

## Projet PALUCLIM

# IMPACTS DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION DES VECTEURS DU PALUDISME EN ZONE RURALE DU SAHEL ET STRATÉGIES D'ADAPTATION *APPLICATION À LA RÉGION DE NOUNA AU BURKINA-FASO*

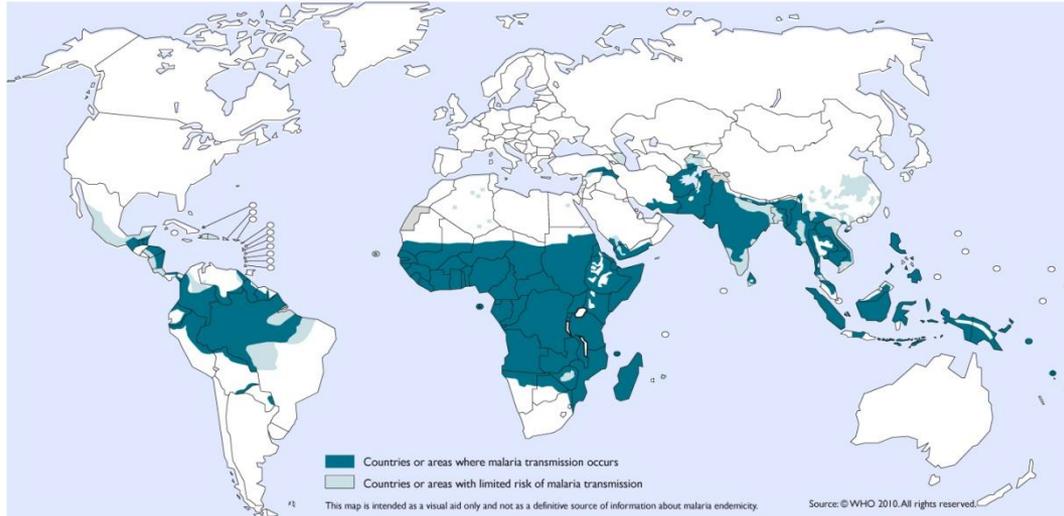
Cécile Vignolles

Conférence « Changement climatique et santé »

2 et 3 octobre 2014

Paris-Meudon

Malaria, countries or areas at risk of transmission, 2009



The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the World Health Organization concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. Dotted lines on maps represent approximate border lines for which there may not yet be full agreement.

Data Source: World Health Organization  
Map Production: Public Health Information and Geographic Information Systems (GIS)  
World Health Organization



## Première maladie parasitaire dans le monde transmise par la piqûre d'Anophèles

- 50% de la population mondiale exposée
- ~200 millions de cas par an (OMS, 2014)
- ~630 000 décès par an (OMS, 2014)

## Problème de santé publique majeur

- ⇒ Cause majeure de la pauvreté
- ⇒ Frein important au développement économique des PVD

### Au Burkina Faso

- Paludisme : principale cause de mortalité, et principale cause d'hospitalisation
- Population à risque : 15 millions
- En 2007, 5.4 million de cas et ~12000 morts (taux de mortalité ~2%)
- maladie endémique mais dépendante de la distribution des pluies

✓ *Besoin des acteurs de la santé publique d'adapter leur politique de gestion de la santé humaine et intérêt pour mettre en place de nouveaux outils de prévision des risques face à l'émergence ou la réémergence des maladies infectieuses*

✓ *Importance des facteurs climatiques et environnementaux dans le déclenchement de certaines épidémies en amplifiant la dynamique de transmission et la diffusion des vecteurs porteurs des agents pathogènes*

✓ *Difficulté pour mettre en place des mesures de contrôle focalisées à cause de la méconnaissance du risque à des échelles locales*

**Besoin de prévision des zones d'exposition des humains aux vecteurs du paludisme pour mettre en place des stratégies d'adaptation efficaces**

## Les objectifs

- ✓ ***Produire des cartes dynamiques du risque vectoriel à l'échelle des villages en s'appuyant sur l'approche conceptuelle de télé-épidémiologie développé par le CNES et ses partenaires ⇒ Cartes de prédiction des gîtes larvaires et de leur productivité***
- ✓ ***Étudier l'impact de la variabilité du climat (du saisonnier jusqu'aux basses fréquences, comprenant les tendances et les changements climatiques) sur la prévision du risques paludique***
- ✓ ***Étudier l'efficacité des stratégies de lutte anti-larvaire comme adaptation au risque de productivité larvaire***

La **télé-épidémiologie** consiste à analyser les relations "climat-environnement-santé" pour mettre en évidence les liens entre l'émergence et la propagation des maladies infectieuses (liées aux vecteurs, à l'eau et à l'air) et les changements climatiques et environnementaux en s'appuyant sur la technologie spatiale

L'objectif final est de fournir aux acteurs de la santé publique des outils/services adaptés permettant de surveiller et prévoir les épidémies ⇔ bâtir/adapter les stratégies d'adaptation face au risque prédit

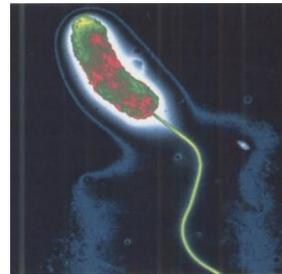
Le CNES avec ses partenaires, a ainsi développé une approche conceptuelle des relations climat-environnement-santé et des produits spatiaux réellement adaptés aux besoins des acteurs de la santé

**Approche multidisciplinaire en lien avec plusieurs disciplines  
basée sur l'étude des mécanismes favorisant l'apparition et la propagation  
de maladies infectieuses**

**Environnement  
Climat**



**SHS**



**Microbiologie**



**Entomologie**



**Vétérinaire**

## **1- COMPRENDRE les MÉCANISMES favorisant l'ÉMERGENCE et la PROPAGATION de la maladie**

- *Observation: Constituer et assembler des jeux de données de terrain multidisciplinaires*
- *Diagnostic: Identifier les facteurs physiques, biologiques et socio-économiques clés associés à la maladie*

## **2- DÉVELOPPER des PRODUITS réellement ADAPTÉS intégrant le spatial**

- *Observation in-situ de l'environnement, et le lien avec les facteurs déclenchant des épidémies*
- *Utilisation des capteurs spatiaux dont les performances spatio-temporelles sont adaptées*

## **3- ÉLABORATION des MODÈLES PRÉDICTIONNELS des impacts de l'environnement et du climat sur la santé**

- *Etablir des cartes de risque innovantes intégrant des données spatiales*
- *Développer des systèmes d'information sur la santé, notamment des systèmes d'alerte précoce*



CNES  
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



Université d'Heidelberg



Centre de Recherche en Santé de Nouna



L'ensemble  
des partenaires

## Comité scientifique

### ➤ Rôle décisionnaire

Mise en place, suivi et contrôle des différentes phases du projet  
⇒ s'assurer de la bonne réalisation de tous les objectifs

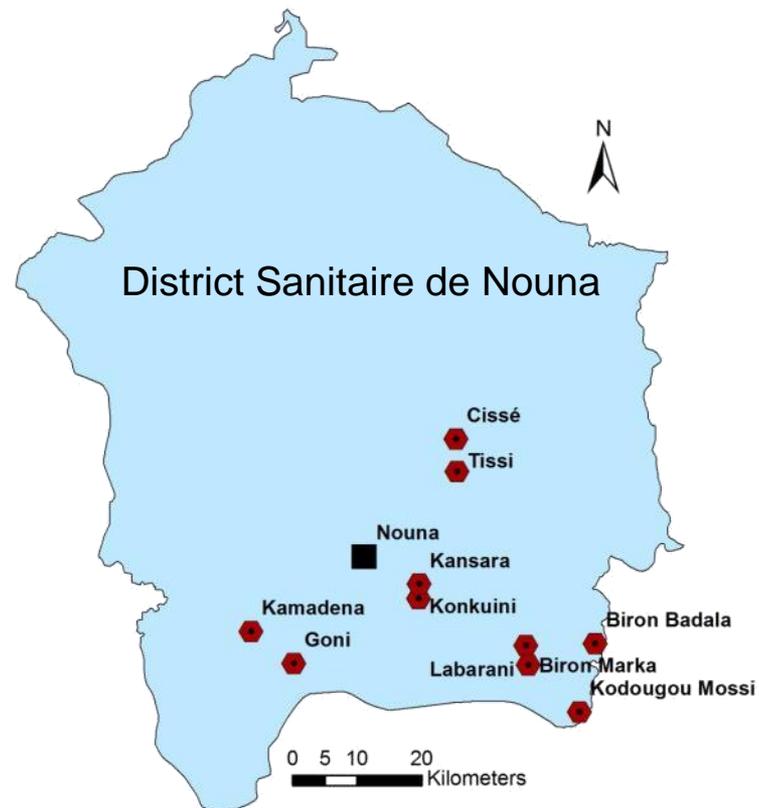
### ➤ Comité composé par

Rainer Sauerborn (Université d'Heidelberg)  
Cécile Vignolles (CNES),  
Norbert Becker (Université d'Heidelberg),  
Yves Tourre (Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University) ,  
Ali Sié (CRSN),  
Christophe Rogier (Institut Pasteur Madagascar)  
Vanessa Machault (LA/OMP)

*Paludisme reste un problème de santé publique majeur au Burkina Faso*



Zone d'étude centrée sur la ville de Nouna dans le région de Kossi (Nord-ouest du Burkina Faso)



Climat Sahélien :  
Pluviométrie ~800 mm  
en 4 à 5 mois  
(juin à septembre)

- ✓ **Tâche 2 (WP 2) Campagne de mesures** (entomologiques, météorologiques, occupation du sol etc.) dans la zone tampon de chaque village retenu pour l'étude
  - ⇒ mieux **comprendre les mécanismes** d'apparition, de maintien et de production des gîtes larvaires
  - ⇒ mesurer la **densité larvaire** pour chacune des collections d'eau identifiées dans les 10 villages de la zone d'étude
  - ⇒ **mesurer l'abondance** des anophèles adultes à l'intérieur des mêmes villages afin d'appréhender la relation hôtes vecteurs



Université d'Heidelberg

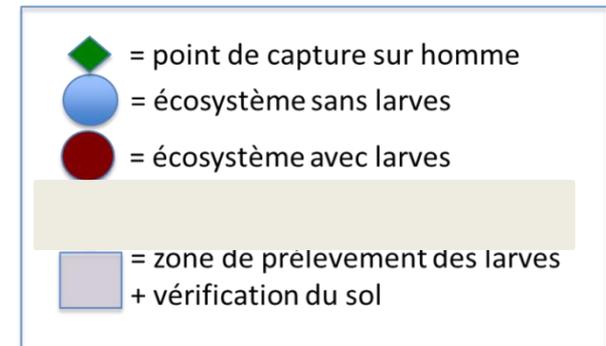
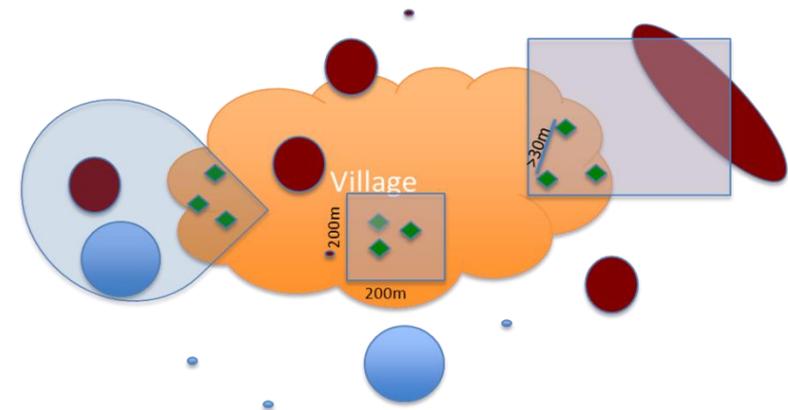


## Mesures réalisées au cours des saisons des pluies de 2011 et 2012

- 10 villages inclus dans le DSS de Nouna
- 3 zones par village
- Relevés entomologiques tous les 10 jours
- Campagne de mi-juin à fin novembre
- Zones choisies en fonction de leur diversité d'occupation du sol

## 4 objectifs

1. Identification de l'occupation du sol autour des villages
2. Identification des collections d'eau
3. Collecte de larves
4. Collecte d'adultes



## ✓ Tâche 3 (WP3) Production des cartes de risque vectoriel

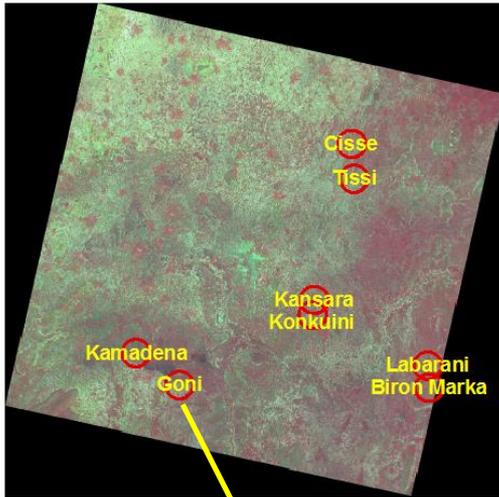
- ⇒ Analyse d'images satellite & mesures de terrain ⇒ risque potentiel de présence de gîtes larvaires dans et autour de chacun des villages
- ⇒ Modélisation du risque par recherche d'associations statistiques entre variables entomologiques (densité larvaire) et variables environnementales et météorologiques
- ⇒ Variables environnementales issues de l'analyse d'images satellite SPOT-5 (calcul d'indices et calcul d'une carte d'occupation du sol)
- ⇒ Variables météorologiques issues des données RFE (Rainfall Estimates) fournies par Météo-France



Université d'Heidelberg



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

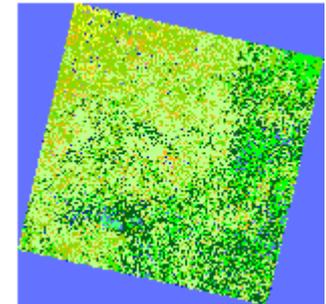
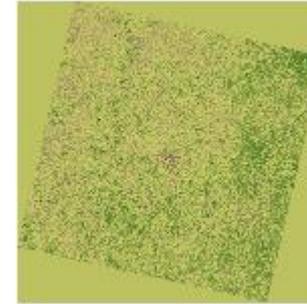


3 zones de prospection dans chaque village (jaune)

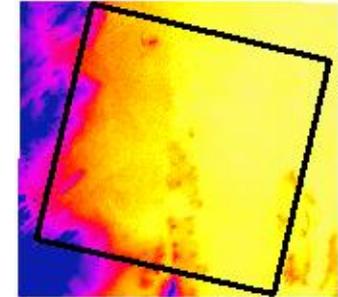
Données de terrain

\* Indices de végétation, humidité

\* Couvert et utilisation du sol



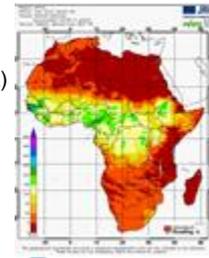
\* Altitude



\* Température (ERA-interim)

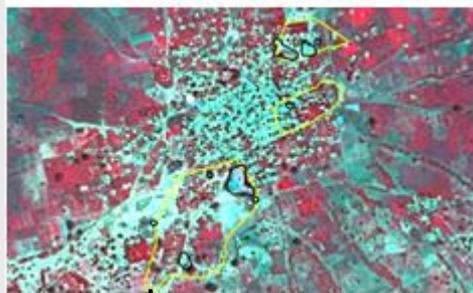
• Pluviométrie (RFE)

RFE : Rainfall Estimates (fusion satellite & in situ data)

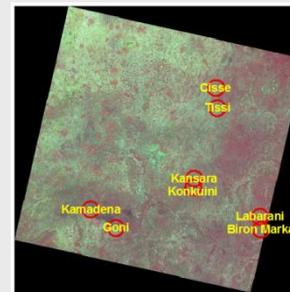


Données météo +  
satellite

### Données terrain -> principaux mécanismes



### Produits spatiaux adaptés



Eau

Humidité

Végétation

NDPI

NDWI

Eau + vgt

Eau libre

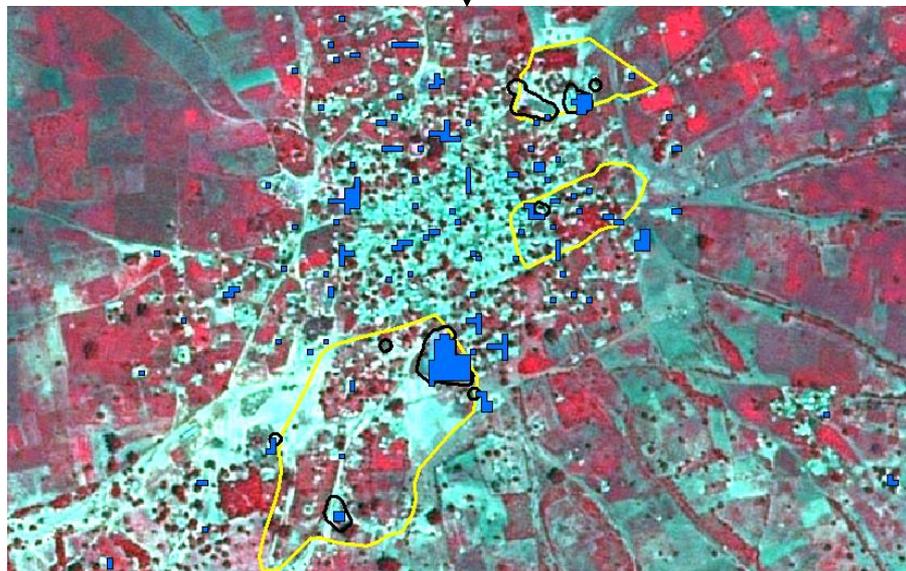


### Recherche des associations statistiques

Régression logistique

Mis en évidence par

Carte des collections  
d'eau  
(annuelle - 10m)

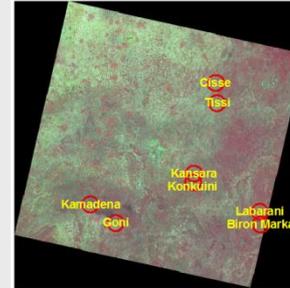


## Détection de la présence de larves

### Données terrain -> principaux mécanismes



### Produits spatiaux adaptés



Végétation, humidité = NDWI

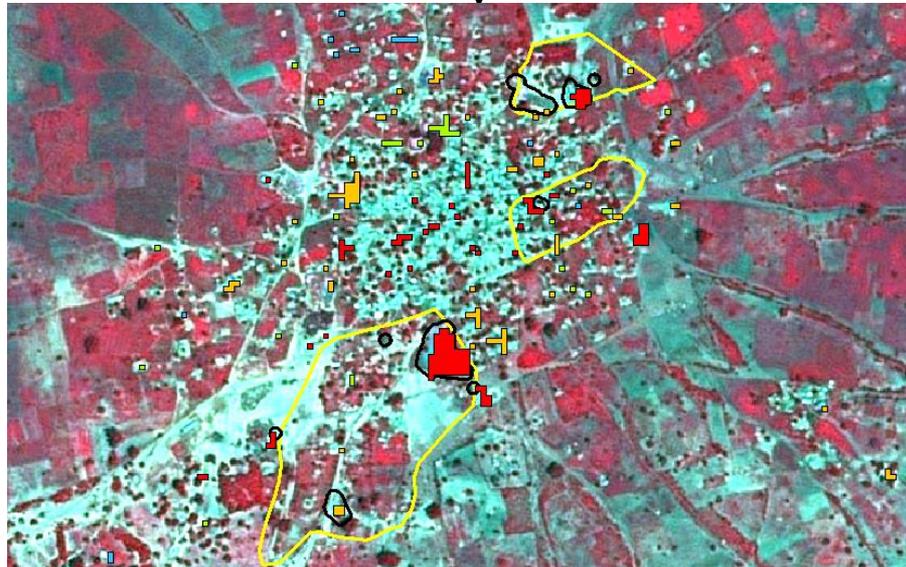


Cumul des pluies

### Recherche des associations statistiques

Régression linéaire

Carte dynamique  
des gîtes larvaires  
(probabilité  
quotidienne –  
10m)



Densité larvaire  
prédite croissante



## ✓ Tâche 4 (WP4) Étude du risque en fonction de la variabilité spatio-temporelle du climat

⇒ Analyse du climat au Sahel (Burkina Faso) à différentes échelles spatio-temporelles

*Analyse de la contribution de variabilité basse fréquence (AMO notamment)*

*Trois échelles de temps sont envisagées:*

- **Saisonnaire**
- **Interannuelle**
- **Changement climatique**

⇒ Analyse de l'impact du climat : utilisation du modèle de Craig (Craig et al., 1999 ou Ermert et al., 2011)

*Traduction des conditions climatiques en indices de risque palustre :*

- **Seuils mensuels de conditions favorables (pour T, HR, RR)**  
**indices mensuels → indices saisonniers**



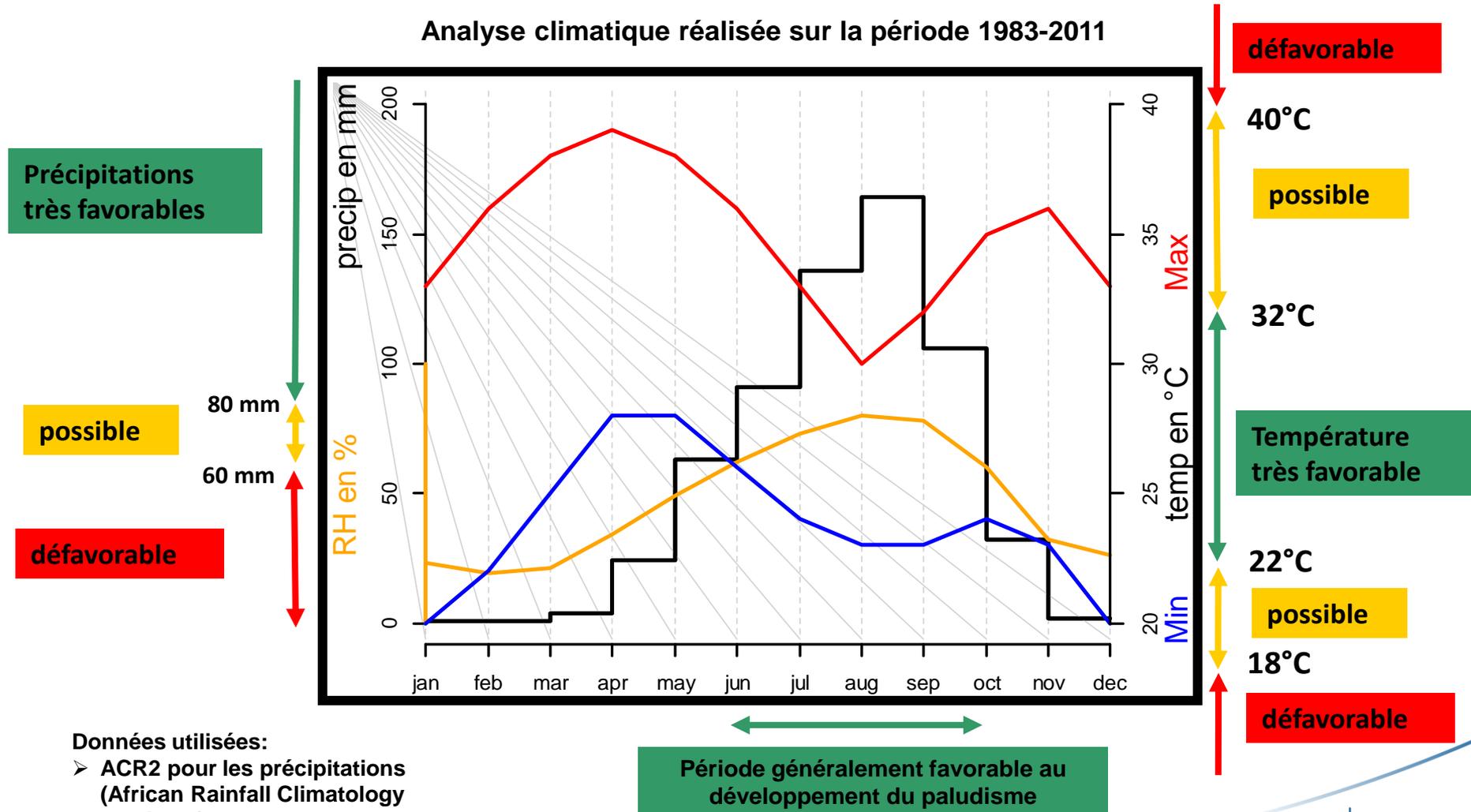
Contribution DClm +GAME/CNRM

# Climatologie du risque palustre de la zone de Nouna

Evaluation de l'incidence des conditions climatiques sur le risque palustre à partir d'un modèle d'impact



Analyse climatique réalisée sur la période 1983-2011



## Analyse climatique du risque palustre de la période 1983-2011

Cartographie des conditions climatiques favorables au paludisme entre 1983 et 2011

YEAR	Précipitation						indice	RH					Température												
	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.		mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	janv.	fev.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	dec.
1983			X	X			0,0	90	100	100	100														
1984			X			X	2,4	50	100	97	93	42													
1985			X	X			0,0	87	100	100	100	39													
1986		X	X	X	X		4,0	39	80	100	100	48													
1987		X	X	X			3,0	93	97	100	100	61													
1988			X	X	X		3,0	63	100	100	100	39													
1989			X	X			2,8	40	97	100	100	52													
1990	X			X			2,9	57	100	100	100	35													
1991	X			X			0,0	55	73	100	100	58													
1992			X	X			0,0	26	90	97	100	58													
1993		X	X	X	X		4,0	43	87	100	100	58													
1994			X	X	X		3,0	60	100	100	100	100													
1995			X		X		2,0	39	70	94	100	58													
1996			X	X			2,2	73	84	100	100	74													
1997			X	X	X	X	4,0	35	90	100	100	71													
1998	X		X	X	X		4,5	23	73	97	100	74													
1999		X	X	X	X		4,0	20	100	100	100	68													
2000	X		X	X	X		4,8	63	94	100	100	39													
2001		X	X	X	X		4,0	80	100	100	100	32													
2002	X	X	X	X	X		5,0	33	87	100	97	45													
2003	X	X	X	X	X		5,0	87	100	100	100	71													
2004		X	X	X			3,0	43	97	100	100														
2005		X	X	X	X		4,0	60	100	100	100	45													
2006	X	X	X	X	X	X	6,0	27	90	100	100	90													
2007		X	X	X	X		4,0	40	100	100	100	13													
2008	X	X	X	X	X		5,0	47	100	100	100	48													
2009	X	X	X	X	X	X	6,0	50	97	100	100	77													
2010	X	X	X	X	X		5,3	19	77	94	100	100													
2011		X	X	X	X		4,0	50	87	100	100	58													

**Cases**  
Colorées = favorables  
Colorées avec X = favorables et précipitations > 80 mm  
Blanches = défavorables

% de jours de pluie par mois	
[Dark Blue]	plus de 60 %
[Light Blue]	40-60% avec des séquences sèches de moins de 4 jours
[Cyan]	40-60% avec des séquences sèches de plus de 4 jours
[Yellow]	25-40%
[Orange]	moins de 25%
% de RH indiqué en chiffre dans chaque case	
[Light Blue]	moins de 50% de jours favorables
[Yellow]	plus de 50% de jours favorables
Température de plus de 50% des jours par mois	
[Green]	22-32°C
[Yellow]	32-40°C
[Red]	supérieur à 40°C
[Cyan]	18-32°C

➔ T et HR toujours favorables  
P facteur limitant

# Analyse du climat aux différentes échelles spatio-temporelle 1/3

## Variations climatiques naturelles des précipitations : impact de l'AMO

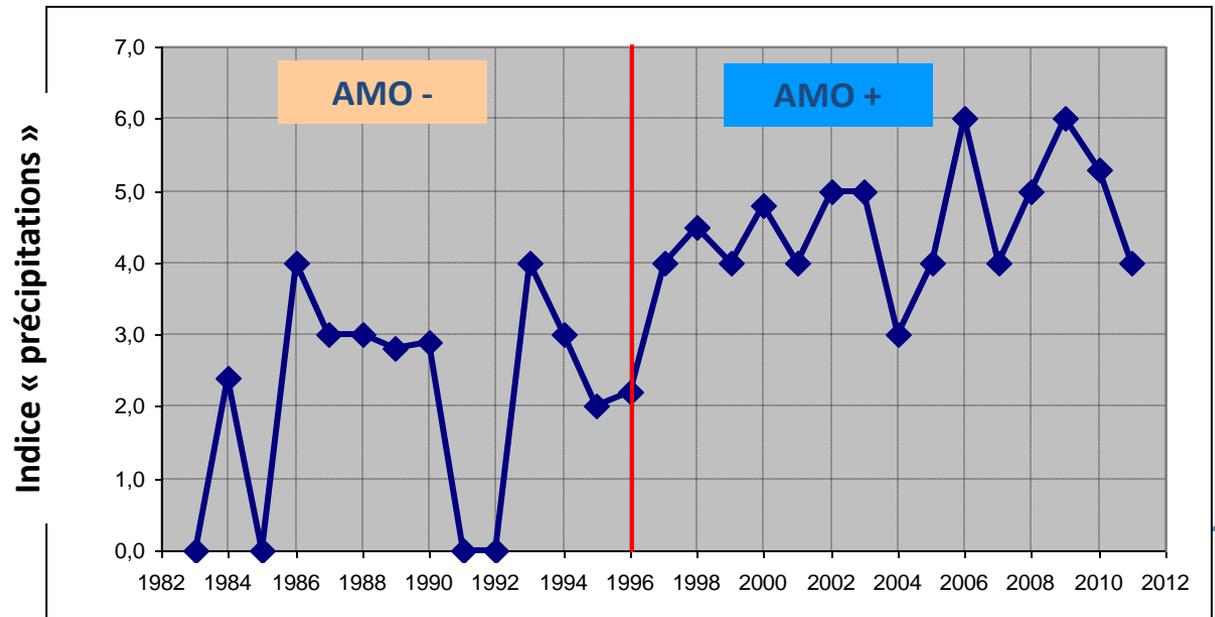
Précipitation							
YEAR	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	Indice
1983			X	X			0,0
1984			X		X		2,4
1985			X	X			0,0
1986	X	X	X	X	X		4,0
1987	X	X	X	X			3,0
1988		X	X	X	X		3,0
1989		X	X	X			2,8
1990	X			X			2,9
1991	X			X			0,0
1992			X	X			0,0
1993	X	X	X	X	X		4,0
1994		X	X	X	X		3,0
1995		X	X	X			2,0
1996		X	X	X			2,2
1997		X	X	X	X	X	4,0
1998	X	X	X	X	X		4,5
1999		X	X	X	X		4,0
2000	X	X	X	X	X		4,8
2001	X	X	X	X	X		4,0
2002	X	X	X	X	X		5,0
2003	X	X	X	X	X		5,0
2004		X	X	X			3,0
2005		X	X	X	X		4,0
2006	X	X	X	X	X	X	6,0
2007		X	X	X	X		4,0
2008	X	X	X	X	X		5,0
2009	X	X	X	X	X	X	6,0
2010	X	X	X	X	X		5,3
2011		X	X	X	X		4,0

Période sèche

Période humide

**AMO -** → réduction des précipitations au Sahel (dont la zone de Nouna), conditions moins favorables pour le développement du paludisme

**AMO +** → augmentation des précipitations au Sahel (dont la zone de Nouna), conditions plus favorables pour le développement du paludisme

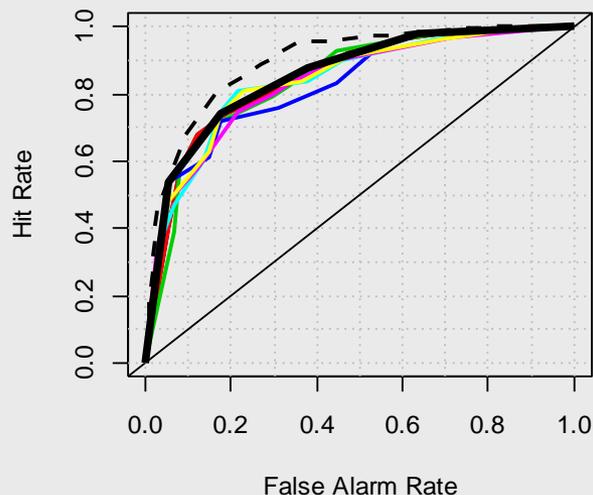
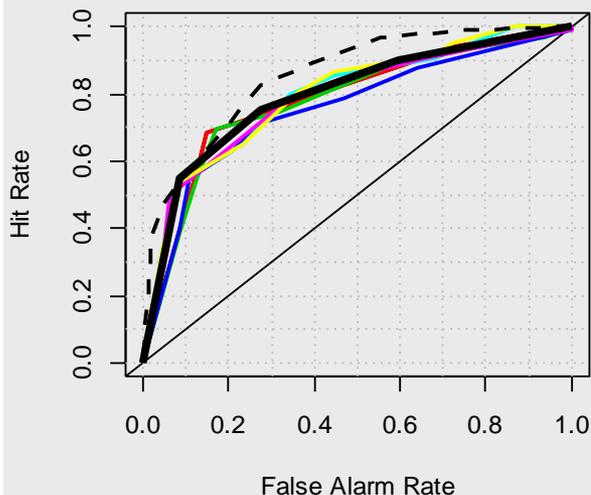


## Prévisibilité saisonnière du risque palustre

Scores ROC de la prévision de l'indice de risque « précipitations »  
(période 1983-2011)

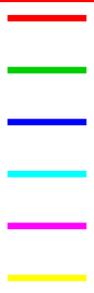
init-03: mai-sep/5 mois

init-04: mai-oct/6 mois



— Prévision « climatologique »

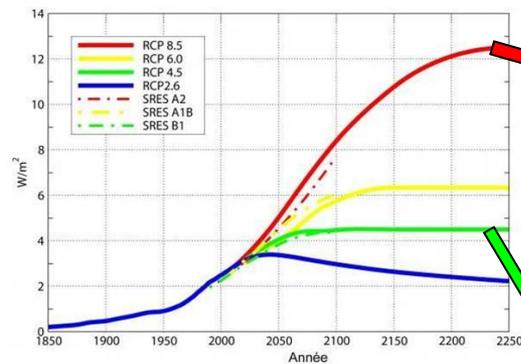
- - - Prévision « climatologique » différenciée selon la phase de l'AMO



Des adaptations statistiques des prévisions  
saisonniers du modèle ARPEGE

Méthode la plus simple et  
la plus performante pour  
prévoir le risque lié aux  
précipitations

## La vulnérabilité climatique future de la région de Nouna au paludisme



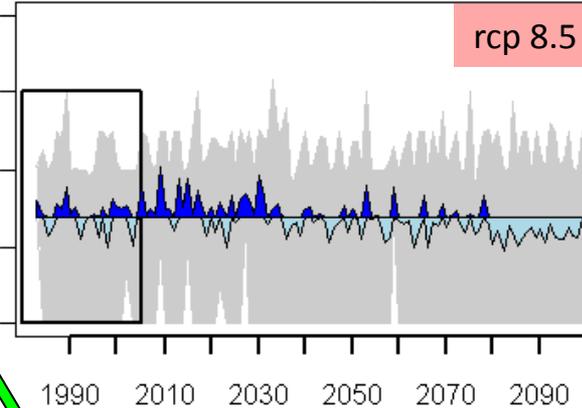
Exercice de simulation du climat futur à l'échelle globale CMIP-5

Ensemble multi-modèles

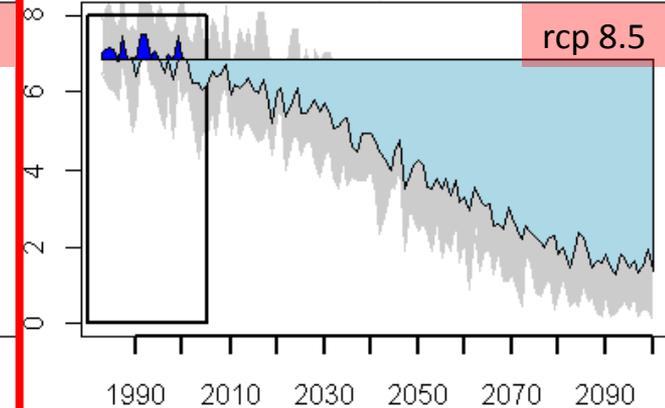
*Resolution ~2.5°*

- CCCMA-CanESM2
- CNRM-CM5
- Hadgem2-ES
- INM-CM4
- IPSL-CM5A-LR
- IPSL-CM5A-MR
- MIROC5
- NCC

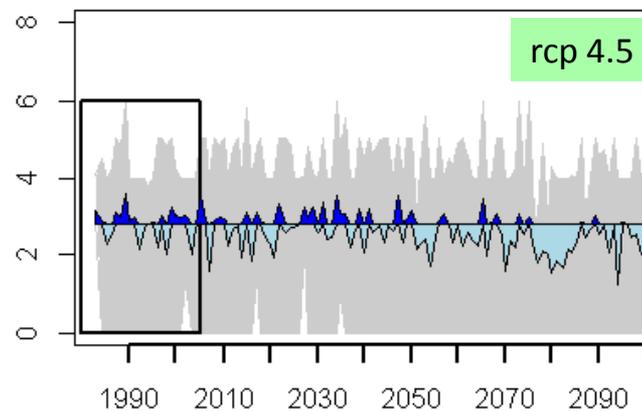
Indice « Précipitations »



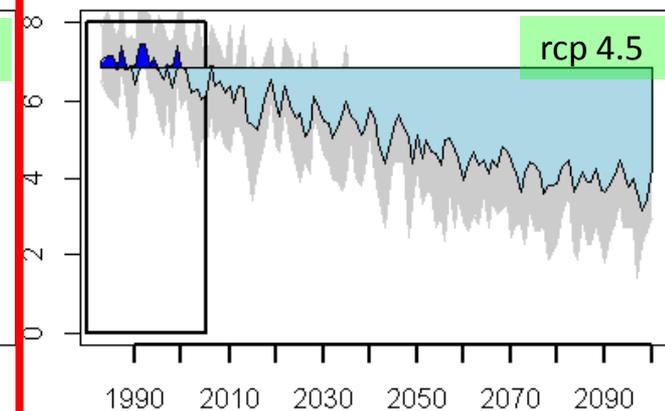
Indice « Températures »



Indice « Précipitations »



Indice « Températures »



**Selon le modèle de Craig, l'élévation de la température deviendrait un facteur limitant pour le risque palustre.**

## ✓ Tâche 5 (WP5) Mise en place d'un programme de gestion intégrée de lutte antipaludique par contrôle des vecteurs

- ⇒ Ajouter une approche larvicide focalisée aux mesures de contrôle actuelles
- ⇒ Montrer la faisabilité de cette approche en zone rurale
- ⇒ Evaluer l'impact sur la situation entomologique



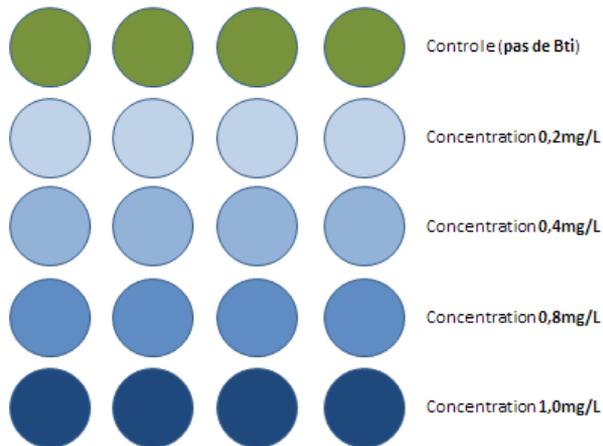
Université d'Heidelberg



## Stratégies d'adaptation au risque de paludisme

### Protocole pour trouver le dosage de Bti applicable sur les gîtes larvaires

- Stratégie larvicide basée sur la bactérie *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti)
- Expérience pour trouver le bon dosage de Bti
  - réalisée sur 28 jours,
  - plusieurs concentrations testées



Concentration de 0,4mg/l soit 0,4kg/ha

## Mise en place et application de la stratégie larvicide orientée

- 10 villages retenus : 5 sans application du Bti, 5 avec application du Bti
- Capture d'adultes du 20 juillet au 13 décembre 2012
- Prédiction des densités larvaires en 2012 dans une zone de 2km autour des villages à partir du modèle « cartographie des gîtes larvaires » établi en 2011 ⇒ cartographie journalière du risque larvaire
- Somme des prédictions réalisées entre le 31 mai et le 24 juillet 2012 ⇒ 5 niveaux de risque
- Application effective du Bti restreinte à une zone tampon de 500m autour des villages à partir de cette prédiction larvaire
- Gîtes larvaires classés par ordre croissant de surface à risque afin de ne conserver que les 50% de surface les plus à risque
- Cartes fournies et expliquées aux équipes sanitaires en charge de l'intervention larvicide sur le terrain
- Période d'intervention 4 octobre au 19 novembre 2012 (de 2 à 4 interventions selon les villages) ⇒ **très tardive dans la saison en raison d'un retard de livraison du Bti par le fournisseur**
- Test statistique Cochran-Mantel-Haenszl effectué pour tester l'impact de la stratégie larvicide focalisée



- **Mise en place d'une stratégie larvicide ciblée à partir de cartes prédictives de densités larvaires**
  - **Prise en main de cet outil innovant par les acteurs de la lutte effective**  
***mais***
  - **Diminution de la pression entomologique non démontrée**



Nouvelle campagne à plus grande échelle prévue

Travail scientifique multidisciplinaire, comprenant la collecte et l'organisation des campagnes de mesures in-situ, la construction d'une base de données et d'un SIG, l'analyse des images satellites, et la modélisation bio-mathématique d'un risque entomologique

- ☺ Sur la base de données satellitaires et in situ, **construction d'un SIG et d'un modèle de prédiction des gîtes larvaires** et mise à disposition opérationnelle de **cartes dynamiques de productivité larvaire** à l'échelle des villages
- ☹ **Impossibilité de valider ces cartes suite au problème de géo-référencement des données in situ**
- ☺ Mise en place et application une **stratégie larvicide ciblée** grâce à ces cartes de productivité larvaire
- ☹ **Absence de diminution significative du nombre de moustiques après le traitement anti-larvaire liée à des facteurs ne dépendant probablement pas du processus de ciblage des interventions**
- ☺ Cartes de risque entomologique perçues sur le terrain par les acteurs de la lutte antipaludique comme un **réel outil d'aide à la décision**
- ☺ Evaluation de l'incidence des conditions climatiques sur le risque palustre à partir de l'adaptation du modèle de Craig et d'une analyse climatique faite à différentes échelles spatio-temporelles (échelle saisonnière, échelle régionale du changement climatique, et du quasi-biennal aux basses fréquences) ⇒ Elévation de la **température** deviendrait le **facteur limitant pour le risque palustre** sur la région de Nouna, allant jusqu'à le réduire très fortement en **fin de siècle** par rapport à son niveau actuel

*Cette première étude dans la région a montré la **faisabilité** d'un traitement anti-larvaire **ciblé** s'appuyant sur des cartes de prédiction de productivité larvaire*

*Mais une opération à plus grande échelle est nécessaire afin de mesurer quantitativement l'efficacité et l'efficacé d'une telle stratégie*



**Re**Emergent **D**iseases & **G**lobal **E**nvironment Monitoring from **S**pace

*Un Système d'information innovant et multidisciplinaire*

Objectif : Mettre en évidence les relations entre le climat, l'environnement et la santé, en utilisant des données spatiales