



Sciences Economiques et Sociales de la Santé  
& Traitement de l'Information Médicale

[sesstim.univ-amu.fr](http://sesstim.univ-amu.fr)

**Sokhna DIENG**

*Aix Marseille Univ, IRD, Inserm, SESSTIM, Marseille, France  
2 Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Rennes, France*

**La variation spatio-temporelle des hotspots du paludisme au centre du  
Sénégal, 2008-2012**

**juin 2019**



**[Cliquez ici pour voir l'intégralité des ressources associées à ce document](#)**



# La variation spatio-temporelle des hotspots du paludisme au centre du Sénégal, 2008-2012

**Sokhna Dieng**

MSc, MPH,

Doctorante en santé publique

SESSTIM (équipe QuantIM)

[sokhna.dieng@etu.univ-amu.fr](mailto:sokhna.dieng@etu.univ-amu.fr)

Directeur de thèse

**Pr Jean Gaudart**

**Webinar QuantIM du 21 juin 2019**

<https://sesstim.univ-amu.fr/>

# Introduction (1/2)

## Contexte

- Paludisme **2017**: 92% (219 millions) des cas et 93% (435 000) des décès → l'Afrique subsaharienne.
- Incidence paludisme Sénégal **2009-2017**: 14 → 26 cas/1000 p.a.
- Hétérogénéité spatiale du paludisme → contribution transmission  
Ex: Incidence districts Sénégal en **2017** entre 0.4(St-Louis) et 473.9 cas/1000 p.a (Kédougou).
- Facteurs environnementaux, météorologiques → hétérogénéité du paludisme
- Pertinence de prendre en compte cette hétérogénéité montrée.
- Recommandation OMS développement de stratégies de lutte ciblées.
- Identification précise des zones géographiques à risque +++: **Hotspots**

## Introduction (2/2)

- Hotspots instables ou stables dans le temps selon les zones d'étude.
- Instabilité  $\longleftrightarrow$  variation spatio-temporelle  $\longrightarrow$  efficacité des stratégies de lutttes.
- Facteurs associés à cette variation très peu étudiés.

### Objectif général

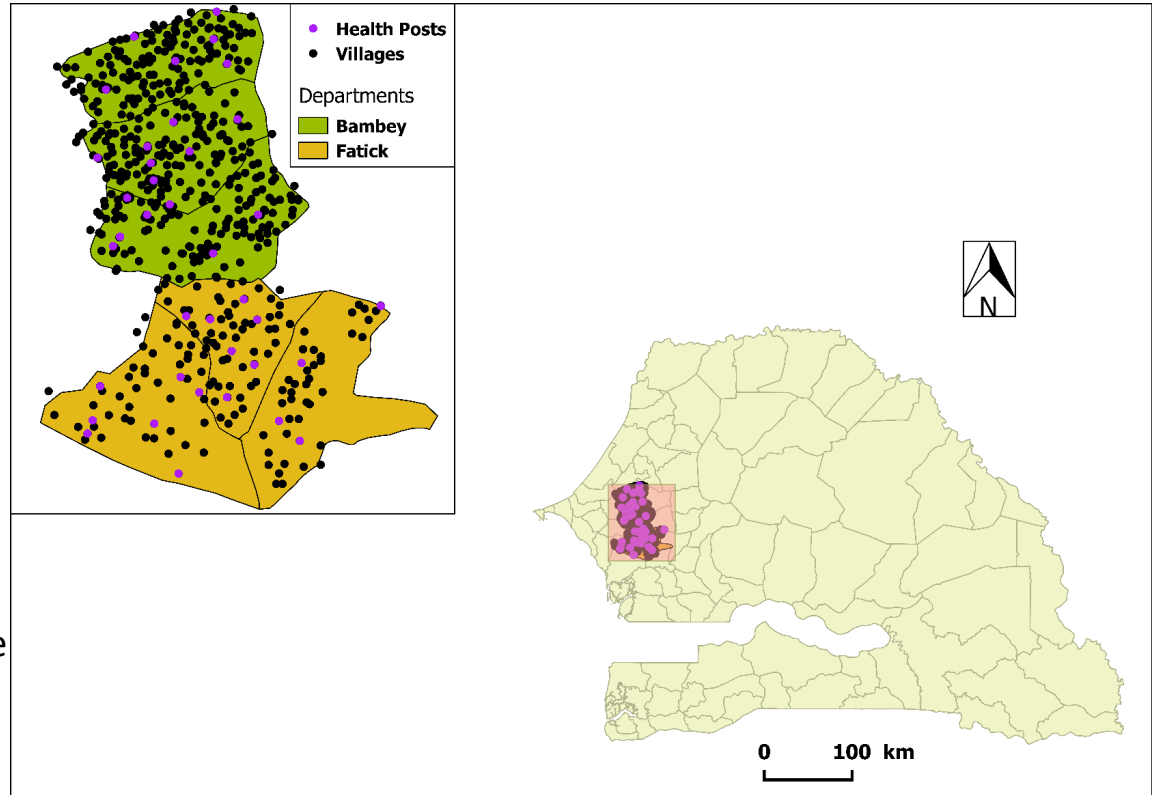
**Décrire** la variation spatio-temporelle des hotspots du paludisme au centre du Sénégal et ensuite **identifier** les facteurs météorologiques, environnementaux et de prévention qui sont associés à cette variation.

- Déterminer les périodes de transmission du paludisme
- Déterminer les hotspots du paludisme dans chaque période de transmission
- Déterminer les facteurs associés à la variation de ces hostpots de période en période

## Méthode(1/3)

- Site d'étude:

- ✓ Plus grand HDSS Sénégal
- ✓ 575 villages
- ✓ Population ~ 523 908 hbts
- ✓ 38 Postes de santé
- ✓ Chimio-prévention saisonnière du paludisme (CPS) 2008-2010



## Méthode(2/3)

- **Période:** janvier 2008- décembre 2012

- **Coordonnées géographiques /village**

\* Type de végétation:

- ✓ Arbuste (Open shrubland)
- ✓ Prairie (Grassland)
- ✓ Terres cultivées (Cropland)
- ✓ Mixte (Mixed)

Données	Echelle temporelle	Echelle spatiale	Recueil
Cas paludisme	Semaine	Village	Poste Santé (HDSS Bambey/Fatick)
CPS	Période	Village	Poste Santé (HDSS Bambey/Fatick)
Population	Année	Village	Recensement (HDSS Bambey/Fatick) et projection
Cumul pluie	Semaine	Village	Téledétection (TRMM:Tropical Rainfall Measuring Mission du site NASA Goddard Earth Sciences)
*Type de Végétation	Année	Village	Téledétection (MODIS:Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)

## Method(3/3)

### Change point analysis

- Méthode: « **meanvar** » avec algorithme **PELT**(Pruned Exact Linear Time)
- Critère de pénalité: **MBIC** (Modified Bayes Information Criterion)
- Loi statistique de test: **Gamma**

### SATSCAN

- Analyse **purement spatiale** dans chaque période avec **distribution Poisson**
- Fenêtre **elliptique** avec coordonnées cartésiennes
- Détection de cluster à haut risque seulement avec **p<0.05**
- Villages hotspot= villages dans clusters à haut risque

### GAMM (Generalized additive mixed model)

- $\text{logit}(P(\text{Hotspot}=1)) = \beta_0 + \beta_1 * \text{CPS} + f_1(\text{sem}, \text{by}=\text{Vegetation}) + f_2(\text{pluie}, \text{by}=\text{Vegetation}) + f_3(\text{Longitude}, \text{Latitude}) + u * \text{PosteSante} + \varepsilon$
- Corrélation AR1
- Sélection modèle final par AIC

### Logiciels

- R (analyse stat)
- SaTScan (hotspot)
- QGIS (Cartes)

# Results(1/5)

## Characteristiques périodes basse transmission

- 5 Périodes de basse transmission (LTPs)

(janvier ou fevrier  $A_n$  → juillet ou Aout  $A_n$ )

- Durée: **21-30 semaines**
- Nombre hotspots: **10-43 villages**
- **Pas de SMC**
- Moyenne cumul pluie: **1.9-10.5 mm/semaine**
- Vegetation : **Mixed and grassland +++**

## Characteristiques périodes haute transmission

- 5 Périodes de haute transmission (HTPs)

(juillet ou Aout  $A_n$  → janvier ou fevrier  $A_{n+1}$ )

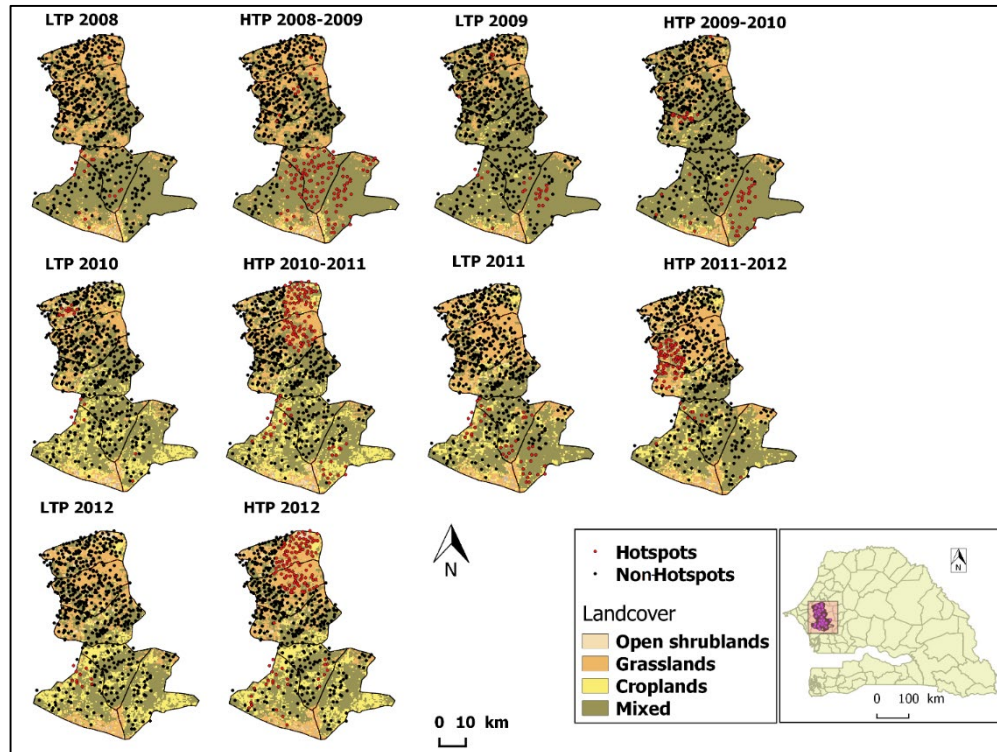
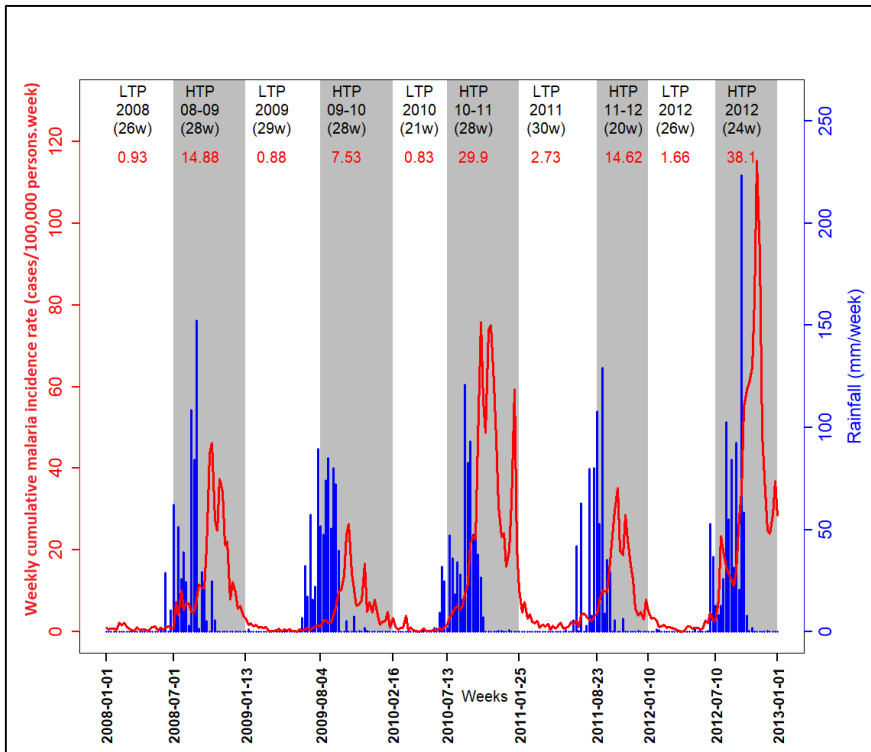
- Durée: **20-28 semaines**
- Nombre hotspots: **62-147 villages**
- **SMC (2008-2010: septembre- decembre)**
- Moyenne cumul pluie: **18.5-31.7 mm/semaine**
- Vegetation : **Mixed and grassland +++**



# Results(2/5)

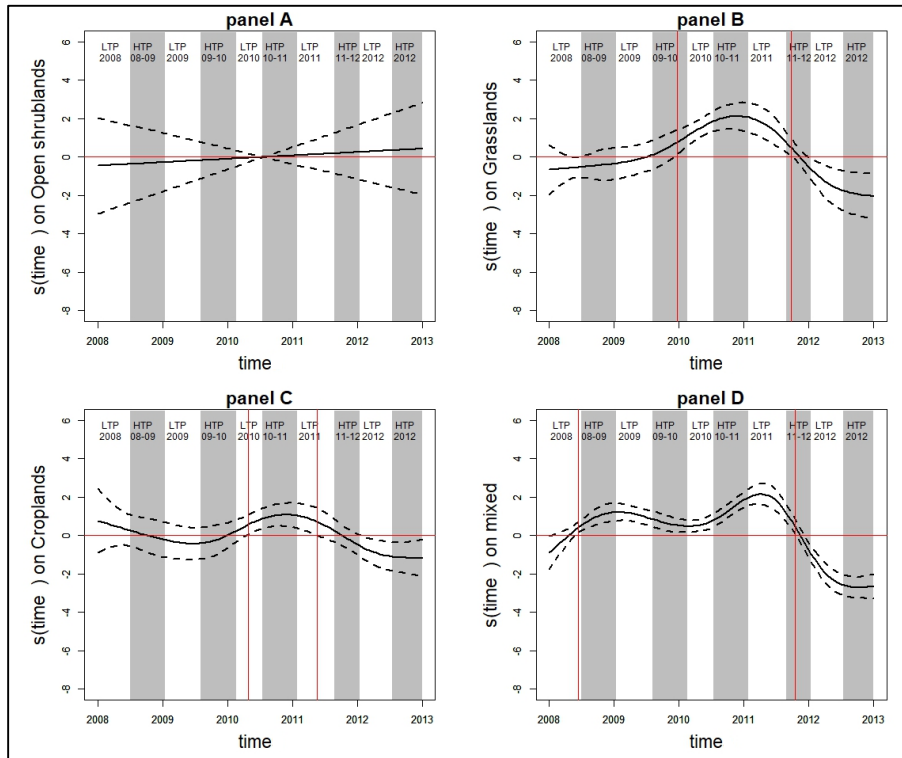
## Les périodes de transmission du paludisme

## La variation spatio-temporelle des hotspots



# Résultats(3/5)

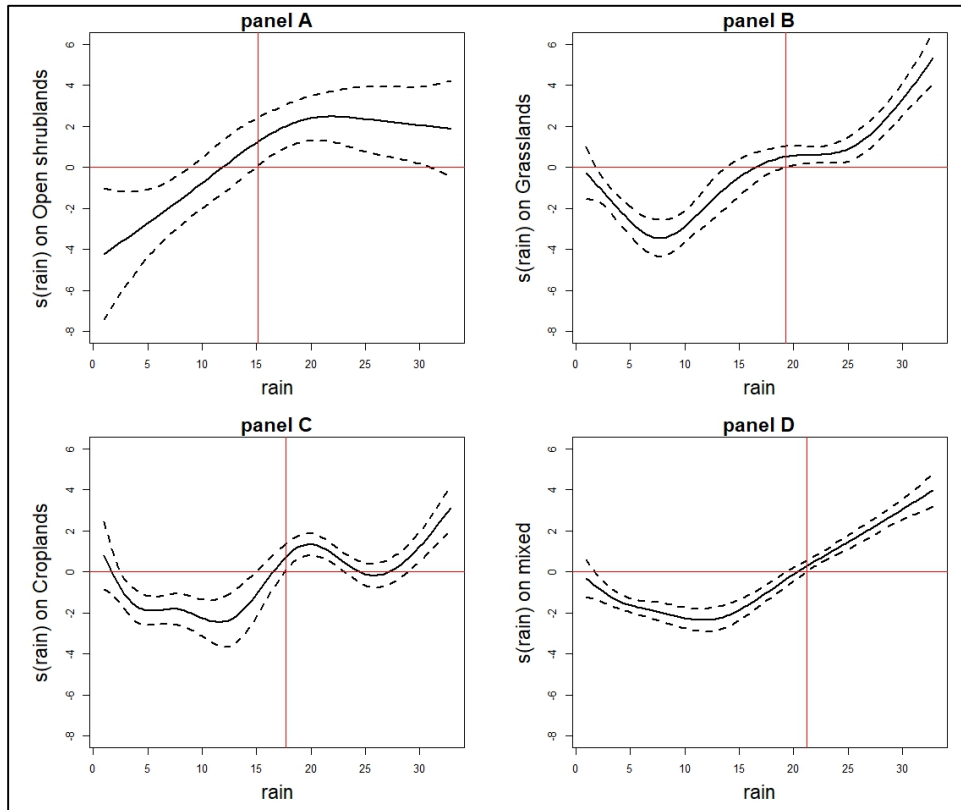
## L'évolution temporelle du risque hotspot des villages selon le type de végétation



- **38%** de déviance expliquée par le modèle
- Villages avec **CPS**: moins de risque d'être hotspots (OR=**0.48**, IC95%: 0.33-0.68)
- Villages **Grasslands** à risque entre fin HTP9-10 et début HTP11-12: OR variant entre **1.6**(1.03-2.47)-**8.4**(4.26-16.7)
- Villages **Croplands** à risque entre milieu LTP10 et milieu LTP11: OR variant entre **1.78**(1.07-2.95)-**2.96**(1.62-5.38)
- Villages **Mixed** à risque entre fin LTP8 et début HTP11-12: OR variant entre **1.5**(1.15-2.02)-**8.7**(5.03-15.05)

# Résultats(4/5)

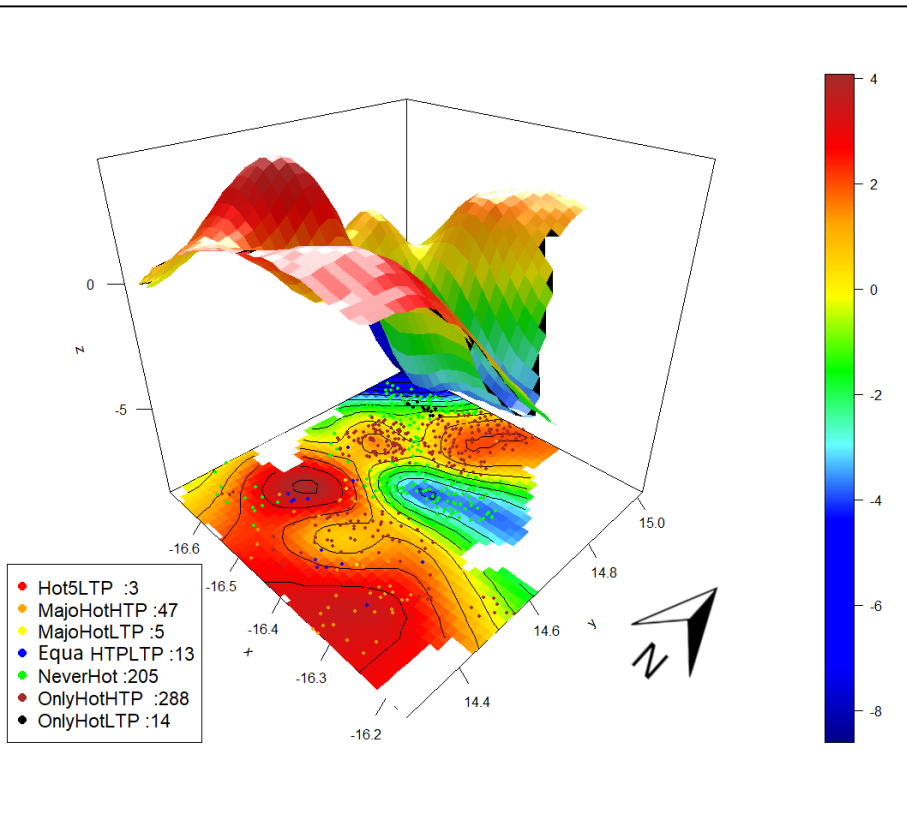
## Le risque hotspot des villages selon la quantité de pluie et le type de végétation



- Villages **Open shrub** à risque à partir de **15mm/sem**: OR= **3.5** (1.09-11.34), stable vers 22mm/week **11.87** (3.46-40.75)
- Villages **Grasslands** à risque à partir de **19mm/sem**: OR= **1.7** (1.01-2.83), augmente avec la pluie
- Villages **Croplands** à risque à partir de **18mm/sem**: OR= **2.06** (1.09-3.91), augmente avec la pluie (la baisse entre 23-28mm/sem pas significative)
- OR villages **Mixed**: from **21mm/sem**: OR= **1.33** (1.02-1.75), augmente avec la pluie

# Résultats(5/5)

## La distribution spatiale du risque hotspot des villages



- **356 villages** (des 575) etaient hotspots au moins 1 fois durant HTPs.
- **82 villages** (des 575) etaient hotspots au moins 1 fois durant LTPs.
- **205 villages** (des 575) n'ont jamais été hotspots.
- **Risque spatial** de hotspot des villages variant entre OR=**1.90** (1.02-3.56) et OR=**60.65** (26.86-136.95)

## Discussion et Conclusion (1/2)

- HTPs entre 2 années: agréger et étudier le paludisme avec le calendrier administratif devraient être évités (la même chose trouvée au Mali et au Burkina Fasso)
- Cette étude a montré que l'impact de la pluie sur le paludisme dépend de la quantité de pluie et du type de végétation et ainsi cette interaction modifie la distribution des hotspots (**point nouveau**)
- Malgré l'implémentation des stratégies de lutte et leur efficacité (SMC, MDA, IRS ...), l'incidence du paludisme augmente.
- Les stratégies de lutte sont souvent implémentées au début ou au milieu de la saison pluvieuse qui correspond aux HTPs.
- 3 villages se situant dans la zone la plus à risque (OR=60.65) étaient hotspots durant toutes les LTPs. De tel hotspot persistant peuvent être la source des épidémies saisonnières du paludisme.
- La question des hotspots et des foyers de persistance du paludisme pendant les LTPs devrait être approfondie, de même que la possibilité des stratégies de lutte durant les LTPs.

## Discussion et Conclusion (2/2)

- Travail effectué sur des données de qualité d'un essai randomisé avec des échelles spatiales (villages) et temporelles (semaines) très fines.
- Methodes classiques d'analyse spatiale et temporelle:
  - ✓ méthodologie permettant de déterminer les facteurs associés à la variation spatio-temporelle des hotspots
  - ✓ estimation du risque hotspot variant dans le temps et dans l'espace.
- Etude impact interaction entre la pluie et la végétation sur le risque hotspot:
  - ✓ estimation du risque hotspot dépendant de la quantité de pluie et de la végétation
  - ✓ Possible pour d'autres facteurs environnementaux, météorologiques etc.
- Végétation et pluie eues par télédétection: données observées mieux.
- Données socio-economiques pas disponibles.

# Remerciements

- **SESSTIM**, Marseille France: Laboratoire de recherche
- **RDSP** animé par **EHESP**, Rennes France : Financement thèse
- **IRD** Dakar, Sénégal : Collaboration
- **London school** of hygiene and tropical medicine, Londres, UK: Collaboration
- **Co-auteurs:**
  - ✓ **El Hadj Ba, Badara Cissé, Cheikh Sokhna** : IRD, Dakar, Sénégal
  - ✓ **Kankoe Sallah**: Aix Marseille Univ, IRD, INSERM, SESSTIM, Marseille, France & AP-HP, Hôpital Bichat, Unité de Recherche Clinique PNVS, Paris, France
  - ✓ **Abdoulaye Guindo**: Aix Marseille Univ, IRD, INSERM, SESSTIM, Marseille, France & Malaria Research and Training Center – Ogobara K Doumbo, Bamako, Mali
  - ✓ **Boukary Ouedraogo**: Aix Marseille Univ, IRD, INSERM, SESSTIM, Marseille, France & Direction des Systèmes d'Information en santé, Ministère de la santé, Ouagadougou, Burkina Faso
  - ✓ **Martine Piarroux**: French Armed Forces Center for Epidemiology and Public Health (CESPA), Marseille, France
  - ✓ **Stanislas Rebaudet**: APHM, Assistance Publique - Hôpitaux de Marseille, Marseille, France & Hôpital Européen, Marseille, France
  - ✓ **Renaud Piarroux**: Sorbonne Université, INSERM, Institut Pierre-Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique, AP-HP, Hôpital Pitié-Salpêtrière, Paris, France
  - ✓ **Jordi Landier**: Aix Marseille Univ, IRD, INSERM, SESSTIM, Marseille, France
  - ✓ **Paul Milligan**: London school of hygiene and tropical medicine, Londres, UK
  - ✓ **Jean Gaudart**: Aix Marseille Univ, APHM, INSERM, IRD, SESSTIM, Hop Timone, BioSTIC, Biostatistic & ICT, Marseille, France

# Références

- World Health Organization. World malaria report 2018. 2018. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275867/9789241565653-eng.pdf?ua=1>. Accessed 5 Feb 2019.
- PNLP Senegal <http://www.pnlp.sn/>
- Landier J, Rebaudet S, Piarroux R, Gaudart J. Spatiotemporal analysis of malaria for new sustainable control strategies. *BMC Medicine*. 2018;16. doi:10.1186/s12916-018-1224-2.
- Bousema T, Griffin JT, Sauerwein RW, Smith DL, Churcher TS, Takken W, et al. Hitting Hotspots: Spatial Targeting of Malaria for Control and Elimination. *PLoS Medicine*. 2012;9:e1001165. doi:10.1371/journal.pmed.1001165.
- Bejon P, Williams TN, Liljander A, Noor AM, Wambua J, Ogada E, et al. Stable and Unstable Malaria Hotspots in Longitudinal Cohort Studies in Kenya. *PLOS Medicine*. 2010;7:e1000304. doi:10.1371/journal.pmed.1000304
- Bousema T, Drakeley C, Gesase S, Hashim R, Magesa S, Mosha F, et al. Identification of Hot Spots of Malaria Transmission for Targeted Malaria Control. *J Infect Dis*. 2010;201:1764–74. doi:10.1086/652456
- Sokhna C, Cissé B, Bâ EH, Milligan P, Hallett R, Sutherland C, et al. A Trial of the Efficacy, Safety and Impact on Drug Resistance of Four Drug Regimens for Seasonal Intermittent Preventive Treatment for Malaria in Senegalese Children. *PLOS ONE*. 2008;3:e1471. doi:10.1371/journal.pone.0001471.
- Cissé B, Ba EH, Sokhna C, NDiaye JL, Gomis JF, Dial Y, et al. Effectiveness of Seasonal Malaria Chemoprevention in Children under Ten Years of Age in Senegal: A Stepped-Wedge Cluster-Randomised Trial. *PLOS Medicine*. 2016;13:e1002175. doi:10.1371/journal.pmed.1002175.
- Martiny N, Dessay N, Yaka P, Toure O, Sultan B, Rebaudet S, et al. Le climat, un facteur de risque pour la santé en Afrique de l’Ouest. *La Météorologie*. 2012; Spécial AMMA:73–79. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00757107/>. Accessed 12 Sep 2017.



# Références

- Sissoko MS, Sissoko K, Kamate B, Samake Y, Goita S, Dabo A, et al. Temporal dynamic of malaria in a suburban area along the Niger River. *Malaria Journal*. 2017;16:420. doi:10.1186/s12936-017-2068-5
- Ouedraogo B, Inoue Y, Kambiré A, Sallah K, Dieng S, Tine R, et al. Spatio-temporal dynamic of malaria in Ouagadougou, Burkina Faso, 2011–2015. *Malar J*. 2018;17. doi:10.1186/s12936-018-2280-y.
- McKay HS, Lessler J, Moore SM, Azman AS. What is a Hotspot Anyway? *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2017;96:1270–3. doi:10.4269/ajtmh.16-0427.
- World Health Organization, Global Malaria Programme, World Health Organization. A framework for malaria elimination. 2017. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/254761/1/9789241511988-eng.pdf>. Accessed 18 Sep 2017.
- Killick R, Eckley I. changepoint: An R package for changepoint analysis. *Journal of Statistical Software*. 2014;58:1–19. <http://eprints.lancs.ac.uk/51975/>. Accessed 14 Sep 2017
- Kulldorff M. A spatial scan statistic. *Communications in Statistics - Theory and Methods*. 1997;26:1481–96. doi:10.1080/03610929708831995.
- Wood SN. *Generalized additive models: an introduction with R*. CRC press; 2017
- Package R: mgcv, changepoint