

Cartographie des risques liés aux maladies vectorielles



Margarete do Socorro Mendonça Gomes
SVS-AP, Macapá, Amapá, Brésil



Emmanuel Roux
IRD/ESPACE-DEV, LMI Sentinela, Montpellier, France



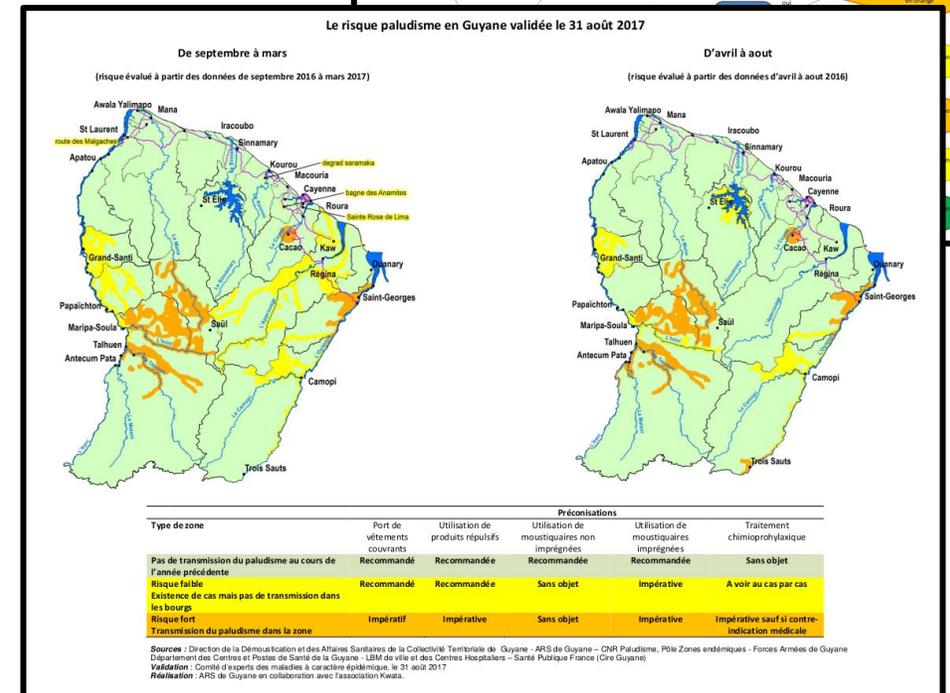
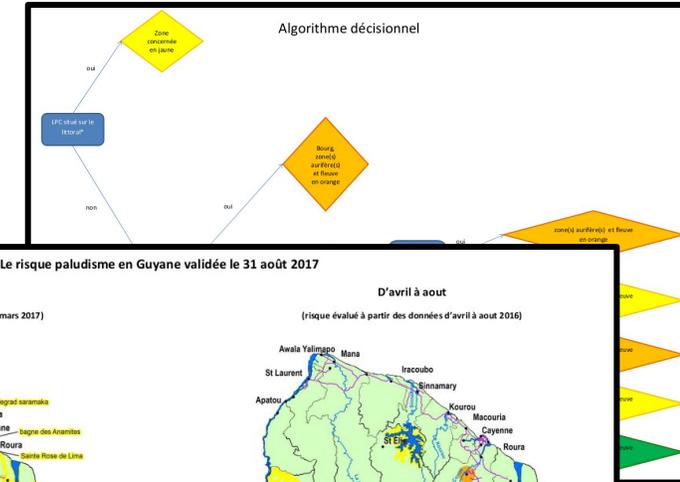
Yi Moua
IRD/ESPACE-DEV, PROGYSAT post-doctorante, Cayenne, Guyane française



Claire Teillet
IRD/ESPACE-DEV, Montpellier, France

Cartographie des risques liés aux MV ("stratification du risque")

- **Cartographie : un outil de santé publique**
- **Téledétection pas/peu utilisée en santé publique**
 - Difficultés à répondre aux besoins (Information, résolutions, ...)
 - Complexité des systèmes éco-épidémiologiques (la données ne fait pas tout ...)
 - Résultats difficiles à comprendre/interpréter (interdisciplinarité)



[ARS-Guyane, Kwata, 2017]

Principaux objectifs

- **Définir une approche de cartographie des risques liés aux maladies vectorielles** (paludisme et arboviroses transmises par *Aedes*)
 - Exploitant les résultats antérieurs
 - Basée sur des données objectives (issue notamment de la TD), qualifiées et actualisées
 - Générale et reproductible, transfrontalière
 - Facilitant un transfert effectif en santé publique
- **Promouvoir l'application de la télédétection en santé publique**
- **Étendre le partenariat existant entre la France et le Brésil au Suriname**

Enjeux

- Ciblage des actions de contrôle/élimination
- Prévention/prévision de la (ré)introduction

Hypothèses

- **La co-construction d'un modèle conceptuel de risques permettra**
 - une **vision commune, trans-disciplinaire et trans-sectoriel** du risque
 - Améliorer l'**explicabilité** de l'approche de cartographie
 - Faciliter la **reproductibilité** des approches
 - Faciliter l'**appropriation** de l'approche et des résultats par la santé publique
- **Les connaissances et indicateurs acquises/développés antérieurement permettent déjà de quantifier un ou des risques (paludisme)**

Co-construction d'un modèle conceptuel

Co-construction de modèle

Experts (acteurs de santé)
Explicitation connaissances

Formalisation de la
Connaissance

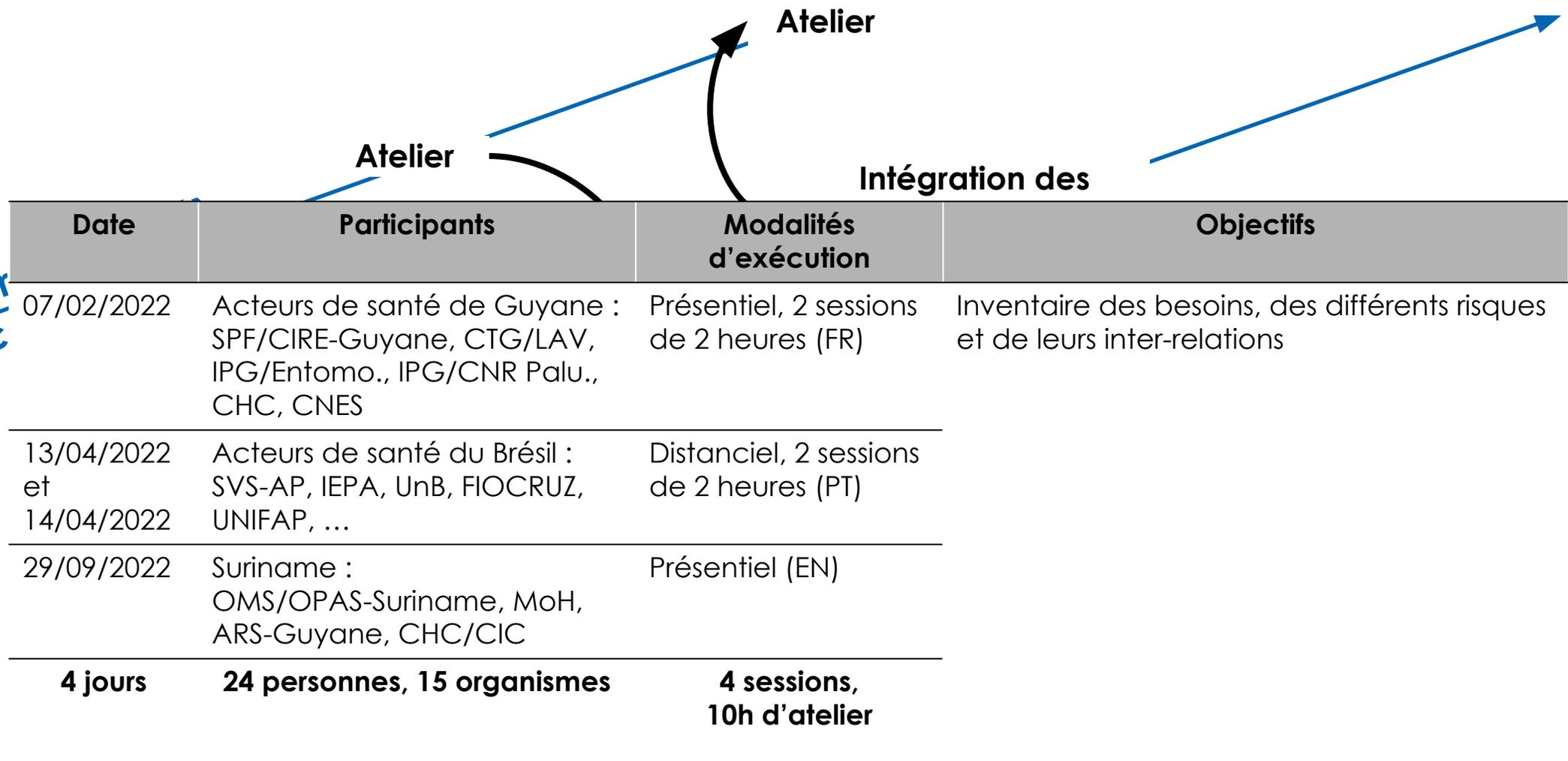
Atelier

Atelier

Concepts, objets
et leurs relations
(UML)

Intégration des
indicateurs dans le
modèle

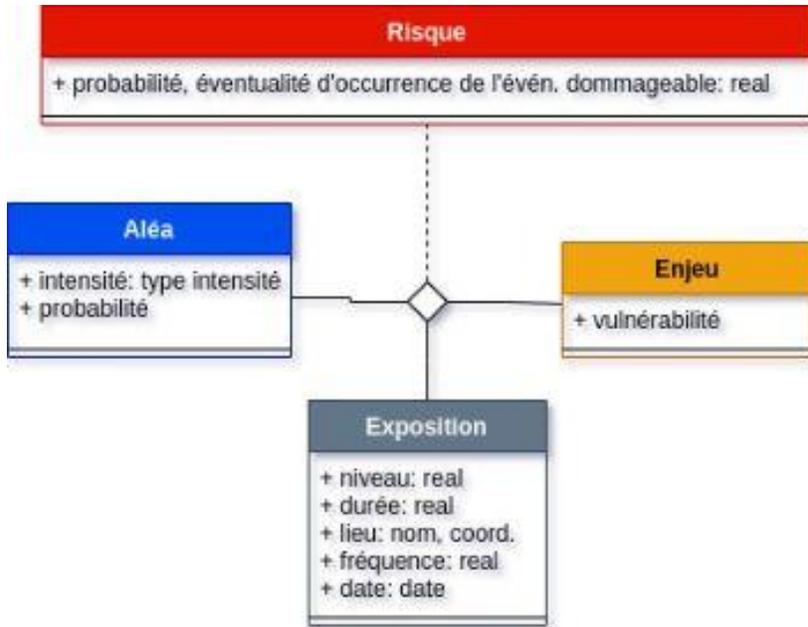
Co-construction de modèle



Experts (acteur et
Explicitation c

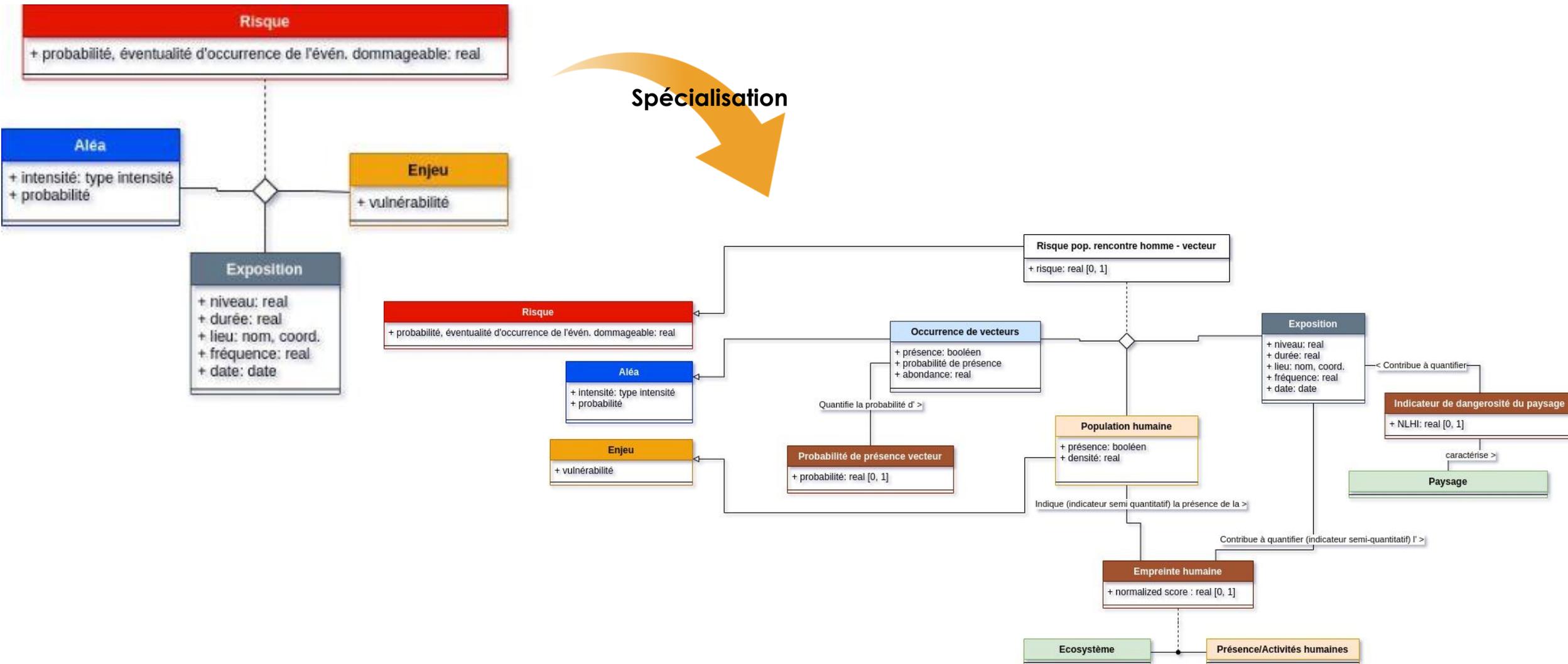
Résultats

Exemple : Risque de rencontre/contact Humain-vecteur



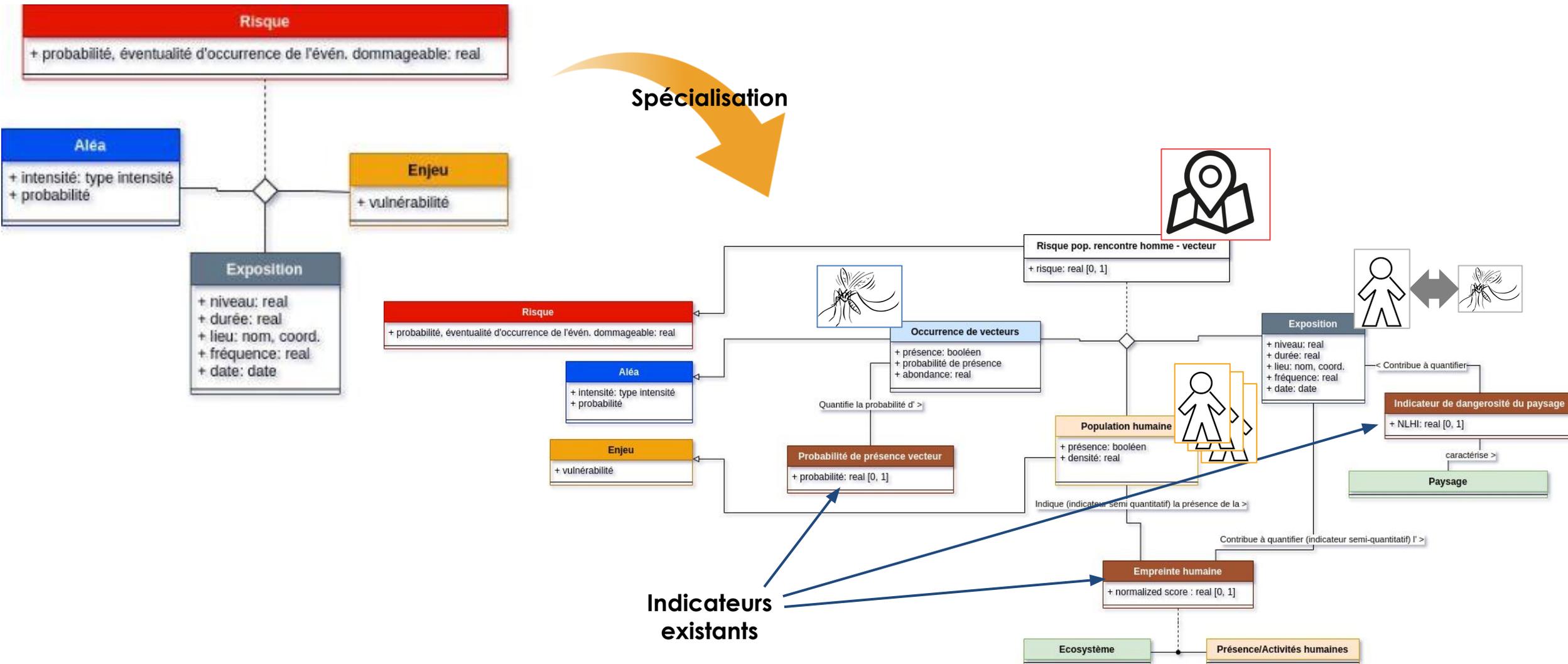
Résultats

Exemple : Risque de rencontre/contact Humain-vecteur



Résultats

Exemple : Risque de rencontre/contact Humain-vecteur



Indicateurs existants

Application au paludisme

Elimination du paludisme

Aucun cas autochtone sur 3 années consécutives + ...

- **Guyane française** Objectif d'élimination réaffirmé par le gouvernement
- **Brésil** Plan d'élimination du MS (2022)
P. falciparum avant 2030, *P. vivax* avant 2035
- **Suriname** Programme d'élimination du MS

Decreased endemic malaria in Suriname: moving towards elimination

Edward D. van Eer^{1*}, Gustavo Bretas² and Hélène Hiwat³

[Van Eer et al., 2018]



Du contrôle à l'élimination

- Renforcer le **diagnostic** et le **traitement**, la **surveillance** (transfrontalière), la **lutte anti-vectorielle**, ...
- Vers des **actions ciblées**
 - dans le temps
 - dans l'espace
 - vers des populations spécifiques
- Implémenter des méthodes et outils afin de **détecter/prévenir la ré-introduction**



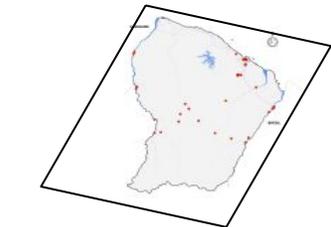
Organisation mondiale de la Santé
STRATÉGIE TECHNIQUE MONDIALE DE LUTTE CONTRE LE PALUDISME 2016–2030

- Pilier 1. Garantir l'accès universel à la prévention, au diagnostic et au traitement du paludisme
- Pilier 2. Accélérer les efforts vers l'élimination et vers l'obtention du statut exempt de paludisme
- Pilier 3. Faire de la surveillance du paludisme une intervention de base

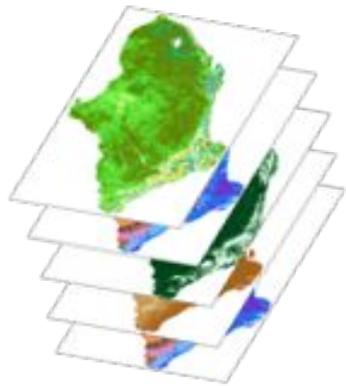
Indicateurs

- Issus d'études antérieures
- Produits sur la zone d'étude
- Actualisés

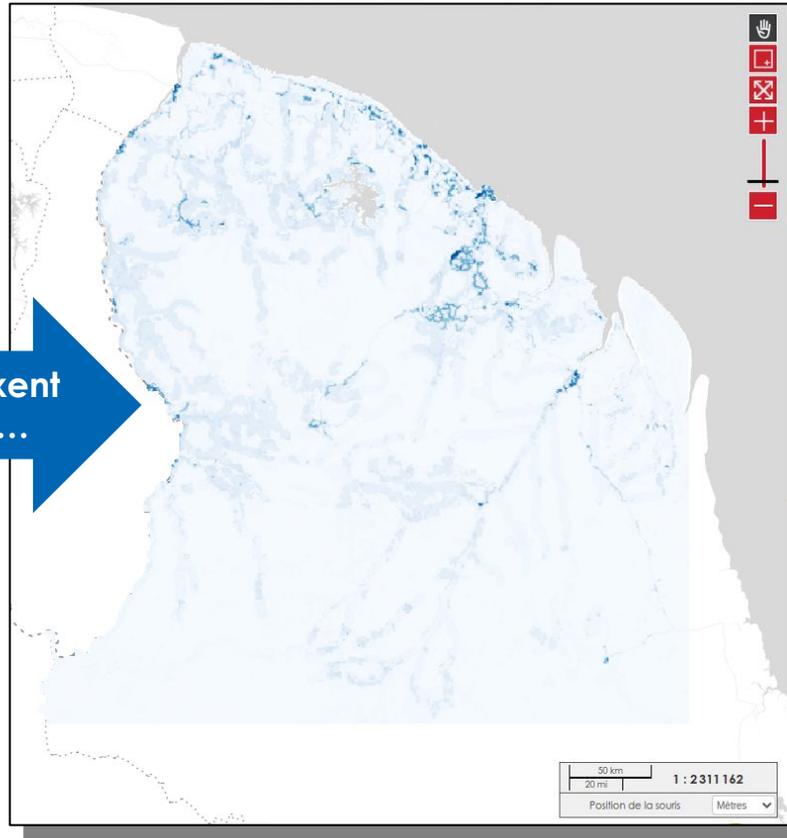
Probabilité de présence du vecteur (*An. darlingi*)



Observation du vecteur



Données environnementales (en partie issues de la TD)



Occurrence de vecteurs
+ présence: booléen
+ probabilité de présence
+ abondance: real

Quantifie la probabilité d' >

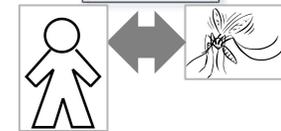
Probabilité de présence vecteur
+ probabilité: real [0, 1]

Risque
+ risque : real [0, 1]

Aléa
+ nature
+ fréquence
+ intensité: type intensité
+ localisation
+ date
+ probabilité

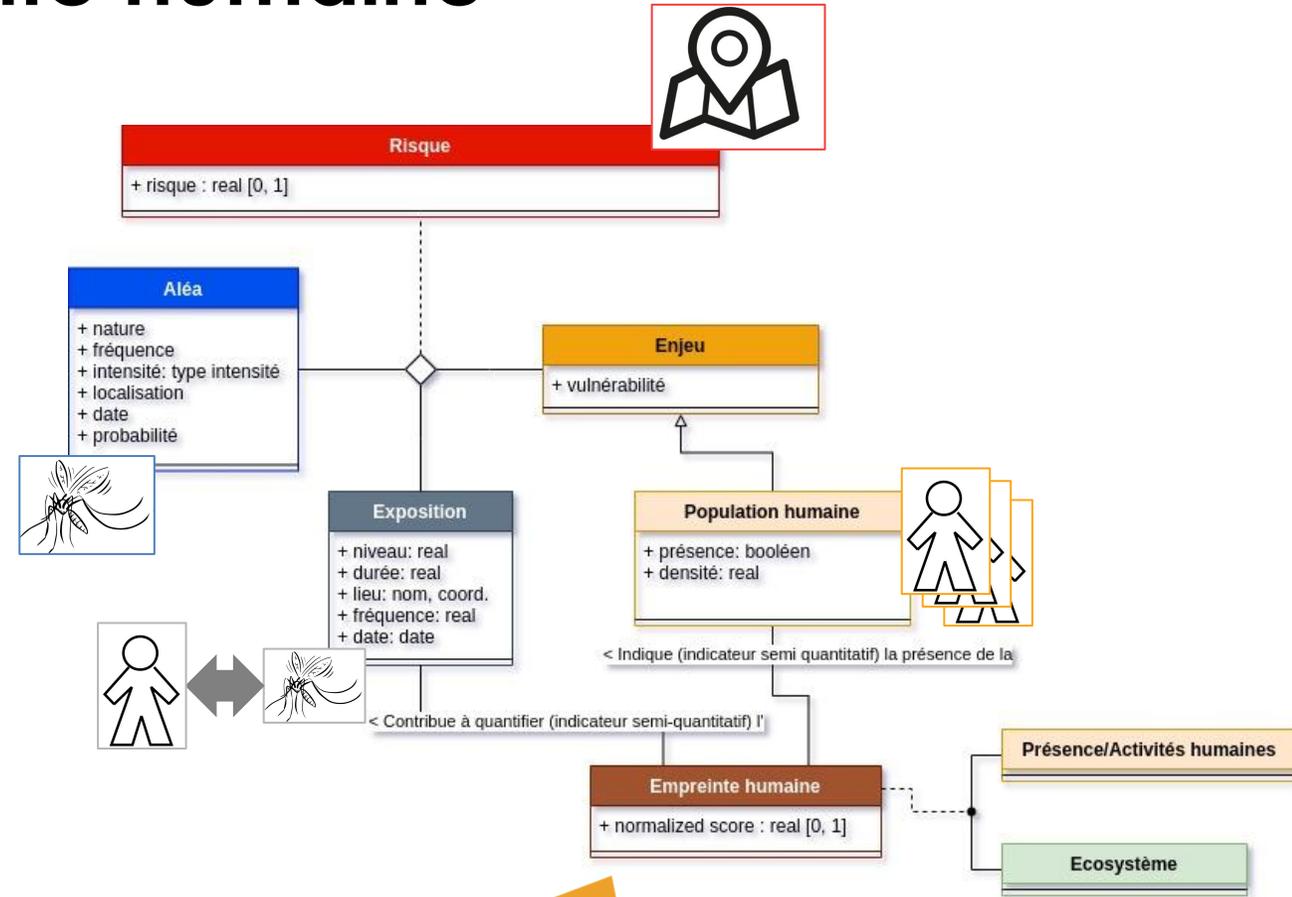
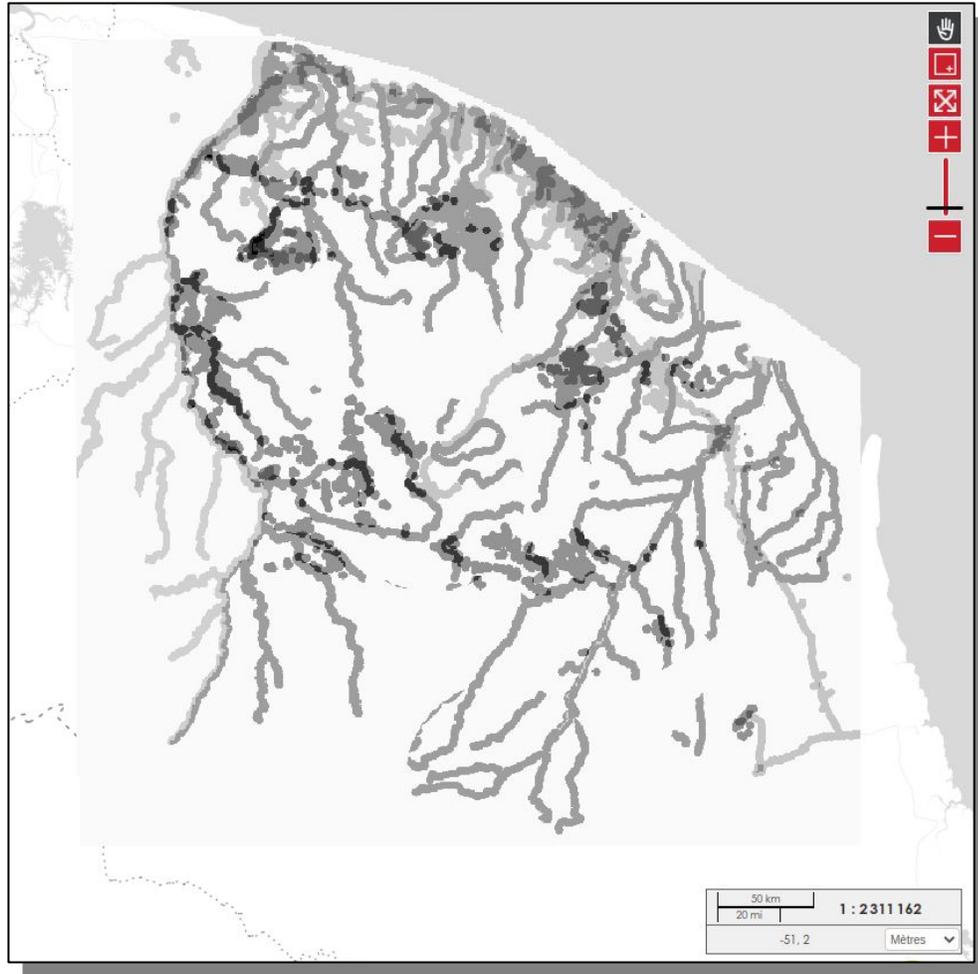
Enjeu
+ vulnérabilité

Exposition
+ niveau: real
+ durée: real
+ lieu: nom, coord
+ fréquence: real
+ date: date



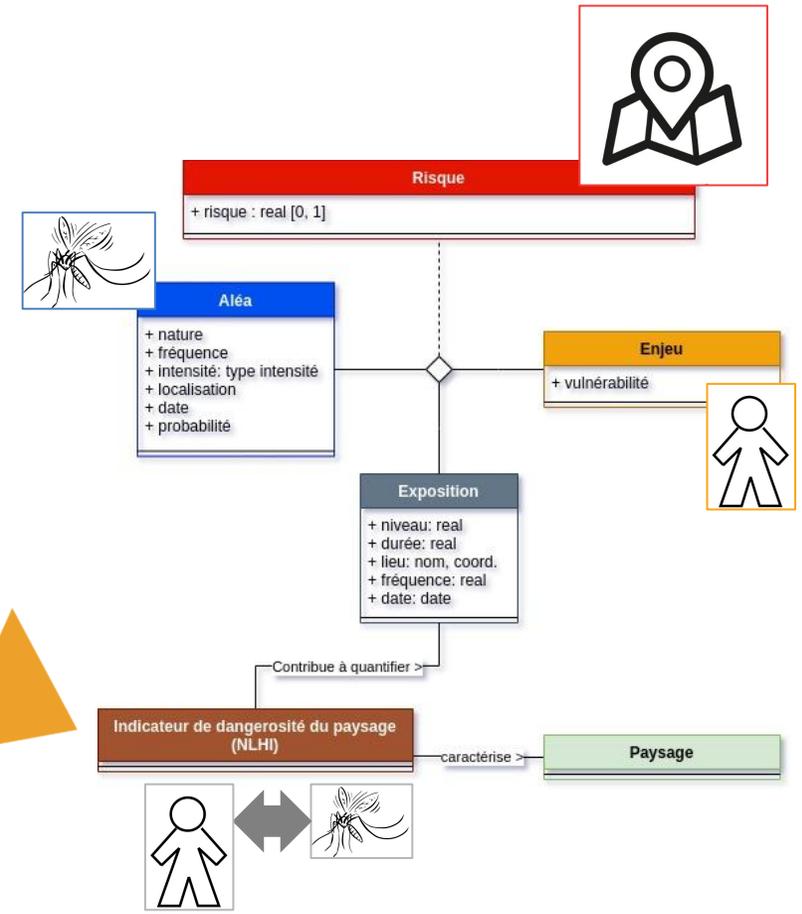
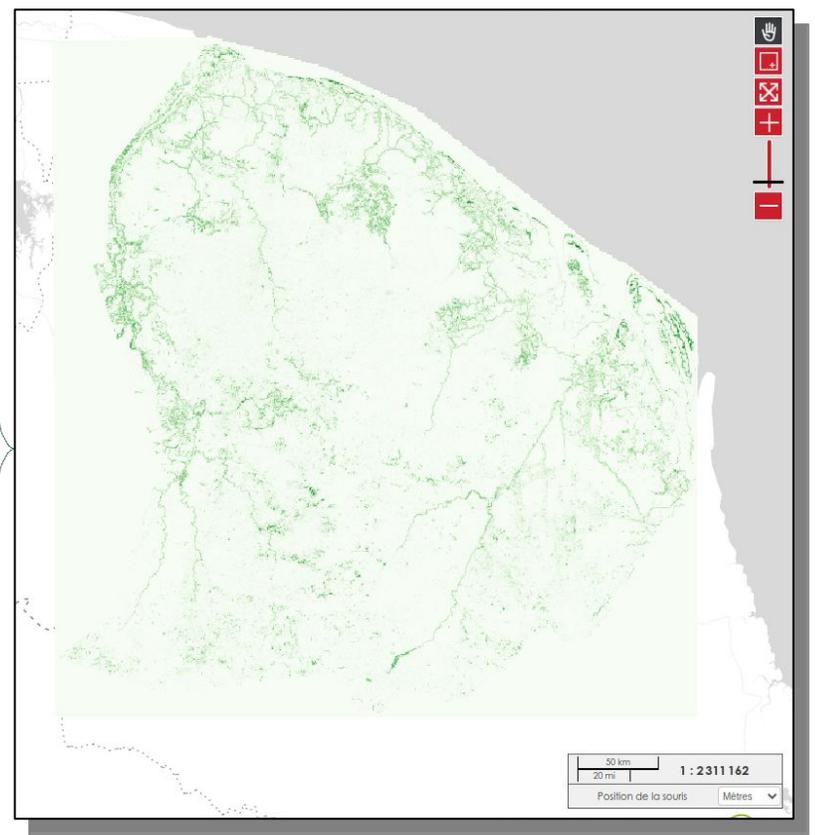
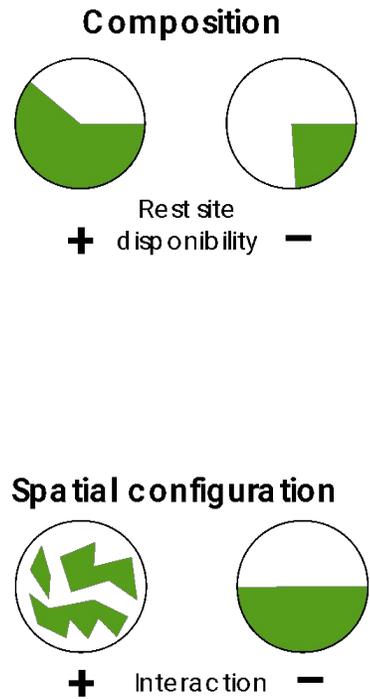
Moua et al., J. Med. Entomo., 2017
Moua et al., GBIF, 2019
Moua et al., Ecol. Informatics, 2020

Empreinte humaine



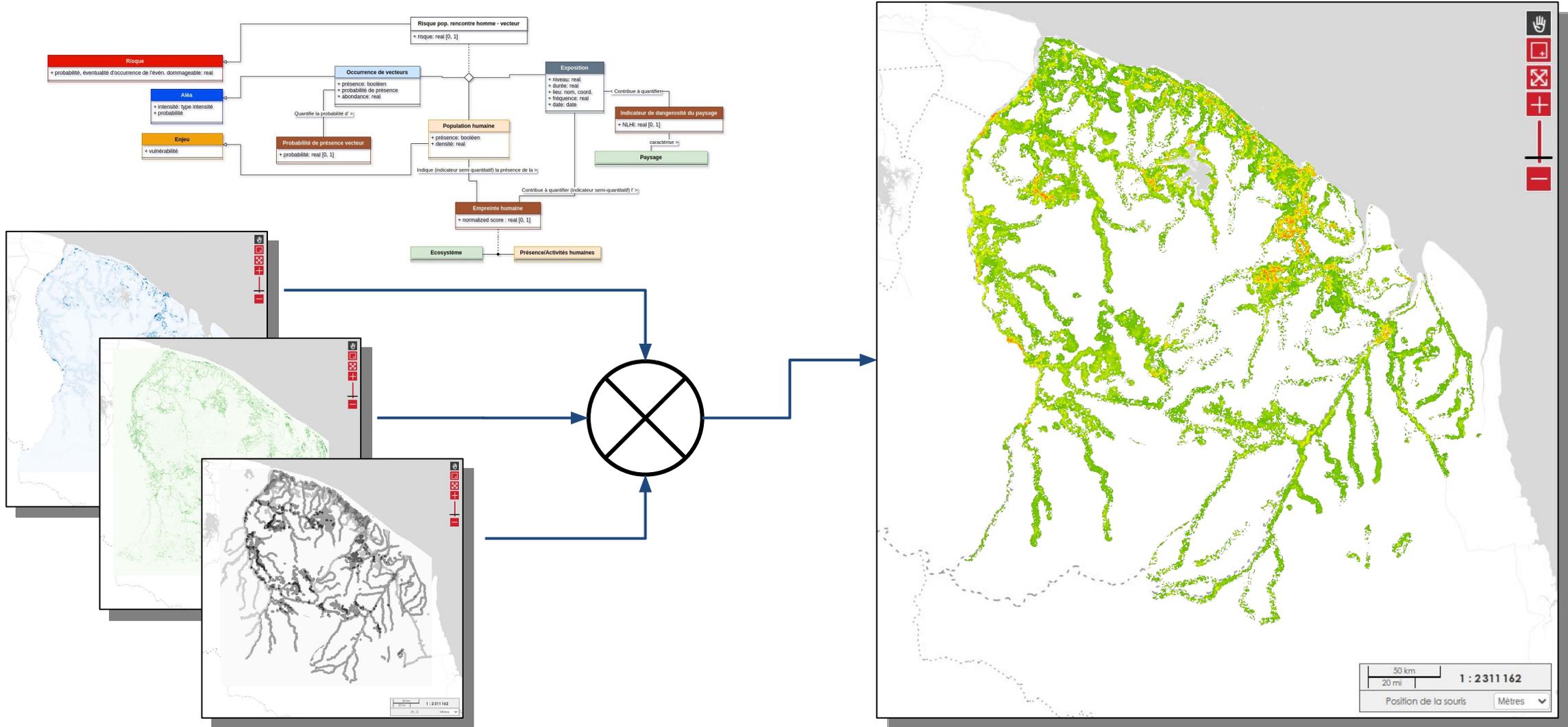
Sanderson et al., 2002
de Thoisy et al., 2010

“Susceptibilité d'exposition” basée sur le paysage



Stefani et al., Malaria Journal, 2013
Li et al., Remote sensing, 2016, 2017
https://framagit.org/espace-dev/r_nlhi

Risque de rencontre Humain - Vecteur (en population)



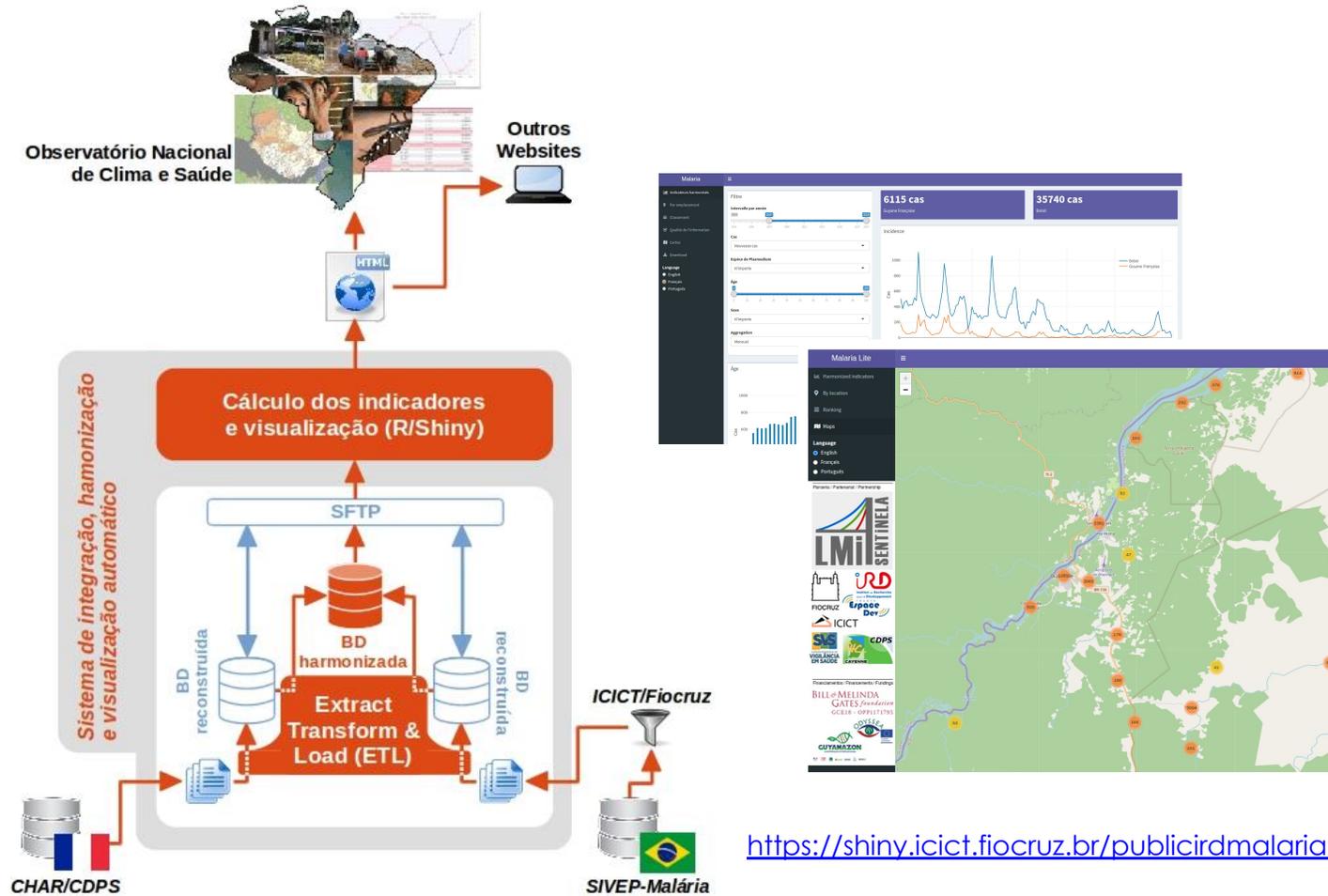
Indicateur de circulation des parasites (Plasmodium)

Systemes de surveillance
épidémiologique
(GF, BR, SR)

Harmonisation des
données du paludisme
transfrontalier

[Saldanha et al., JMIR, 2020]

Vers le risque de
transmission



Visualisation en ligne des indicateurs

PROGYSAT
Projet de coopération Régionale pour l'Observation des GUYANES par SATellite

Couches Fermer

Légende

- INDICATEURS/INDICADORES (ENTRÉES/ENTRADAS)
 - INTERACTION AVEC FORÊT/INTERAÇÃO COM FLORESTA (NLHI)
 - PROBABILITÉ PRÉSENCE VECTEUR/PROBABILIDADE PRESENÇA VETOR
 - EMPREINTE HUMAINE/PEGADA HUMANA
- RISQUES
 - RISQUE D'EXPOSITION POP./RISCO DE EXPOSIÇÃO POP.

Fond de carte

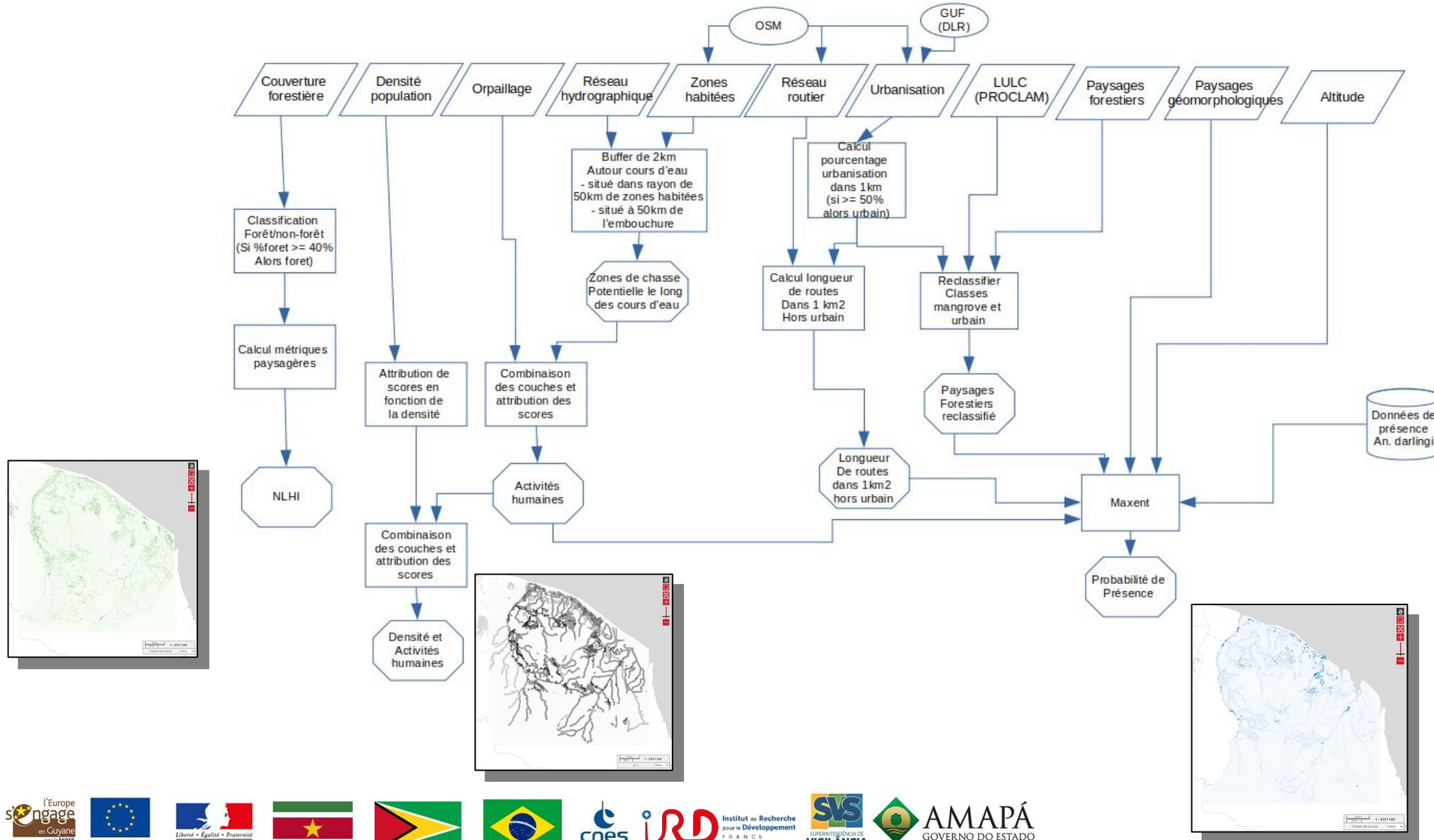
OSM Stamen Toner

50 km
20 m
1 : 2 311 162
Position de la souris Mètres

© OpenStreetMap contributors Powered by 3Liz

https://cartogy.cayenne.ird.fr/index.php/view/map/?repository=risquepalu&projet=progysat_carto_risque_lizmap

Formalisation de la chaîne de production des indicateurs



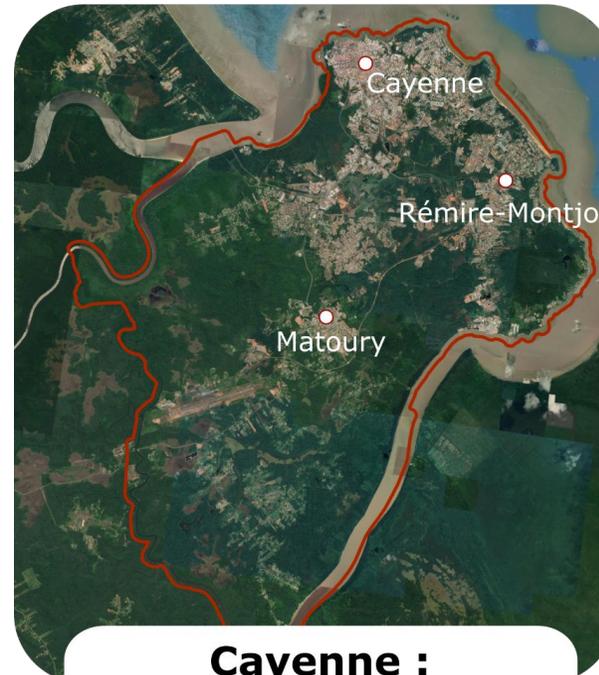
Application aux arboviroses transmises par Aedes

- **Thèse Claire Teillet**
- **Premiers résultats et prochaines étapes**

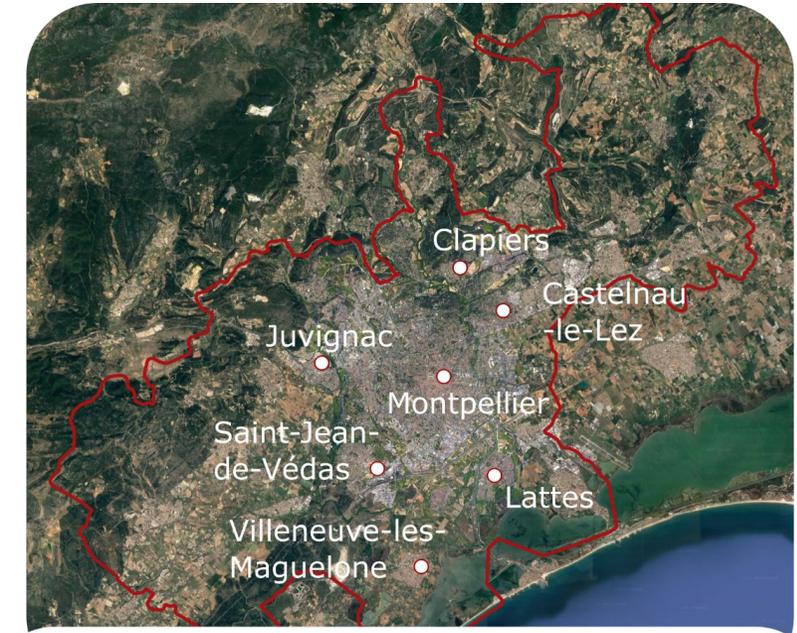
Analyzing the links between urban landscapes and exposure to *Aedes* mosquitoes using remote sensing

Claire Teillet

- Directors : Emmanuel Roux and Rodolphe Devillers
- Research Institute for development, UMR ESPACE-DEV, Montpellier
- Funded by CNES & Région Occitanie
- Two contrasted study sites : Cayenne and Montpellier



Cayenne :
Regular epidemics
Aedes Aegypti



Montpellier :
No epidemics, imported and indigenous cases detected and controlled
Aedes Albopictus

Main objective

To develop a spatialized approach of the risk of exposure of populations to *Aedes* vectors that makes the best use of satellite data and is not conditioned by the availability of epidemiological and entomological data in order to make it the more reproducible, generic and adapted to the needs of local actor.

Decomposition of risk components into 4 axis :



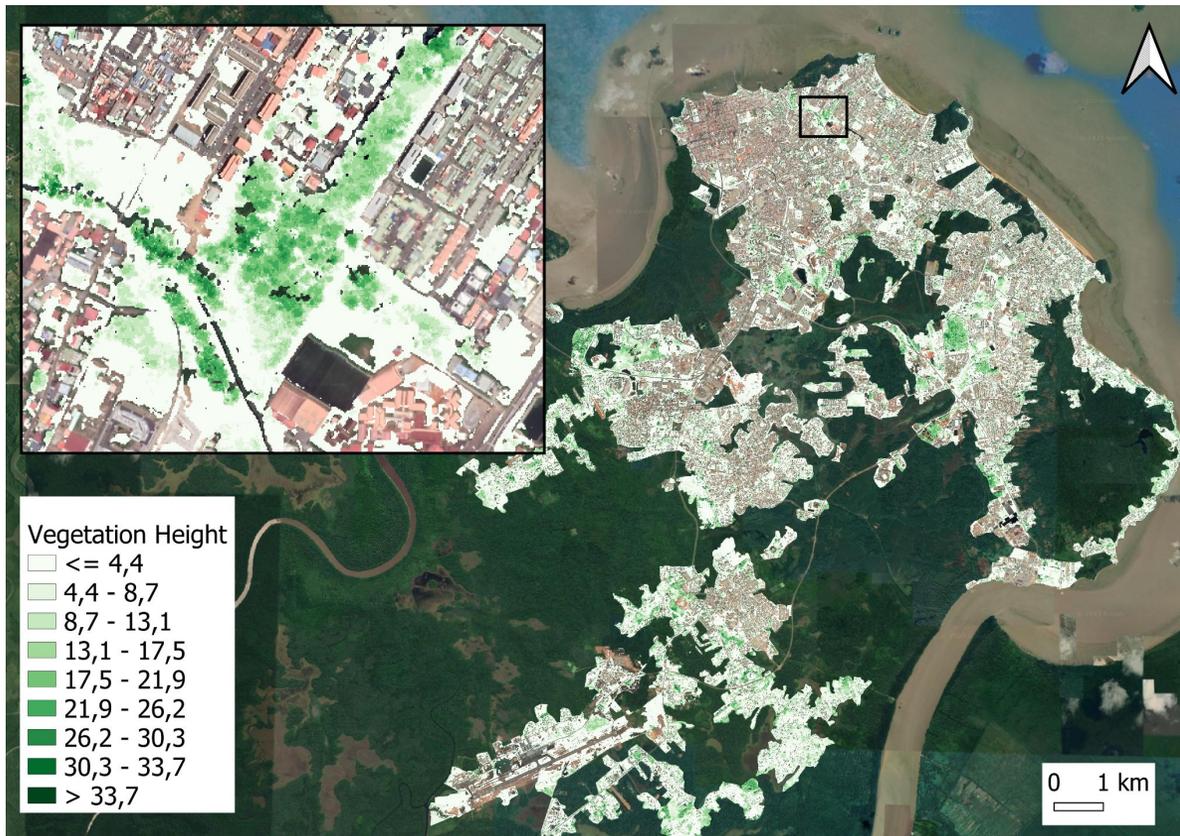
Bio-ecological links between mosquitoes and urban landscapes

- Variables based on remote sensing describing the urban environment of *Aedes* mosquitoes



Aedes aegypti

Vegetation over Cayenne

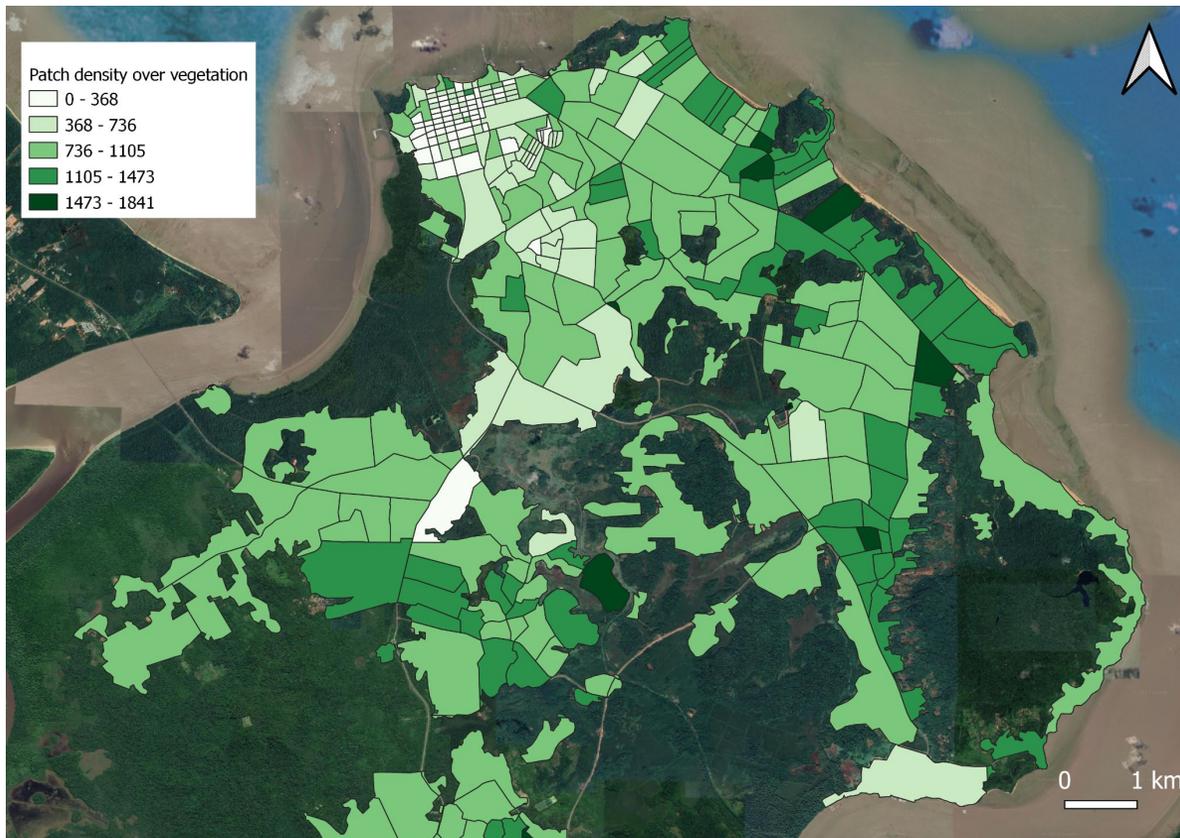


Buildings over Cayenne

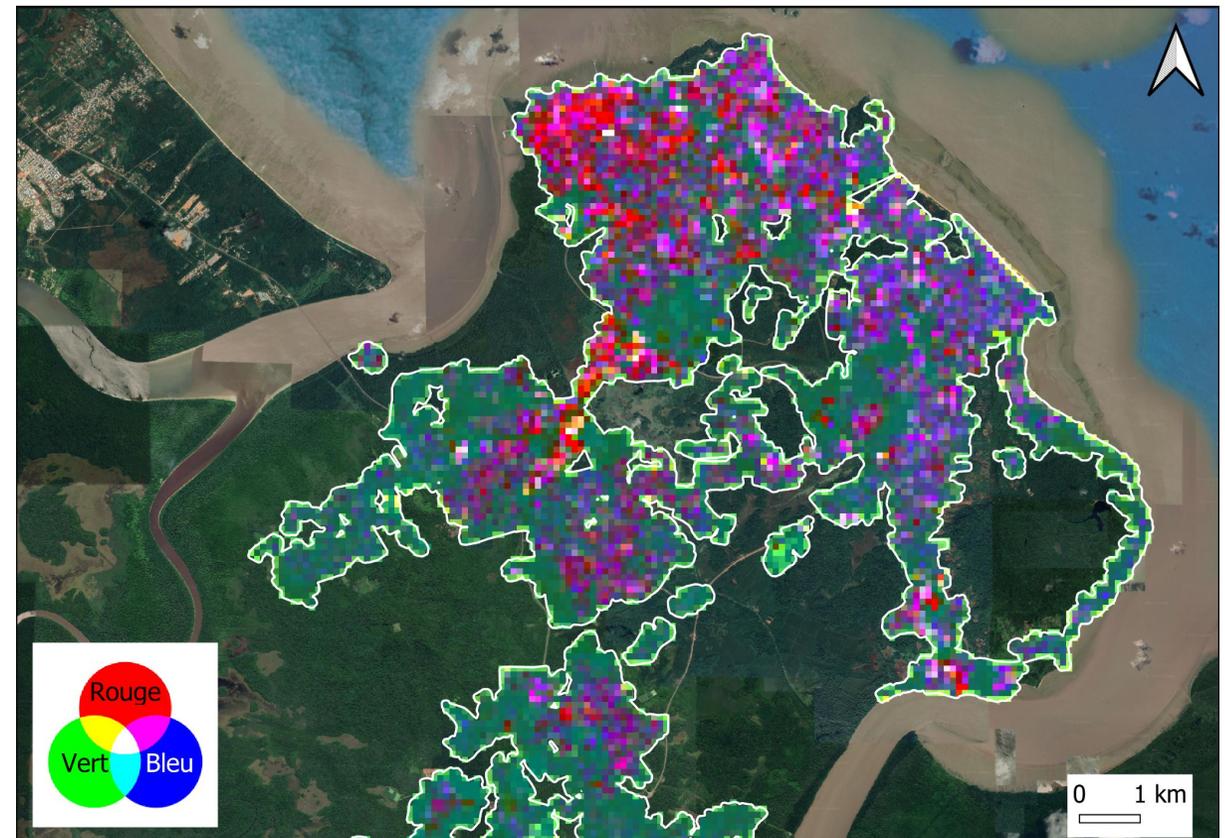


Bio-ecological links between mosquitoes and urban landscapes

- Variables based on remote sensing describing the urban environment of *Aedes* mosquitoes



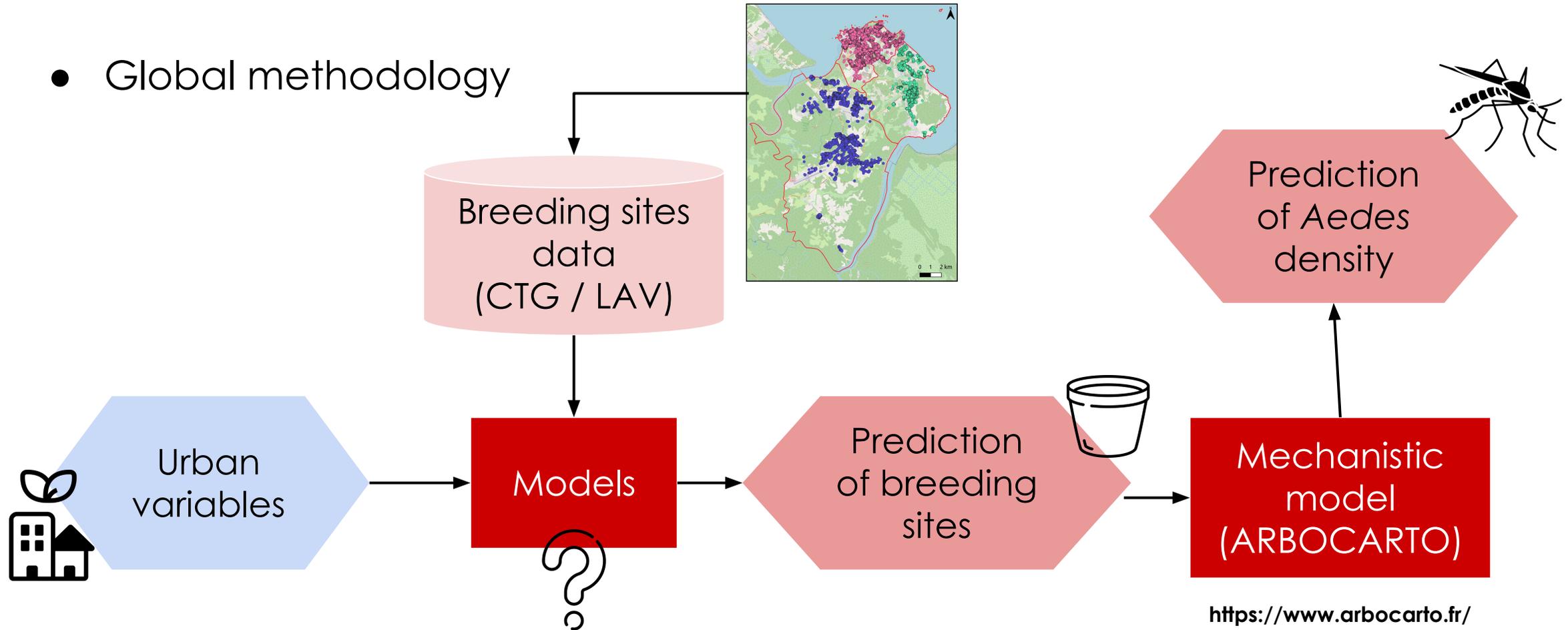
Landscapes metrics : Patch density = fragmentation of urban vegetation



Texture over Cayenne with Pléiades imagery to characterize urban habitats

Modelling breeding sites and mosquitoes densities

- Global methodology



<https://www.arbocarto.fr/>
Tran et al., 2013, 2020



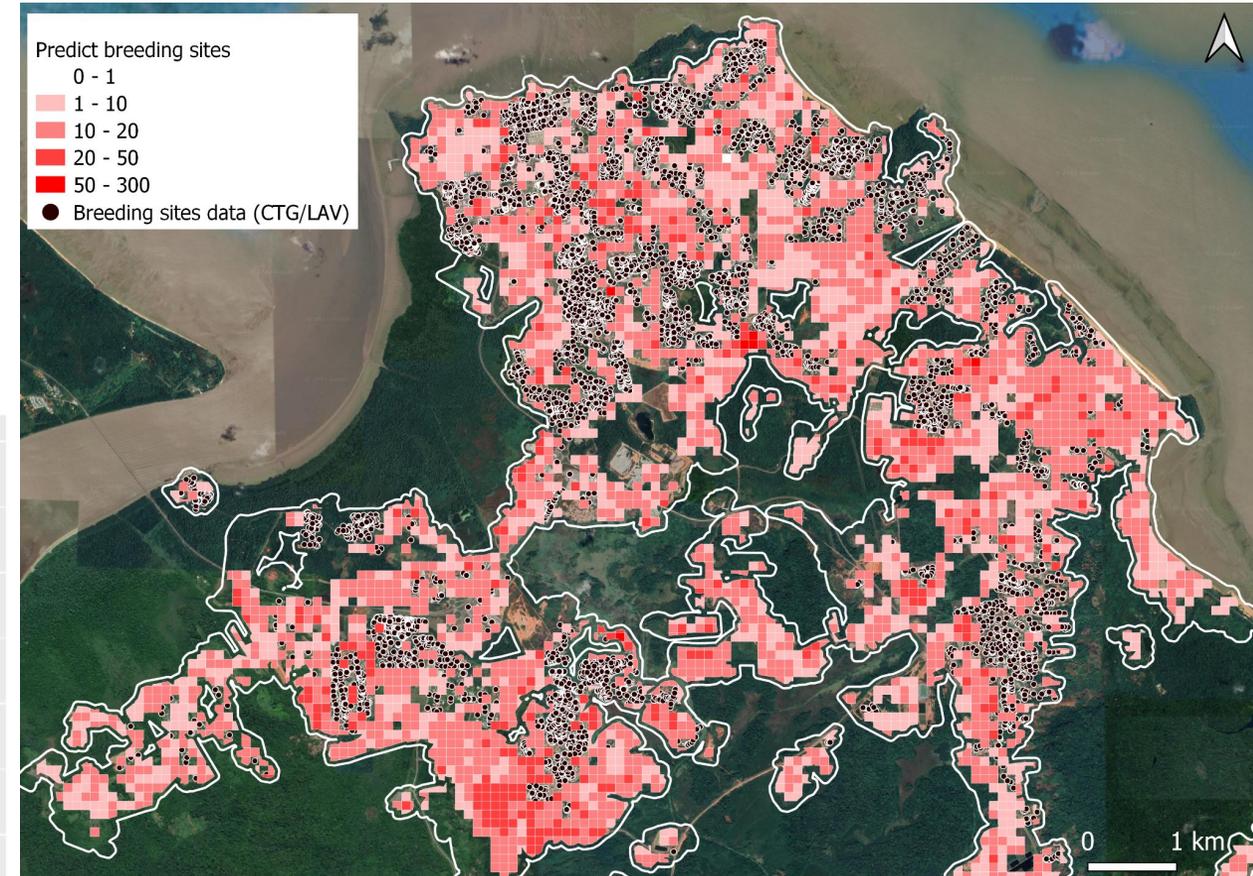
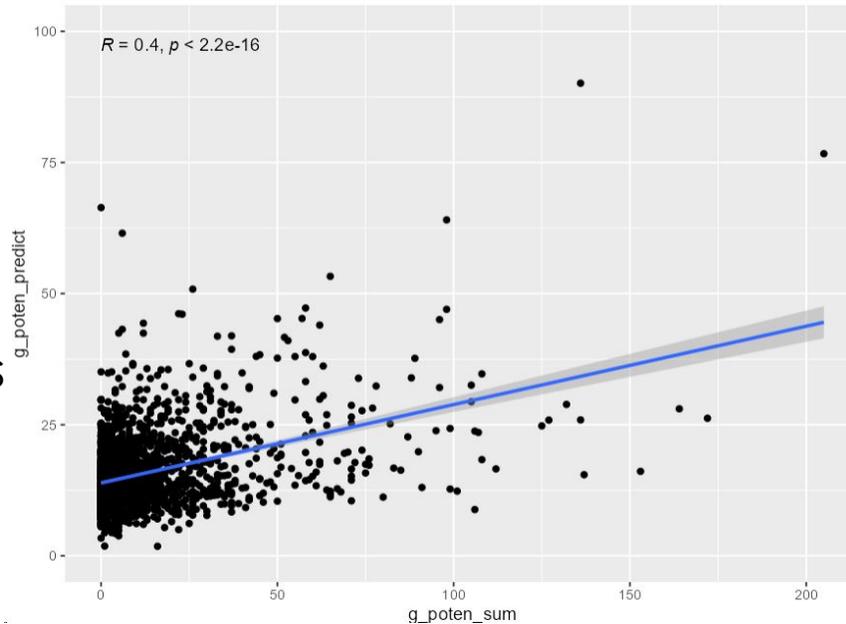
Modelling breeding sites and mosquitoes densities

- GLM performance currently insufficient for reliable predictions of the number of breeding sites
- Seems to be non-linear relationship between breeding sites and urban variables

Next steps

→ Other models need to be tested

→ Improve input variables (Sentinel 2 Temporal Series...)



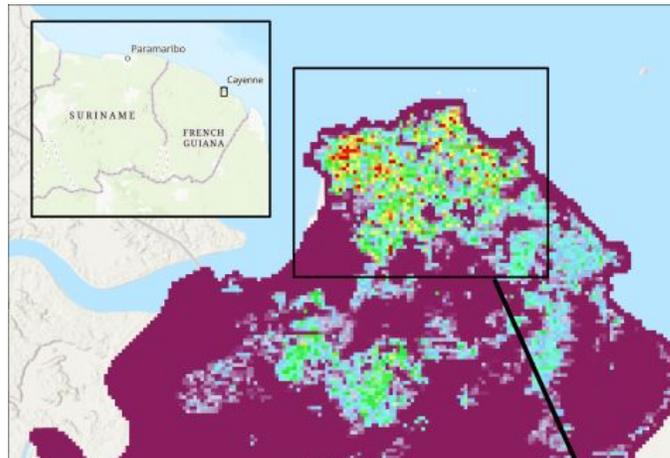
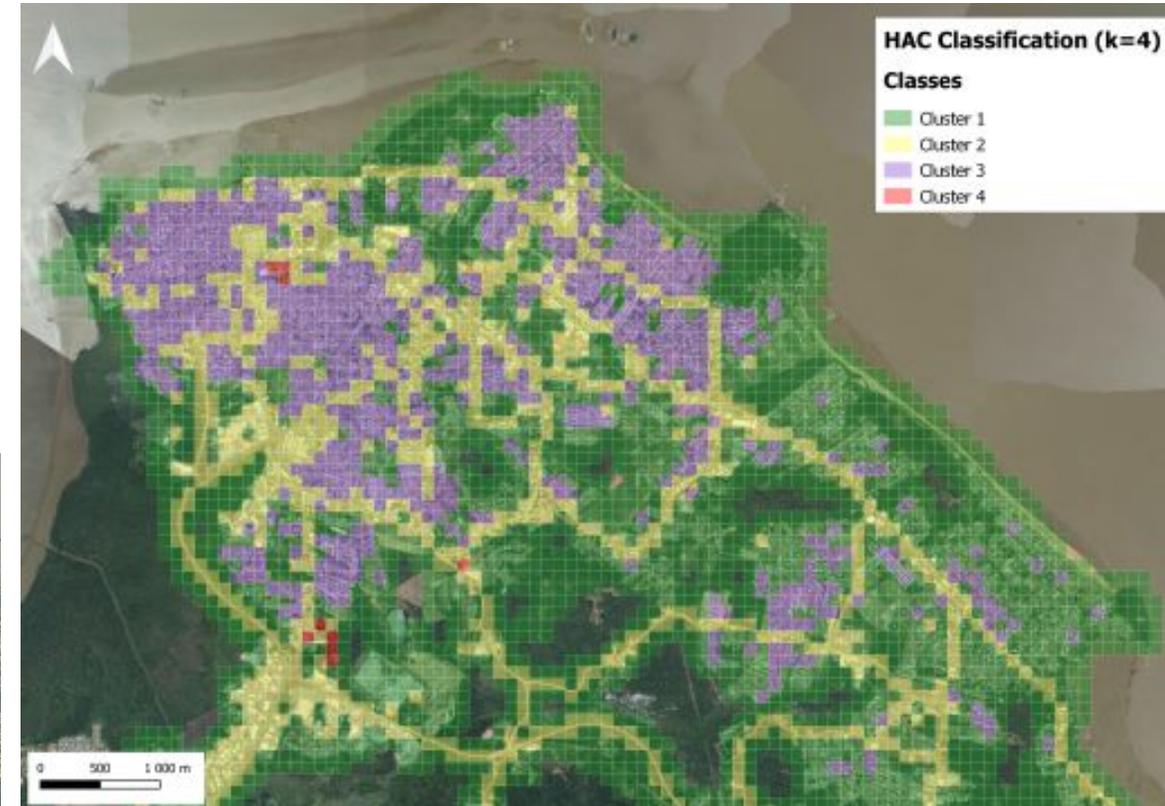
Example of a Generalized Linear Model prediction based on breeding sites data and urban variables from remote sensing

Characterizing population exposure

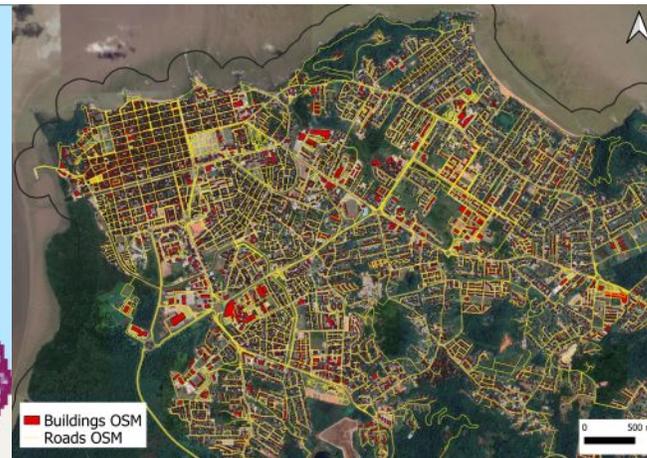


Population characterization using satellite images and Open Street Map data

Create socio-economic classes with hierarchical classification that can be indicators of population exposure



Population density (GHSL)

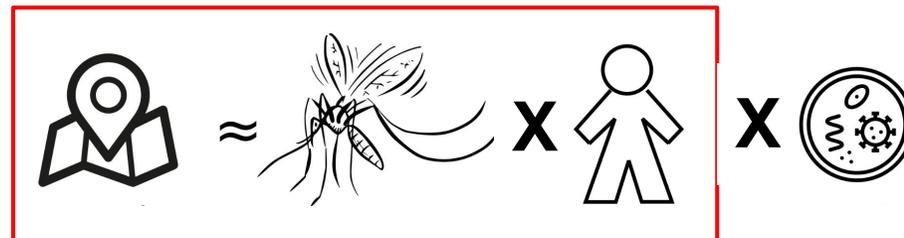


Buildings and roads (OSM)

Defining a risk indicator for population exposure to *Aedes* in urban areas

- **Combination** of mosquito predictions and population exposure levels
- **Application** of the methodology over Cayenne and Montpellier
- **Implementation** of the approach in other cities, to test the reproducibility and the genericity, inducing context-related modifications

My PhD



Autres produits de l'axe

Activités scientifiques et techniques

- **Chaînes de traitement de données, modèles, méthodes**
 - ✓ Codes pour la minimisation des biais d'échantillonnage "environnemental" dans les modèles de distribution d'espèce
 - ✓ ≥7 Modèles conceptuels (diagramme UML) de : Risque (concept général), Aléa, Enjeu, Exposition, Risques liés aux maladies vectorielles (liste des), modèle global de risque, Risque en population de rencontre humain – vecteur
- **Indicateurs, indices, cartographies : ≥4 couches d'information relatives aux indicateurs de risque (empreinte spatiale : Guyane f. U Município de Oiapoque) :**
 - ✓ Probabilité de présence d'*An. darlingi* (principal vecteur du paludisme en Amazonie)
 - ✓ Normalized Landscape-based Hazard Index ("dangerosité" du paysage en lien avec l'exposition humain-*An. darlingi*)
 - ✓ Empreinte humaine
 - ✓ Risque en population de contact humain - vecteur
- **Plateformes web alimentées par des résultats de l'axe**
 - ✓ Portail (prototype) de visualisation des indicateurs
 - ✓ Portail de suivi du paludisme transfrontalier (intégration en cours des indicateurs)
- **Articles, communications, conférences, posters...**
 - ✓ 3 communications grand public, vulgarisation
 - ✓ 12 Présentations dans le cadre des activités du projet, séminaires/réunions de coopération
 - ✓ 3 Citations du projet et de l'axe dans des séminaires
 - ✓ 1 Communication scientifique : Roux, E, Moua, Y, Gomes, M. Malaria risk mapping in cross-border area between French Guiana and Brazil - Supporting malaria elimination plans. In GEOMED 2022, 12-14 October 2022, Irvine- CA, USA (Poster)

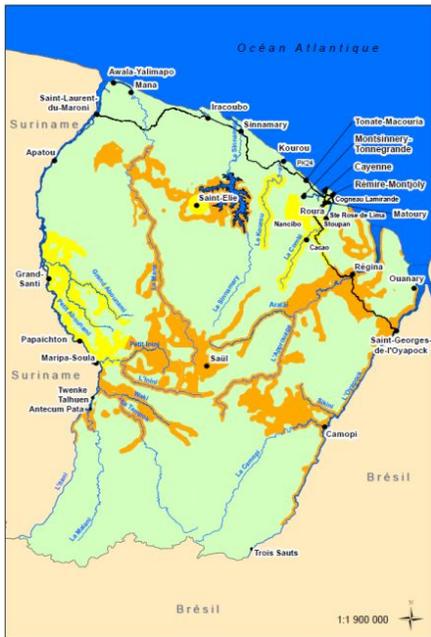
Activités de formation, transfert

- **Etudiants et formation académique**
 - ✓ **Claire Teillet**, doctorante, Université de Montpellier, ED Gaia ; financement CNES-Région Occitanie ; direction R. Devillers (IRD/ESPACE-DEV) ; co-encadrement E. Roux (IRD/ESPACE-DEV, LMI Sentinela) ; sujet : "Analyse par télédétection des relations entre les paysages urbains et le risque d'exposition aux arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes*"
- **Tutoriels, supports de formation ou d'Ateliers**
 - ✓ Introductions ateliers co-construction du modèle de risques (FR et PT)
- **Missions**
 - ✓ 8 missions (dont 1 mission de terrain : gîtes larvaires)
- **Partenariat**
 - ✓ Principaux partenaires : SVS-AP, Fiocruz, CHC/CIC, CTG, ...
 - ✓ Participation aux ateliers : 24 personnes, 15 organismes : GF (8 personnes, 5 organismes), BR (13, 8), SR (3, 2)

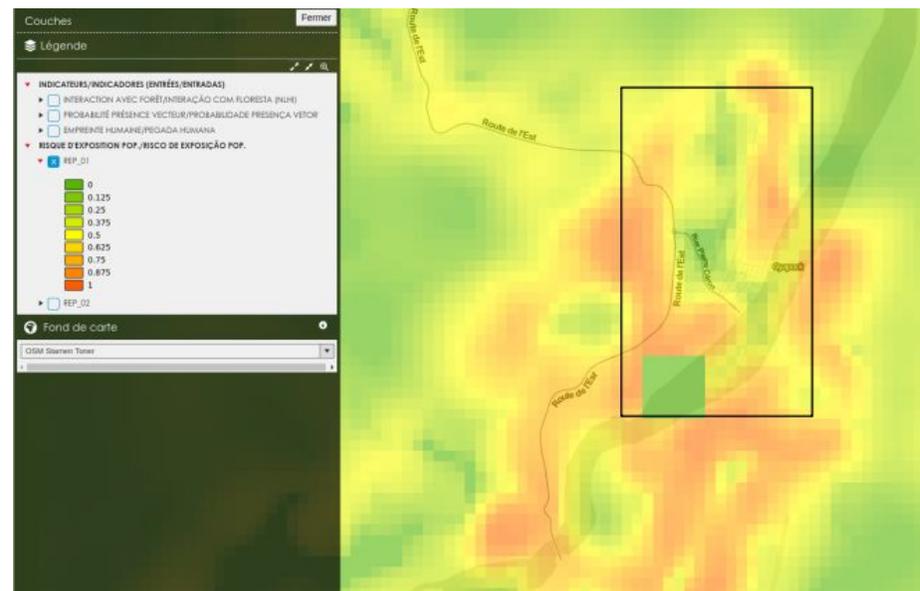
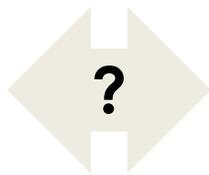
<https://progysat.org/fr/les-ressources/>
→ Santé et environnement

Perspectives

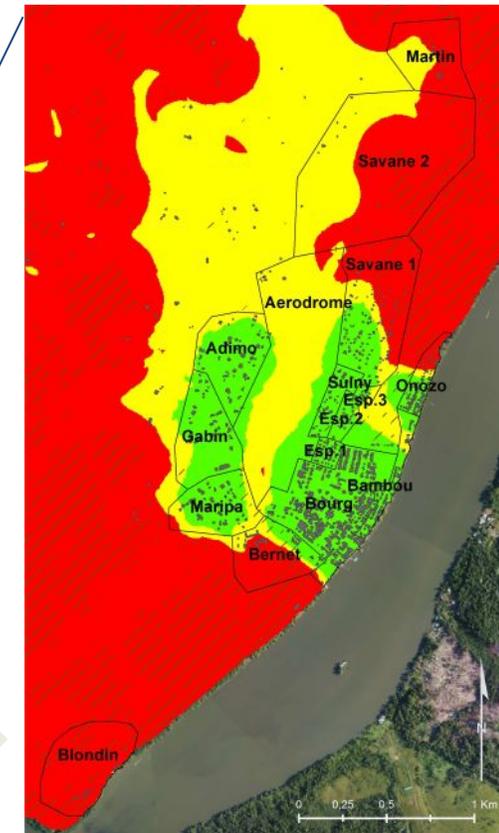
- Discuter / modifier le modèle conceptuel (cf. atelier de vendredi)
- Evaluer les cartes de risque
- Faciliter la mise à jour des indicateurs (apprentissage automatique ?)
- ...



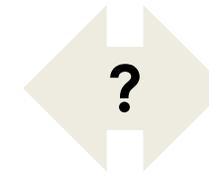
ARS Guyane,
SpF-CIRE Guyane,
IPG, 2018



Moua et al., PROGYSAT



Adde et al., 2016



Prochains ateliers ... Centre IRD, Cayenne

- Jeudi 29/06, matin
“Cartographie du risque lié aux maladies vectorielles (focus sur le paludisme)”
- Jeudi 29/06, après-midi
“Urbanisation”
- Vendredi 30/06, matin
“Atelier conjoint Urbain - Santé : comment appréhender la ville par satellite pour des études en santé ?”

Moua et al., PROGYSAT

French guiana

- Yassamine Lazrek (IPG/Parasitology lab./CNR Palu)
- Jean Bernard Duchemin (IPG/Entomology lab.)
- Johana Restrepo (CTG/LAV, Entomology)
- Yann Lambert (CHC/CIC, Malakit project)
- Luisiane Carvalho (SPF/CIRE Guyane, malaria referrer)
- Alice Sanna (CHC/CIC, OMS/OPAS)
- Françoise Douchin (CNES/Remote sensing applications)
- Joseph Rwagitinywa (CTG/LAV)
- Loreinzia Clarke (CTG/LAV)
- Patrice Azor (CTG/LAV)

Colleagues of ESPACE-DEV and of IRD French Guiana

Yi Moua, Christophe Charron, Jean-François Faure, Thibault Catry, Claire Teillet, Isabelle Mougnot, Stéphane Debard, Vincent Armand, Jean-François Girres, Victoria Agazzi, IRD Cayenne team ...

Brazil (* Amapá e Amazonas)

- *Margarete Gomes (SVS-AP)
- *Igor Fernando dos Anjos Barros (SVS-AP)
- *Anaytatyana Maciel (SVS-AP, VigiFronteiras-Brasil program)
- *Allan Kardec Galardo (IEPA)
- *José-Joaquín Carvajal (ILMD-Fiocruz, LMI Sentinela)
- Helen Gurgel (UnB/LAGAS, LMI Sentinela)
- Christovam Barcellos (Fiocruz/ICICT, Climate and Health Observatory, LMI Sentinela)
- Paulo Peiter (Fiocruz/IOC/LDP, LMI Sentinela)
- Martha Mutis (Fiocruz/IOC/LDP, Malakit Project, LMI Sentinela)
- Anapaula Martins Mendes (UNIFAP, Fiocruz/IOC/LDP, LMI Sentinela)
- Joyce Mendes Pereira (Fiocruz/LAFICAVE)
- Quesia Amorim (Fiocruz/LAFICAVE)
- Ricardo dos Passos (MH, Zoonoses and vector-disease surveillance coordination)
- Carolina de Abranches

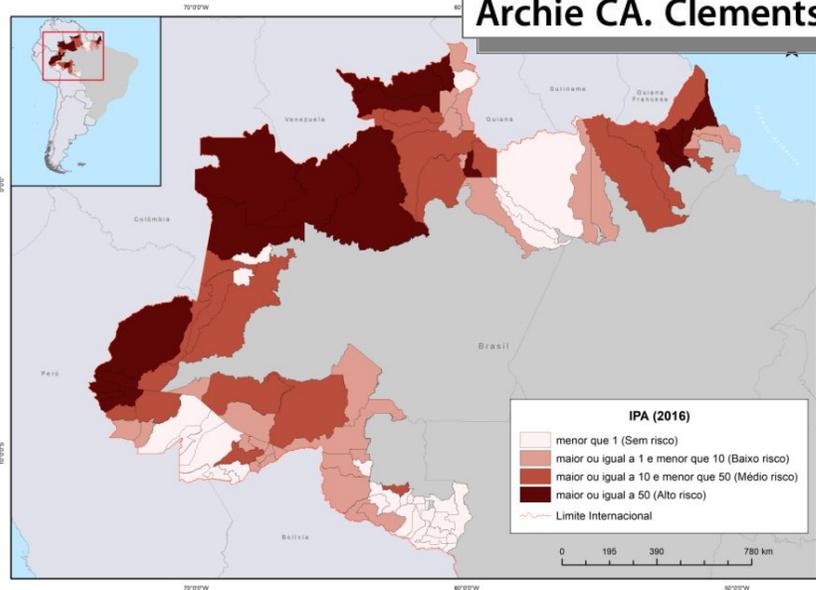
Suriname

- Frans Amatali (Malaria program, MOH of Suriname, Suriname)
- Oscar Lapouble (PAHO/OMS, Suriname)
- Stephanie Cheuk-Alam (Bureau of Public Health, MOH of Suriname, Suriname)

Cross-Border Malaria: A Major Obstacle for Malaria Elimination

Kinley Wangdi^{*,§,1}, Michelle L. Gatton¹, Gerard C. Kelly^{*},
Archie CA. Clements^{*}

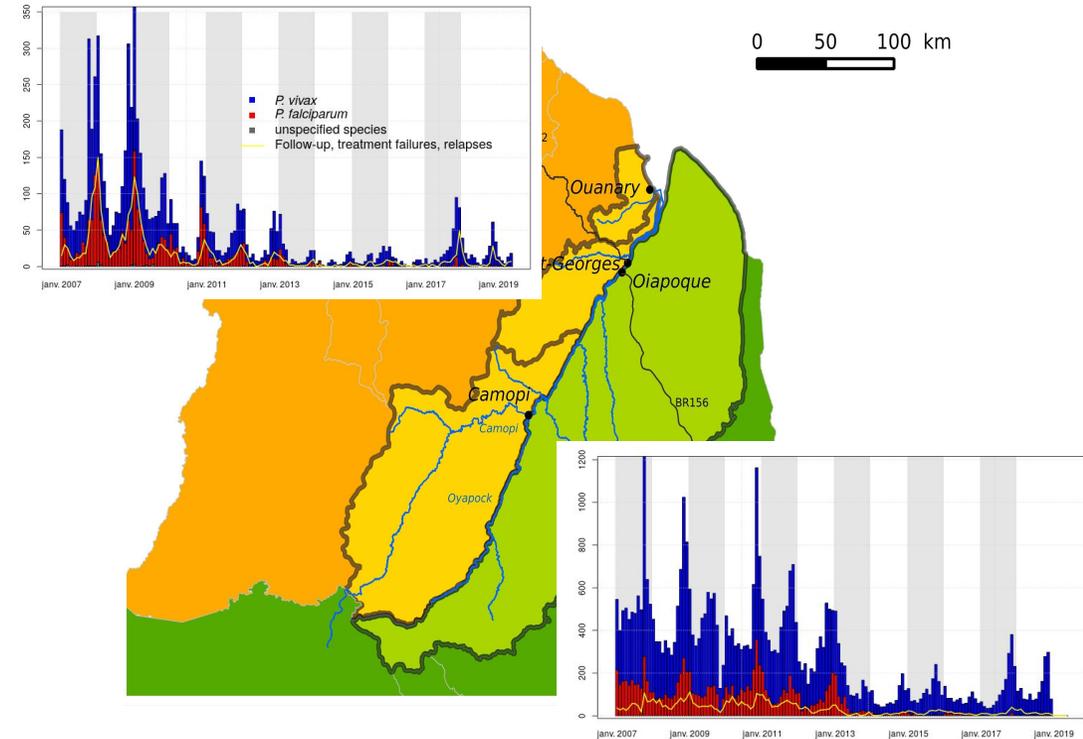
[Wangdi et al., 2015]



Mapa 5- Distribuição do Índice Parasitário Anual Médio (IPA) 2016 nos 98 municípios que conformam a área de fronteira brasileira na Amazônia.

- **Malaria in border municipalities**
 - **2003: 24,8 %** of the cases
 - **2016: 61,3 %**
- [Franco, 2019]

- **BR (Oiapoque): +61%** of cases between 2016 and 2017 (**2017: 1595 cases**)
- **GF (border municipalities): +263%** of cases between 2016 and 2017 (**2017: 341 cases**)



[Saldanha et al., 2020
Mosnier et al., 2020]

Definitions

- **Brazil elimination plane :**
- **Receptividade**
 - Caraterísticas ambientais que tornem possível a presença do vetor e a transmissão vetorial a partir de reservatórios humanos.
 - Na prática, consideramos receptiva qualquer área com registro de identificação de vetores da malária nos últimos cinco anos.
- **Vulnerabilidade**

Cross-Border Malaria: A Major Obstacle for Malaria Elimination

Kinley Wangdi^{*,§,1}, Michelle L. Gatton¹, Gerard C. Kelly^{*},
Archie CA. Clements^{*}

[Wangdi et al., 2015]

- **Sub-nominal offer and access to care**
 - Cross-border **mobility** of populations
 - Carriers of parasites
 - "Invisible" to health services (illegality)
 - Significant **socio-economic inequalities**
 - **Different national public policies/strategies** for disease surveillance, prevention and control
 - **Lack of interoperability** of data and information systems
 - ...
- ⇒ **Persistence of transmission foci**
- ⇒ **Emergence of resistances (vectors and parasites)**
- ⇒ **Lack of unified and shared representation of the situation**
- ⇒ **Lack of joint and concerted actions**