



#### **PROGYSAT**

## Projet de coopération Régionale d'Observation des GuYanes par SATellite

Descriptif Projet

Porteur:

IRD - Centre de Guyane

#### **PROGYSAT**

### Projet de coopération Régionale d'Observation des GuYanes par SATellite

# Cartographie du risque de maladies transmises par les moustiques dans le contexte transfrontalier Guyane française - Amapá »

#### (RiscoTrans)

Fiche résumé	Resumo
Porteu-r-se: Emmanuel Roux (IRD/ESPACE-DEV)	Coordinador-a: Emmanuel Roux (IRD/ESPACE-
et Margarete Gomes (SVS-AP)	DEV) e Margarete Gomes (SVS-AP)
Problématiques de santé: Paludisme et	Questões de saúde: Malária e arbovírus
arboviroses transmises par les moustiques Aedes	transmitidos por mosquitos Aedes (dengue,
(dengue, chikungunya, zika,)	chikungunya, zika,)
Zones d'étude : Guyane française et Amapá	Áreas de estudo: Guiana Francesa e Amapá
Objectifs	Objetivos
transmission des maladies vectorielles (paludisme et arboviroses transmises par les moustiques du	
genre Aedes)	gênero <i>Aedes</i> )
Méthode	Método



- Recensement, production, diffusion et actualisation de couches d'information spatialisées et multi-thématiques cohérentes spatialement et temporellement;
- Construction de modèles conceptuels du risque de paludisme et des maladies transmissibles par Aedes;
- Cartographie du risque de transmission
- Censo, produção, disseminação atualização de camadas de informação espacializadas e multitemáticas, espacialmente coerentes temporalmente;
- Construção de modelos conceituais do risco de malária e doenças transmissíveis pelo Aedes;
- Mapeamento do risco de transmissão

#### Résultats attendus

« data papers », connaissances, cartes de risque

UNIFAP, Fiocruz, UnB; Guyane française/France: Fiocruz, IRD/ESPACE-DEV, ARS-Guyane, IPG, CHAR/CDPS, IRD/MIVEGEC, Univ. d'Artois

#### **Resultados esperados**

Publications scientifiques, bases de données, Publicações científicas, bases de dados, « data papers », conhecimentos, mapas de risco

Partenariat envisagé: Brésil: SVS-AP, IEPA, Parceria prevista: Brasil: SVS-AP, IEPA, UNIFAP, UnB; Guyane française/France: CTG, IRD/ESPACE-DEV, ARS-Guyane, IPG, CTG, CHAR/CDPS, IRD/MIVEGEC, Univ. d'Artois



#### Contexte général et problématique

Les maladies vectorielles que sont le paludisme et les arboviroses transmises par les moustiques du genre Aedes (Dengue, Zika, Chikungunya, ...) constituent un problème de santé publique majeur dans les pays du biome Amazonien et sur le plateau des Guyanes en particulier. Toutefois, les situations épidémiologiques, les connaissances et les priorités d'action diffèrent significativement d'une maladie à l'autre. Alors que le paludisme est en voie de pré-élimination voire d'élimination, la Dengue présente quant à elle un profil endémo-épidémique avec des épidémies récurrentes. Le Chikungunya et le virus Zika ont quant à eux fait leur apparition récemment, en 2014 et 2016, respectivement.



Figure 1: Carte du risque de paludisme en Guyane – 2018: Vert: pas de transmission au cours de l'année précédente; Jaune: Risque faible – Existence de cas mais pas de transmission dans les bourgs; Orange: Risque fort – Transmission du paludisme dans la zone. Sources: Direction de la Démoustication et des Affaires Sanitaires de la Collectivité Territoriale de Guyane – ARS de Guyane – CNR Paludisme, Pôle Zones endémiques - Forces Armées de Guyane – Pôle des Centres Délocalisés de Prévention et de Soins (CDPS) du Centre



Hospitalier Andrée Rosemon – Laboratoires de Biologie Médicale de ville et des Centres Hospitaliers – Cellule d'intervention en région (Cire) Guyane de Santé publique France ; **Validation :** Comité d'experts des maladies à caractère épidémique, le 16 mars 2018 ; **Réalisation :** ARS Guyane en collaboration avec l'Institut Pasteur de la Guyane et la Cire Guyane/SpFrance.

Réalisée à dires d'experts, cette carte présente une forte subjectivité que le projet RiscoTrans contribuera à réduire, tout au moins en ce qui concerne les communes frontalières avec le Brésil.

Depuis 2012, la coopération entre la Guyane et le Brésil sur le paludisme transfrontalier s'est développée et s'est notamment fixée comme objectif la construction d'un observatoire transfrontalier du paludisme, visant à intégrer, harmoniser et diffuser des données et connaissances sur la maladie, des points de vue épidémiologique, entomologique, environnemental et socio-démographique (cf. <a href="https://climaesaude.icict.fiocruz.br/fr/amapa-guyana-francaise">https://climaesaude.icict.fiocruz.br/fr/amapa-guyana-francaise</a>; Roux et al. 2014; Barcellos et al., 2016).

En particulier, un prototype d'un système automatique d'intégration, d'harmonisation et de visualisation des données épidémiologiques du paludisme à la frontière guyano-brésilienne a été développé. Il démontre la faisabilité d'une surveillance transfrontalière et l'intérêt d'une telle surveillance pour la compréhension des dynamiques spatiale et temporelle, le contrôle et l'élimination de la maladie.

Du point de vue de l'entomologie, une base de données spatialisées des captures d'*Anopheles* réalisées en Guyane et dans la municipalité d'Oiapoque a été construite dans le cadre de la thèse de Yi Moua (Moua, 2017) et a permis de prédire la qualité de l'habitat du principal vecteur du paludisme en région amazonienne, *Anopheles darlingi*, à l'échelle de la Guyane (Moua et al., 2017).

Les travaux réalisés dans le cadre des projets OSE-Guyamapá (PO Amazonie – FEDER Guyane), GAPAM-Sentinela (Guyamazon) et TéléPal (CNES/TOSCA) ont quant à eux permis de définir un indice de dangerosité du paysage entrant dans la construction du risque d'exposition à *An. Darlingi* (Li et al., 2016, 2017), ainsi qu'une carte de l'occupation et de l'usage du sol identifiant les zones humides de la zone transfrontalière, possibles gîtes larvaire d'*An. darlingi*, en combinant des images satellitaires optiques et radar (Catry et al., 2018).

Des équipes partenaires ont également étudié qualitativement et quantitativement les flux transfrontaliers de personnes, quelle que soit la raison du déplacement.



Au vue des avancées réalisées, une meilleure prise en compte des différentes dimensions du paludisme, dans le but d'estimer un risque intégré de la transmission de la maladie, est maintenant envisageable. Un tel travail doit s'appuyer sur un modèle conceptuel détaillé du risque, qui soit adapté aux réalités des maladies vectorielles et dépasse le simple produit d'un aléa naturel (souvent réduit à la présence et à la densité de vecteurs) et d'une vulnérabilité humaine (se limitant souvent à la présence de foyers de peuplement humains).

Toutefois, des efforts de recherche bilatéraux doivent être réalisés afin d'assurer la mise en conformité (empreintes géographiques, périodes, résolutions spatiale et temporelle) des différentes couches d'information, ainsi qu'une mise à jour de ces couches qui soit adaptée aux changements environnementaux et socio-démographiques de la région.

De plus, l'expérience accumulée sur le paludisme par les équipes partenaires doit permettre d'étudier d'autres maladies, en particulier les arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes (Ae. aegypti* plus particulièrement) que sont la Dengue, le Chikungunya et le Virus Zika.

#### Objectifs et enjeux

L'objectif principal du projet est la spatialisation, à une fréquence qu'il conviendra de déterminer en fonction des besoins et des contraintes relatives à l'obtention ou à la production des données, d'un risque de transmission des maladies vectorielles (paludisme et arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes*).

#### Objectifs spécifiques :

- Rendre opérationnel le système automatique d'intégration, d'harmonisation et de visualisation des données épidémiologiques du paludisme transfrontalier à la frontière guyano-brésilienne;
- assurer la diffusion et la mise à jour des informations et indicateurs spatialisés produits dans la zone transfrontalière: indicateurs entomologiques et qualité d'habitat, occupation et usage du sol, indicateur de « dangerosité du paysage », mobilités transfrontalières, etc. afin



- de faciliter la construction d'indicateurs, d'évaluer les impacts relatifs des facteurs de risque et d'implémenter le modèle conceptuel du risque (cf. ci-après);
- Construire un modèle conceptuel du risque de transmission du paludisme et des arboviroses transmises par *Aedes* dans la région d'étude ;
- contribuer à mieux identifier et décrire la saisonnalité du risque de transmission du paludisme dans la zone transfrontalière Guyane-Brésil ;
- contribuer à la spatialisation du risque de transmission des arboviroses transmises par Aedes
   (aegypti): Dengue, Chikungunya et Zika, dans les zones urbaines de l'Île de Cayenne et de
   Saint-Georges-de-l'Oyapock (Guyane française), d'Oiapoque et de Macapá (Macapá, Brésil).

L'enjeu principal et de contribuer à mieux cibler les actions de prévention et de lutte, et ainsi participer à l'élimination du paludisme dans la région (plan de lutte contre la paludisme en Guyane 2015-2018 et plan d'élimination du paludisme au Brésil à l'horizon 2030, Objectif du Développement Durable 3.3 visant à éliminer le paludisme d'ici 2030), ainsi qu'à la surveillance et à la prévention de l'émergence d'arboviroses.

#### Zones d'étude

Les zones d'étude diffèrent selon la problématique de santé étudiée : le paludisme sera considéré dans la zone transfrontalière Guyane-Brésil, constituée des communes frontalières de Guyane française (Ouanary, Saint-Georges-de-l'Oyapock et Camopi) et du Brésil (Oiapoque) ; les arboviroses transmises par *Aedes* seront étudiées dans les zones urbaines de l'Île de Cayenne et de Saint-Georges-de-l'Oyapock (Guyane française), d'Oiapoque et de Macapá (Macapá, Brésil).

Les interactions entre les milieux urbain et « naturel », qui constituent des zones où circulent à la fois des maladies « rurales » comme le paludisme et des maladies « urbaines » comme les arboviroses transmises par les *Aedes* (en particulier à Saint-Georges-de-l'Oyapock et à Oiapoque), focaliseront particulièrement l'attention de l'équipe projet.



#### Méthodes

La méthode repose sur trois grands axes de travail :

- Le recensement, la production, la diffusion, et le développement des conditions d'actualisation de couches d'information spatialisées et multi-thématiques cohérentes spatialement et temporellement;
- La construction de modèles conceptuels du risque de paludisme et des maladies transmissibles par les moustiques du genre *Aedes* (*Ae. aegypti* plus précisément) ;
- La cartographie du risque de transmission.

Les actions spécifiques associées à ces trois axes sont détaillées ci-après.

#### Données spatialisées multi-thématiques

#### a) Caractérisation du territoire

Cette action vise à décrire les habitats potentiels des vecteurs, au travers de variables environnementales (occupation du sol, empreinte humaine, unités et paysages géomorphologiques, etc.) et climatiques (précipitations, températures, humidité, ensoleillement, etc.), ainsi qu'à identifier et caractériser différents niveaux de vulnérabilité des populations humaines. Elle se décline selon les deux emprises spatiales décrites plus haut:

• La zone transfrontalière Guyane-Brésil (Moustiques Anopheles, paludisme)

Deux des couches d'information ayant permis la spatialisation de la qualité de l'habitat écologique d'An. darlingi en Guyane couvrent l'intégralité de la zone d'étude : la cartographie des paysages forestiers produite par le CIRAD (Gond et al., 2011), couvrant le plateau des Guyanes; le modèle numérique d'élévation SRTM produit à l'échelle mondiale par la NASA; la carte de l'empreinte humaine, produite en Guyane par de Thoisy et al (2010) et trouvant un équivalent à l'échelle globale (bien que moins détaillé), avec la cartographie du Global Human Footprint distribué par le Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) de la NASA. D'autres couches peuvent être obtenues facilement auprès des



organismes brésiliens compétents (réseau routier), mais certaines sont, pour l'instant, spécifiques à la Guyane (formes de terrain et paysages géomorphologiques, Guitet et al. 2013, qui font l'objet de travaux en Amapá dans le cadre du projet BIOMAP, Guyamazon 2015-2017). Le projet permettra de parfaire cet inventaire des couches d'information disponibles, de produire les informations manquantes et de poser les hypothèses nécessaires à l'élaboration de modèles de risque à l'échelle de la zone d'étude.

Il s'agira également d'accéder à des informations plus détaillées sur l'occupation et l'usage du sol, en particulier l'identification des zones d'eau sous couvert végétal (forêts inondées en particulier) et leur dynamique spatio-temporelle, selon l'approche développée par Catry et al. (2018), combinant images satellitaires radar et optiques afin de pallier la présence de nuages et du couvert végétal.

La possibilité et la pertinence de l'exploitation des séries temporelles de cartes d'irradiation solaire (Albarelo et al, 2015) – en lien avec le volet « Ressources naturelles » du projet PROGYSAT – et de pluviométrie (Ringard et al., 2015) seront également explorées.

Des connaissances seront déduites de la combinaison des couches d'informations précédentes, en particulier la distribution spatiale de la qualité d'habitat des Anophèles, en s'appuyant sur les méthodologies proposées et développées par Moua et al. (2017) ;

#### Les zones urbaines (Moustiques Aedes, arboviroses)

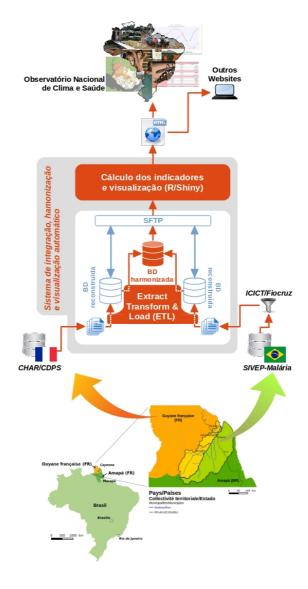
Les paysages urbains favorables à la prolifération des moustiques *Aedes*, ainsi que les différents niveaux de vulnérabilité des populations humaines, seront identifiés et caractérisés au moyen de la télédétection à très haute résolution spatiale. Ces travaux s'appuieront sur les résultats de projets antérieurs, notamment le projet DETECT (CNES/TOSCA) ayant mis en relation des données de caractérisation du milieu urbain avec les indicateurs entomologiques à Matoury (Guyane française), sur le projet APUREZA (CNES/TOSCA), ainsi que sur l'axe ADEUSA (Urbain) du présent projet PROGYSAT, visant à étudier, par télédétection, la dynamique d'extension de la tâche urbaine et les paysages urbains.

#### b) Intégration et harmonisation de données épidémiologiques et entomologiques



Vecteurs: l'inventaire des sites de présence d'anophèles en Guyane, réalisé dans la cadre du doctorat de Yi Moua (Moua, 2017), sera complété suite aux collectes réalisées par l'Institut Pasteur de la Guyane (IPG) dans la région de Trois Palétuvier en 2017 ainsi que, du coté brésilien, par une revue de la littérature et un recensement des données existantes, mené en partenariat avec les équipes d'entomologie médicale de l'Amapá. Il sera publié dans des bases de données ouvertes (en particulier la *Global Biodiversity Information Database*, GBIF), accompagné d'un « article de données » (*Data paper*).

**Figure 2 :** Flux de données et technologies prévus pour le système d'intégration, harmonisation et visualisation des données du paludisme transfrontalier entre la Guyane française et le Brésil (Roux et al., 2018)



Un travail de recensement sera réalisé en ce qui concerne les sites de présence, et si possible les densités et le statut de résistance aux insecticides des moustiques *Aedes aegypti*, dans les villes de Cayenne/Matoury, Saint-Georges-de-l'Oyapock, Oiapoque et Macapá, grâce aux travaux conjoints, de capture et d'analyse, réalisés par l'IPG (Isabelle Dusfour) et la Fondation Oswaldo Cruz (Ademir Martins).

Enfin, idéalement, un recensement des actions de lutte anti-vectorielle (pulvérisation, utilisation de larvicides, distribution de moustiquaires imprégnées) sera réalisé afin de permettre des études sur les impacts de ces actions et leur intégration dans les modèles de risque.

• **Epidémiologie**: le système d'intégration, d'harmonisation et de visualisation du paludisme transfrontalier (*cf.* Figure 3) fournira les données sur la répartition de la maladie. Le projet permettra l'amélioration du système, par le géocodage des localités brésiliennes manquantes et le calcul et la spatialisation des taux d'incidence.

L'équipe projet travaillera également à l'adaptation du système précédent afin d'intégrer, harmoniser et visualiser les données épidémiologiques transfrontalières relatives aux arboviroses transmises par *Aedes*.

#### c) Diffusion

Le projet participera aux efforts de diffusion de données de base et d'indicateurs. Ces efforts sont partagés par le projet PROGYSAT, l'Observatoire brésilien Climat et Santé, le Pôle Theia dans le cadre du Centre d'Expertise Scientifique (CES) « Maladies infectieuses (http://www.theia-land.fr/fr/themes/santé)», et ce au travers des infrastructures de données associées.

#### Modèles conceptuels de risque

Le modèle conceptuel de risque de paludisme représenté Figure 3 sera discuté et révisé afin de proposer un modèle valide à la fois pour la communauté scientifique et les acteurs de la santé. L'équipe projet s'appuiera sur la littérature, sa propre expertise et le modèle de construction du



risque utilisé par les acteurs de santé de Guyane française et ayant conduit à la carte de risque de la Figure 1.

La démarche de construction se veut itérative, résultant d'un va et vient permanent entre la collecte / production de données et la construction du modèle, et ce afin d'assurer l'opérationnalité du modèle conceptuel.

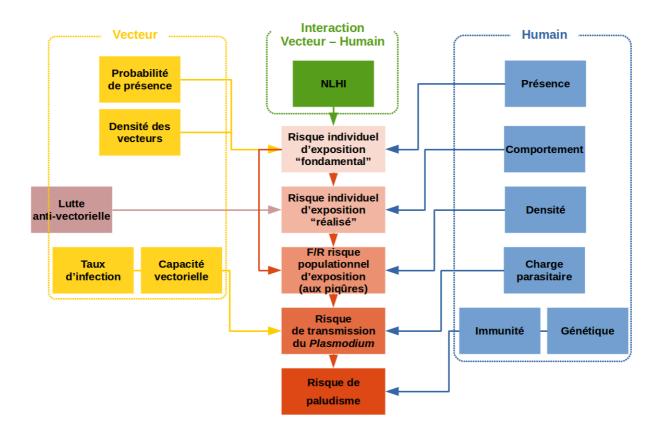


Figure 3: Une proposition d'un modèle de construction du risque de transmission du paludisme (Roux et al., 2017)

La même démarche méthodologique sera utilisée afin de proposer un modèle de risque des arboviroses transmises par Aedes.

#### Cartographie du risque

Les modèles de risque proposés seront implémentés et spatialisés en combinant les couches d'information disponibles, en s'appuyant sur les connaissances des acteurs de la santé et sur des Projet PROGYSAT – 2019 - Unité Mixte de Recherche Espace-DEV



approches objectives exploitant les données épidémiologiques et des méthodes d'apprentissage, de régression statistiques et de sélection de modèles.

La validation des résultats sera assurée par les acteurs de la santé, en s'appuyant sur les données épidémiologiques transfrontalière disponibles.

#### Résultats attendus et valorisation

#### Les résultats attendus sont :

- des couches d'information de base permettant une caractérisation multi-thématique et actualisée du territoire transfrontalier entre la Guyane et le Brésil et des zones urbaines de l'Île de Cayenne, Saint-Georges, Oiapoque et Macapá,
- La mise à disposition des couches d'information précédentes au travers d'infrastructures de données;
- Des modèles conceptuels de risque de transmission pour le paludisme et les arboviroses transmises par *Aedes* ;
- Des cartes de risques actualisées associées aux maladies précédentes.

#### Ces résultats seront valorisés au travers :

- de publications scientifiques dans des revue de référence du domaine (International journal
  of health geographics, geospatial health, malaria journal, journal of medical entomology,
  etc.)
- de « data papers » ;
- de la dissémination des données au moyen des bases de données ouvertes (GBIF, VectoBase)
   et des infrastructures de données existantes et/ou développées dans le cadre du projet.

#### **Partenariat**



**Tableau 1:** Organismes partenaires et participants à l'axe RiscoTrans (NB: Certaines personnes citées ci-dessous n'ont pas encore donné leur accord formel pour participer au projet)

Amapá, Brésil	Guyane française, France
Superintendência da Vigilância em Saúde	IRD/ESPACE-DEV
<ul> <li>do estado do Amapá (SVS-AP) :</li> <li>Margarete Gomes (coordinadora)</li> <li>Instituto de Pesquisas Científicas e</li> </ul>	<ul> <li>Emmanuel Roux (coordinateur)</li> <li>Nadine Dessay (lien avec l'axe ADEUSA du projet)</li> <li>Thibault Catry</li> <li>Renaud Marti</li> </ul>
<ul> <li>Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA)</li> <li>Allan Kardec Galardo</li> </ul>	Isabelle Dusfour
Universidade Federal do Amapá, campus	
d'Oiapoque (UNIFAP-Oiapoque)	Hôpital de Cayenne, service des Centres
<ul><li>Anapaula Mendes</li><li>Edcarlos Vasconselos</li></ul>	<ul><li>Délocalisés de Prévention et de Soins (CDPS)</li><li>Emilie Mosnier</li></ul>
Fiocruz	Agence Régionale de Santé de la Guyane (ARS
<ul><li>Christovam Barcellos</li><li>Ademir Martins</li></ul>	Guyane)  • Alice Sanna
	Direction de la démoustication de la
Helen Gurgel	<ul> <li>Collectivité Territoriale de la Guyane</li> <li>Sandrine Chantilly</li> <li>Arise Chocho</li> <li>Johanna Restrepo</li> </ul>
	IRD/MIVEGEC
	Vincent Corbel
	Université d'Artois, Laboratoire Discontinuités
	Valérie Morel

