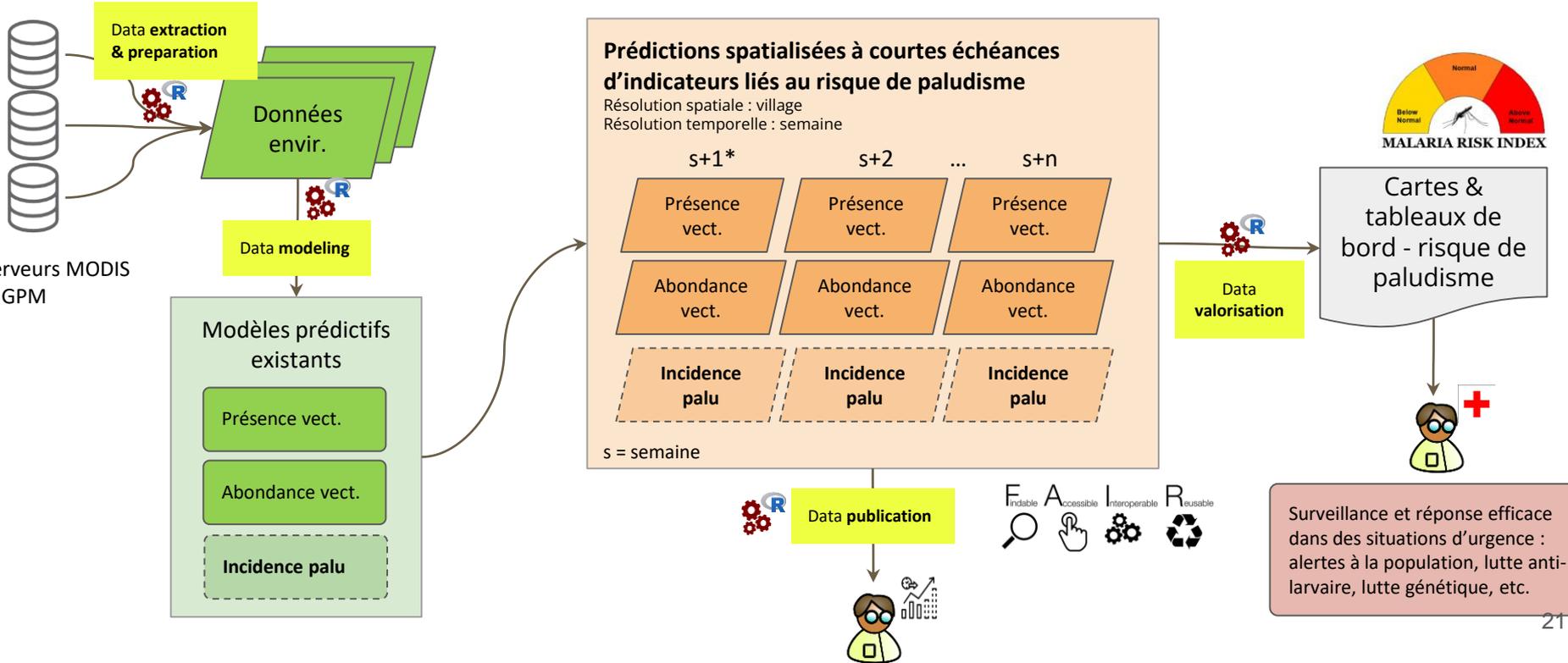
Cartes : Moiroux et al., 2012

Pour cibler le déploiement de **mesures récurrentes** à l'échelle du village : distribution de moustiquaires, amélioration des habitations, aménagement de l'environnement, IEC, lutte anti-larvaire, etc.

Outil n°2 : Système de surveillance et alerte précoce

🕒 1 x par semaine

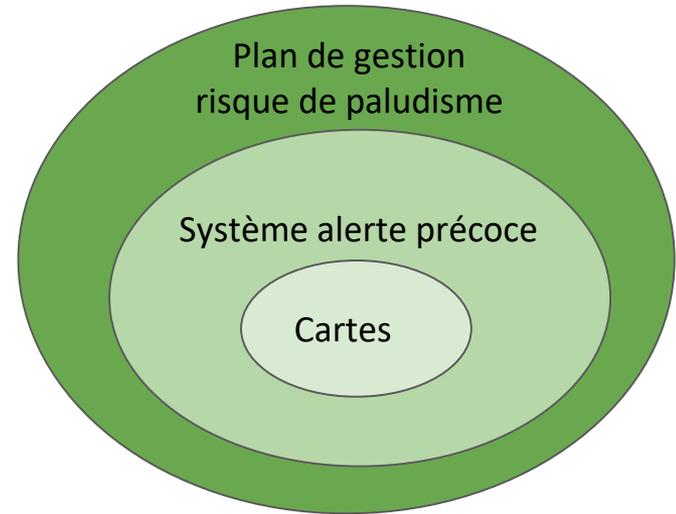
>> Outil **dynamique, autonome et évolutif**



Outil n°3 : Plans de gestion du risque de paludisme

Ensemble de procédures qui s'appuie sur les outils, les connaissances, les ressources humaines, les ressources matérielles, pour gérer le risque de paludisme localement :

- > Nature des interventions
- > Sites et fréquences de déploiement de ces interventions
- > Seuils d'alerte de risque et interventions à déployer en cas de dépassement
- > Ressources humaines et matérielles impliquées
- > etc.



Pour organiser efficacement la LAV à échelle locale



Merci à toutes les personnes impliquées
dans le projet REACT