

Exploitation des données satellites très haute résolution optique appliquée à l'épidémiologie : cas du paludisme urbain à Dakar

PFE présenté par : **Céline Mikolajczak**
Société d'accueil : **SERTIT**
Directeur de PFE : **Hervé Yésou**
Correctrices : **Tania Landes, Françoise Nerry**



1. Introduction

Le paludisme, maladie parasitaire transmise par le moustique, touche essentiellement les pays les plus pauvres d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. En 2008, l'Organisation Mondiale de la Santé a enregistré 247 millions de cas de paludisme qui ont entraîné près d'un million de décès, essentiellement en Afrique subsaharienne. Le paludisme, avec le sida, est identifié comme l'un des fléaux contre lequel la lutte et la prévention doivent s'intensifier.

De nombreuses transformations, telles que les changements environnementaux, favorisent le maintien du paludisme en Afrique. Par ailleurs, les mouvements de population semblent être un paramètre important et l'urbanisation est un facteur nouveau à prendre en compte dans la lutte contre le paludisme. Les Nations Unies prévoient que près de 60 % de la population mondiale vivra dans les villes en 2030. C'est pourquoi cette nouvelle forme de paludisme, appelée paludisme urbain, est à présent considérée comme un problème de santé publique majeur en Afrique.

L'émergence et le maintien du paludisme dépendent fortement de facteurs environnementaux à petite et grande échelles et les données d'observation de la Terre renseignent directement ou indirectement sur ces paramètres. Depuis plusieurs années, les images satellites commencent à être intégrées de façon de plus en plus systématique dans les études épidémiologiques.

Ce Projet de Fin d'Etudes (PFE), qui s'inscrit dans le projet EEOS-Malaria (Epidemiology Earth Observation Services-Malaria), vise à définir, tester et valider l'exploitation des futures données à très haute résolution spatiale (THR) Pléiades-HR pour la production de cartes de risque paludique en milieu urbain.

2. Contexte et objectifs de l'étude



Figure 1 : Localisation des deux zones d'étude, situées dans la bande sahélienne.

Le projet EEOS-Malaria est proposé par le SERTIT et la société SIRS, en partenariat avec le CNES, l'Observatoire Midi-Pyrénées et le Service de Santé des Armées. Ce projet vise à développer un service de cartographie des zones à risque de paludisme en milieu urbain, afin que les Etats

Majors des Armées puissent déployer des unités dans les zones les plus saines possibles. L'approche est initiée et validée sur la ville de Dakar (Sénégal) et le transfert de la méthode est testé sur la ville de N'Djaména (Tchad), avant d'être à terme appliqué à l'ensemble des grandes agglomérations de la bande sahélienne (cf. figure 1).

Les objectifs fixés au terme du PFE sont triples. Le premier objectif est la description de la ville de Dakar en réalisant une occupation du sol spécifique, rendant compte des facteurs favorables au développement du vecteur, le moustique du genre *Anopheles*. Le deuxième objectif est l'exploitation de ces données extraites pour rechercher des liens entre la maladie et les descripteurs environnementaux et modéliser la répartition des vecteurs et des risques de transmission. Enfin, le troisième et dernier objectif est la mise en forme cartographique du risque épidémiologique.

3. Vers la cartographie du risque épidémiologique lié au paludisme

Cette partie a pour but de présenter les méthodes exploitées et les outils développés lors de ce PFE.

3.1. Données utilisées

Pour réaliser ce travail, des données THR, c'est-à-dire infra-métriques, ont été acquises en saison des pluies et saison sèche sur la quasi-totalité de l'agglomération dakaroise d'une superficie d'environ 100 km² (hors eau), respectivement une image Quickbird de résolution spatiale 0,60 m (octobre 2008) et une image WorldView de résolution spatiale 0,50 m (février 2010).

3.2. Méthodologie

En s'appuyant sur le cycle de l'anophèle, les principaux éléments environnementaux contrôlant sa présence sont identifiés. Il s'agit :

- Des collections d'eau, qui sont des éléments variés et variables dans le temps tels que les lacs, mares, puits, bassins de rétention ou piscines ;
- De la végétation, en distinguant celle arbustive de enherbée ou celle pérenne de saisonnière ;
- Des sols, qui laissent plus ou moins filtrer l'eau en fonction de leurs propriétés ;
- Des zones maraichères, où l'eau est un élément important ;
- De l'urbanisation, qui renseigne indirectement sur les types de population, les conditions de vie ou l'accès aux soins.

Une occupation du sol à 6 classes est ensuite définie pour extraire ces éléments et permet d'étudier l'apport des données THR – infra-métriques – par rapport aux données à haute résolution spatiale (HR) – pluri-métriques. Une occupation du sol à 10 classes est ensuite dérivée de la première. Elle permet notamment de décrire plus précisément la végétation, au sein de laquelle les zones maraichères sont distinguées par la suite.

6 classes	10 classes
Eau	Eau
Végétation	Végétation haute Végétation basse Prairie
Bâti	Bâti dense Bâti moyennement dense Bâti peu dense
Asphalte	Asphalte
Sable	Sable
Sol nu	Sol nu

Tableau 1 : Les deux niveaux d'occupation du sol de Dakar.

Dans un souci d'automatisation du processus, l'occupation du sol est obtenue en réalisant une classification par l'approche orientée-objet. Il s'agit de ne plus considérer le pixel mais l'objet, regroupement de pixels connexes, comme unité de base. Cette méthode se déroule en deux temps : la segmentation, qui consiste à diviser l'image en objets en fonction de paramètres de forme et de radiométrie, suivie de la classification proprement dite, où chaque objet est affecté à une classe. De même que l'approche orientée-pixel, la classification peut être supervisée, lorsqu'elle est basée sur la sélection d'objets échantillons, ou non supervisée, lorsque des règles d'appartenance sont définies.

Pour des raisons de temps de traitement, l'approche méthodologique est testée sur un secteur restreint mais représentatif de Dakar d'environ 6 km sur 3 km – soit 20 km² – qui représente un cinquième de la zone urbaine. Cette approche est ensuite étendue à toute la zone d'étude.

La méthodologie mise en œuvre fait intervenir une hiérarchie des classes à plusieurs niveaux, une segmentation multi-échelles et un ensemble de caractéristiques radiométriques, texturales et morphologiques. La classification des objets repose sur deux grands principes :

- Si les objets d'une classe sont facilement distinguables, l'approche non supervisée est utilisée en définissant des règles basées sur les caractéristiques les plus discriminantes ;
- Si la première option ne fournit pas des résultats satisfaisants, l'approche non supervisée est combinée à l'approche supervisée, qui utilise la meilleure combinaison de caractéristiques pour différencier les classes entre elles.

Une validation thématique est ensuite menée sur les résultats obtenus. Elle consiste en un test Kappa mené distinctement sur les collections d'eau, pour lesquelles nous disposons de données issues du terrain, et sur l'occupation du sol.

3.3. Principaux résultats

La méthode de classification élaborée permet d'extraire les descripteurs environnementaux : les occupations du sol à 6 et 10 classes ainsi que les collections d'eau en saison sèche et saison des pluies sont cartographiées. L'apport de la THR sur la HR est ici évident, apportant de meilleurs résultats en termes de description du paysage en permettant l'extraction de petits corps d'eau par exemple.

Ces facteurs environnementaux constituent des « briques » essentielles en épidémiologie urbaine à partir desquelles d'autres éléments plus complexes sont déterminés : les dynamiques spatio-temporelles 2008/2010 des collections d'eau et de l'occupation du sol. La dynamique des collections d'eau est modélisée par un modèle hydrologique utilisant les données de télédétection et les précipitations, afin d'étudier la dynamique de l'abondance des anophèles. Par ailleurs, la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol est modélisée en effectuant une post-classification permettant de détecter les changements.

Ces modélisations permettent de mettre en évidence des facteurs ayant une influence sur la présence de gîtes larvaires ou d'habitats d'anophèles et conduisent à la définition de paramètres épidémiologiques. La modification de l'urbanisation, pouvant entraîner des destructions de gîtes ou d'habitats, est un de ces facteurs. Le projet de prolongement de l'autoroute au Nord-Est de Dakar représente ainsi un peu moins de 85 000 m² et son tracé prévoit de traverser des zones d'habitat populaire et de sol nu, modifiant ainsi le paysage et donc le risque paludique.

Couplés au risque épidémiologique, ces paramètres conduisent à la production de cartes sanitaires. Pour l'élaboration de ces cartes, une approche par observation, qui permet de mieux expliquer le lien de cause à effet entre l'environnement et la maladie, est préférée à une approche statistique, qui consiste à corrélérer les paramètres environnementaux et épidémiologiques.

Occupation du sol 6 classes d'une zone de Dakar

Extrait de l'image WorldView (0,50 m) du 20.02.2010 (saison sèche)

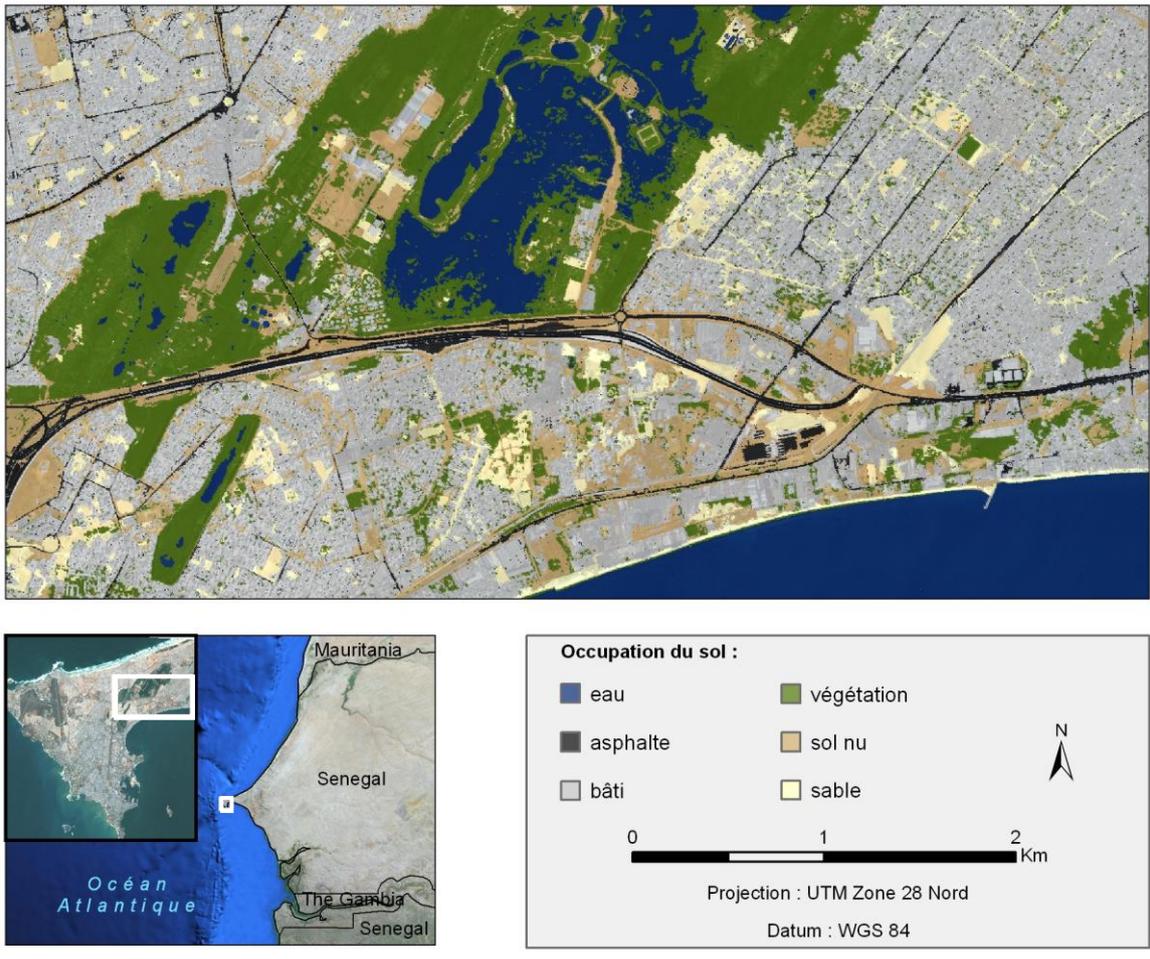


Figure 2 : Carte thématique de l'occupation du sol 6 classes d'un extrait de Dakar.

4. Conclusion et perspectives

Avec ce PFE, il a été permis de décrire et cartographier les principaux éléments environnementaux contrôlant la présence et le développement du paludisme dans la zone urbaine dakaroise. Des efforts importants ont été consacrés à l'élaboration d'une méthode de classification orientée-objet. Cette méthode servira à la poursuite du projet EEOS-Malaria : elle sera transférée à la ville de N'Djaména, voire par la suite industrialisée. Cependant, le paysage urbain étant complexe du fait de sa diversité, l'apport de la connaissance de l'œil humain semble incontournable et vient en complément à cette méthode.

Il a été également montré l'apport indéniable de la THR pour l'étude du paludisme en milieu urbain. En effet, en fonction des échelles spatiales considérées, différents facteurs environnementaux entrent en jeu. C'est pourquoi les plus petits éléments, tels que les puits ou la végétation isolée, doivent être détectés car ils constituent des déterminants de la transmission et de l'impact du paludisme.

Enfin, avec les lancements prochains des satellites THR, tels que Pléiades-HR, les données seront de plus en plus importantes et les techniques de traitement d'images se perfectionneront, ouvrant la voie à de nouveaux travaux. Ces études fourniront des outils plus précis permettant ainsi d'améliorer la prévention et la lutte contre le paludisme urbain.