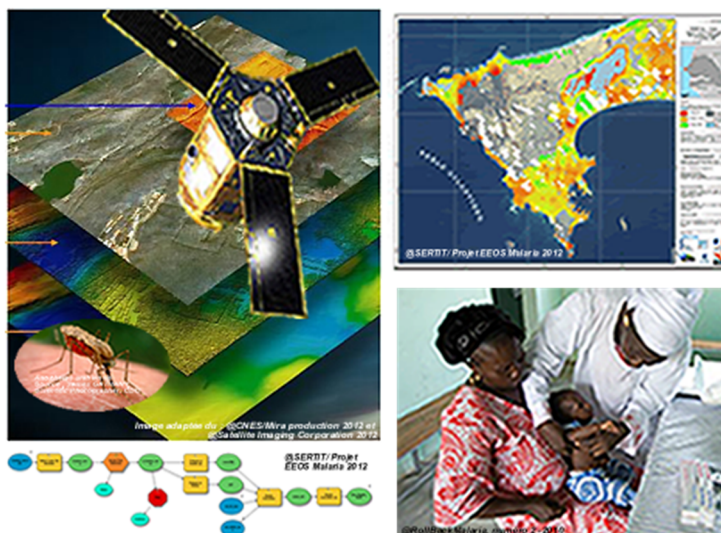


Modelización en SIG de indicadores ambientales y sociales, a partir de Imágenes satelitales de Muy Alta Resolución.

“Automatización e industrialización del proyecto de epidemiología EEOS Malaria”

Luz María PEREZ SAAVEDRA



El presente proyecto de grado es realizado dentro del marco del convenio de intercambio académico: "UIS Colombia - GROUPE INSA Francia", de la Universidad Industrial Santander y la Escuela de Ingenieros INSA en Francia (Instituts Nationaux des Sciences Appliquées – Groupe INSA)

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – COLOMBIA
 INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE STRASBOURG - FRANCE
 FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 BUCARAMANGA
 2013**

**Modelización en SIG de indicadores ambientales y sociales, a partir de
Imágenes satelitales de Muy Alta Resolución.
“Automatización e industrialización del proyecto de epidemiología EEOS
Malaria”**

Luz María PEREZ SAAVEDRA
luz.perez.saavedra@hotmail.com

Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniera Civil

Directores Académicos
M. Msc. PhD. Hernán PORRAS DIAZ (UIS)
M. Msc. PhD. Mathieu KOEL (INSA)

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – COLOMBIA
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE STRASBOURG - FRANCE
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

En este trabajo se ve reflejado no solo mi meta de ser ingeniera civil UIS, sino también el objetivo de hacer mi proyecto de grado en Francia y mostrar que lo más importante es el esfuerzo y la perseverancia por alcanzar las metas.

EN HONOR

A mi bella madre Oliva Saavedra y a mi adorada familia, que comprende no solo la que me trajo al mundo, sino aquella que me dio la educación y guía; y, sobre todo a mis "ángeles" como yo llamo a mis amigos y a la familia de mis amigos que tanto amor, afecto y consejos me han prodigado durante mi camino en este hermoso planeta.

Al Doctor e Inmunólogo Manuel Elkin Patarroyo, por su esfuerzo incesante en pro de la salud de la humanidad y su vacuna contra el paludismo spf66.

Y finalmente. A todo(a) aquel(la) que tenga un sueño y que por más descabellado que parezca, nunca pierde la esperanza y el objetivo de alcanzarlo.

6455189AGRADECIMIENTOS

(Versión Español)

En primera instancia quiero agradecer al Sr. Rector UIS Alvaro Ramirez y a Monsieur le Directeur Marc Renner de la Escuela de ingenieros INSA de Strasbourg, por la confianza depositada en mí, como primera estudiante de intercambio UIS – INSA.

A la agencia espacial francesa – CNES, Vanessa MACHAULT y el SERTIT, por el “partage de connaissances” y la experiencia de trabajar en investigación aplicada.

A los profesores Ing. Hernan Porras Diaz, Ing. Elberto Carrillo e Ing. Alexis Vega, la familia Carrillo, mis hermanas Ing. Karla Paola Díaz-Granados e Ing. Yuly Milena Silva porque gracias a su apoyo incondicional, Francia es un objetivo logrado.

A TI, que siempre estás en mi corazón.

REMERCIEMENTS

(Versión francesa)

Je tiens tout d’abord à remercier Paul de Fraipont, directeur du Service Régional de Traitement d’Images et de Teledetecção (SERTIT), pour m’avoir accueilli dans son service dans le cadre de mon stage de fin d’études en génie civil.

Je remercie particulièrement Hervé YESOU qui m’a encadré tout au long de ce stage, et qui m’a appris à valoriser mon travail et à m’impulser pour aller plus loin dans la recherche. Merci pour sa disponibilité et son aide précieuse pour la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier chaleureusement Carlos Uribe, Arnaud Durand et toute l’équipe du SERTIT pour leur accueil et leur disponibilité. Travailler à leur côté dans une ambiance multiculturelle m’a permis de franchir la barrière de la langue et de la science.

J’exprime également mes remerciements à Mathieu Koel et Pierre Grussenmeyer pour leur aide au cours de ma formation et à toute l’équipe du bureau des relations internationales de l’INSA, pour l’appui reçu pendant mon année académique.

Je remercie particulièrement Hernan Porras Diaz pour son aide au cours de ma formation professionnel.

A titre personnel, je remercie affectueusement à la famille Faivre, famille Carrillo, Karla Diaz-Granados, ma famille et mes amis que j’adore de tout mon cœur. Merci pour leur soutien moral et parfois économique, durant ma formation universitaire et ce stage.

Et finalement, à TOI, qui es toujours dans mon cœur.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	20
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	21
1.1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.2 OBJETIVOS.....	22
1.2.1 Objetivo General.....	22
1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
1.3 METODOLOGIA.....	23
2. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 CONTEXTO GENERAL: PALUDISMO EN EL MUNDO, OBSERVACIÓN DE LA TIERRA.....	24
2.1.1 Datos y estadísticas.....	24
2.1.2 Población expuesta.....	25
2.2 UTILIZACIÓN DE LA TELEDETECCION EN EPIDEMIOLOGIA: ESTADO DEL ARTE	26
2.3 NOCIÓN DE ESCALA, UTILIZACIÓN DE SENSORES DE RESOLUCIÓN BAJA A MUY ALTA RESOLUCIÓN.....	27
2.4 FACTORES AMBIENTALES Y EL PALUDISMO.....	30
2.5 SIG Y EPIDEMIOLOGÍA (SIG-EPI): ESTADO DEL ARTE.....	31
3. SÍNTESIS DE TRABAJOS DE VANESA MACHAULT « PROYECTO URBAN MALARIA ».....	33
3.1 ZONA DE ESTUDIO.....	33
3.1.1 Estudio entomológico de terreno en Dakar.....	33
3.1.2 Resultados Urban Malaria:.....	34
3.2 ETAPAS URBAN MALARIA Y TIEMPO DE EJECUCIÓN.....	36
4. AUTOMATIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE PROCESOS EEOS MALARIA	39
4.1 DIAGRAMAS DE FLUJO.....	39
4.2 DE HERRAMIENTA DE INVESTIGACIÓN A HERRAMIENTA DE REPRODUCCIÓN: ETAPAS EEOS MALARIA.....	41

4.2.1	Etapa 1. Mapa de colecciones de agua. Modelo industrializado Proyecto EEOS Malaria	44
4.2.2	Optimización de la Etapa 1. Modelo EEOS Malaria para la producción de mapas de superficie de agua	48
4.2.3	Etapa 2. Mapas de probabilidad de producción larvaria. Modelo de industrialización EEOS Malaria	51
4.2.4	Etapa 3. Cálculo de riesgo entomológico de paludismo y producción de mapas de riesgo (agresividad de mosquito anofeles) - (Calcul_Results_Etape3)	58
4.2.5	Serie temporal mensual de la etapa 3. Riesgo entomológico de paludismo urbano a Dakar (Senegal) para el período de julio a noviembre de 2009	61
5.	TRANSFERIBILIDAD A N'DJAMENA	64
5.1	CONTEXTO DE LA CIUDAD DE NDJAMENA	64
5.2	COLECTA DE DATOS DE ENTRADA	64
5.3	LA APLICACIÓN EN MODO RUTINA DEL MODELO A N'DJAMENA	66
5.3.1	Etapa 1. Mapa de colecciones de agua a N'Djamena	66
5.3.2	Etapa 2. Mapa de productividad larvaria à N'Djamena	67
5.3.3	Etapa 3. Cálculo y producción del mapa de riesgo entomológico de paludismo (agresividad de los mosquitos anofeles) a N'Djamena para el año 2009	68
6.	ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LOS DATOS DE ENTRADA Y DE LAS CADENAS DE TRATAMIENTO eos	70
6.1	ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL MNS/DEM EN EL PROYECTO EEOS MALARIA	70
6.1.1	Definición de condiciones y límites de utilización del modelo: caso de MNS	70
6.2	COMPARACIÓN RESULTADOS URBAN MALARIA Y RESULTADOS MODELO INDUSTRIALIZADO EEOS MALARIA - SERTIT	75
6.2.1	Comparación de resultados con entradas Urban Malaria	75
6.2.2	Test 1 de la etapa 1. Origen du SRTM	75
7.	CONCLUSION	77
8.	BIBLIOGRAFIA	80
9.	ANEXOS	86

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Estudio bibliográfico sobre el tema epidemiología y espacio, en lo correspondiente al presente estudio (traducido al español y modificado de SERTIT 2011).	29
Tabla 2. Vínculos posibles entre los factores ambientales y el paludismo. [Beck et al, 2000]	30
Tabla 3. Factores ambientales derivados a partir de sensores o modelos de cálculo. NASA.....	30
Tabla 4. Factores asociados a la presencia y densidad larvaria en las colecciones de agua.	34
Tabla 5. Correlación de superficie, para los resultados obtenidos con el modelo industrializado de la etapa 1 EEOS Malaria, en las versiones de ArcGis 9.2 et 10	47
Tabla 6. Tiempo de cálculo para los procesos industrializados EEOS Malaria, Etapa 1	48
Tabla 7. Tiempos de cálculo procesos EEOS Malaria para la etapa 1, luego de la primera optimización.....	50
Tabla 8. Tiempo de cálculo para la creación de la grilla en formato raster.	51
Tabla 9. Tiempo total de cálculo de los procesos industrializados EEOS Malaria Etapa 1 y etapa 2, luego de la primera optimización.	54
Tabla 10. Ejemplo de tabla dinámica calculada de manera industrializada, para el periodo de 30 agosto 2009 a 28 septiembre 2009	56
Tabla 11. MNS disponibles sur Dakar dans le cadre EEOS MALARIA.....	70
Tabla 12. Superficies predichas de agua, utilizando diferentes MNS y el modelo EEOS	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Población en riesgo de transmisión de paludismo en África del Oeste.	25
Figura 2. Población en riesgo de transmisión de paludismo en África Central.....	25
Figura 3. Distribución de Anophèles en fct T° sat et DEM [Rogers et al, 2002]	27
Figura 4. Comparación de una ocupación de suelo favorable al desarrollo de mosquitos derivada de datos HR Landsat (a la izquierda) y THR, Ikonos (a la derecha) (Masuoka et al, 2008).....	28
Figura 5. Distribución espacial de las zonas de estudio entomológico de terreno a Dakar y su periodo de estudio. [Gadiaga et al, 2011; MACHAULT, 2010].....	35
Figura 6. Mapas de paludismo urbano a Dakar, Senegal. De izquierda a derecha: picaduras de mosquito anofeles/por persona/por noche, para la estación de lluvias del año 2009; imagen SPOT 5 a 2.5 metros de resolución para el mismo periodo; mapa de predicción de riesgo entomológico para el día 20 de septiembre 2009. Crédits: CNES/Spot Images.	36
Figura 7. Diagrama de flujo Etapa 1. Detección de Superficies de agua. Proyecto Urban Malaria.....	39
Figura 8. Diagrama de flujo Etapa 2. Productividad larvaria. Proyecto Urban Malaria .	40
Figura 9. Esquema general del diagrama relacional para la industrialización del proyecto EEOS Malaria.	41
Figura 10. Herramienta desarrollada para la industrialización del proyecto EEOS Malaria.....	43
Figura 11. Cálculo del índice MNDWI.....	45
Figura 12. Cálculo del índice NDVI.....	45
Figura 13. Cadena de tratamiento para la industrialización de la etapa 1 del proyecto EEOS Malaria.....	45
Figura 14. Mapa de colecciones de agua, obtenidas con el modelo industrializado EEOS Malaria.....	46
Figura 15. Comparación de resultados EEOS modelo industrializado en ArcGIS 9.2 Vs. Resultados obtenidos del modelo EEOS en ArcGis 10. Modelos desarrollados en el proyecto CNES - SERTIT.	47
Figura 16. Cadena de tratamiento para la creación de la grilla de análisis a utilizar para el cálculo de estadísticas zonales.....	49
Figura 17. Cadena de tratamiento luego de la primera optimización del proyecto de industrialización EEOS Malaria. Etapa 1, mapas de colecciones de agua.	50
Figura 18. Interface usuario para la etapa 2 del proyecto EEOS Malaria industrializado	51
Figura 19. Etapa 2, Cálculo de las estadísticas zonales para las variables ecológicas en un buffer (zona tampón) de 10 m, aplicado a cada polígono de agua, derivado de la etapa 1.	52

Figura 20. Extracción de valores de acumulado de lluvias y LST para la fecha de análisis solicitada por el usuario y la creación del mapa de producción larvaria correspondiente.....	53
Figura 21. Mapa de producción larvaria, obtenida con el modelo industrializado EEOS Malaria. Predicción de la producción larvaria para el 28 de septiembre de 2009.	54
Figura 22. Parte C. Consulta en la base de datos de los valores de lluvia y LST para el período de análisis. Modelo industrializado EEOS Malaria. (Final_Etape_2_pour_Et_3a)	56
Figura 23. Parte D. Etapa 2. Creación de mapas de productividad larvaria para el período de análisis. Proyecto EEOS Malaria	57
Figura 24. Primer modelo de industrialización para la etapa 3 EEOS Malaria	58
Figura 25. Etapa 3. Producción de mapas de riesgo entomológico para el período de análisis. Modelo industrializado EEOS Malaria.	59
Figura 26. Mapa de riesgo entomológico de paludismo a Dakar (Senegal) para el 28 de septiembre de 2009. Resultado obtenido con el modelo EEOS Malaria.....	60
Figura 27. Serie temporal mensual para el periodo julio 2009 – noviembre 2009, generada a partir del modelo EEOS Malaria.....	62
Figura 28. Interface usuario para el cálculo del índice BI.	65
Figura 29. Cadena de tratamiento para el cálculo del “índice de brillante” BI	65
Figura 30. Ejemplo de imagen MODIS para extracción de valores de LST - Zona de estudio N'Djamena	65
Figura 31. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de colecciones de agua previstas para el año 2008. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar + 2 metros)	66
Figura 32. Mapa de colecciones de agua a N'Djamena observadas sobre las imágenes HR et THR.....	67
Figura 33. Transferibilidad de procesos del proyecto EEOS Malaria a la ciudad de N'Djamena (Tchad). Mapa de probabilidad de producción de criaderos larvarios de mosquitos anofeles para el 05 de septiembre de 2009.	67
Figura 34. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de riesgo entomológico de paludismo para el 5 de septiembre de 2009. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar).....	68
Figura 35. MNS disponibles para la ciudad de Dakar.....	70
Figura 36. Comparación de la predicción de colecciones de agua en Dakar, utilizando el modelo industrializado EEOS con diferentes MNS como variable de entrada.....	71
Figura 37. Colecciones de agua predichas a 2 altitudes diferentes, relativas al nivel del mar (nivel o msnm o « pseudo » nivel del mar a 2 msnm respectivamente)	74
Figura 38. Comparación resultados modelo industrializado EEOS con entradas del proyecto Urban Malaria.....	75
Figura 39. Comparación de resultados proyecto EEOS, con entrada de SRTM del Proyecto Urban Malaria y el SRTM descargado del sitio CGIAR (Sitio oficial de la NASA)	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. CADENAS DE TRATAMIENTO PROYECTO DE INDUSTRIALIZACIÓN EEOS MALARIA.....	86
ANEXO B. MAPAS DE DAKAR Y N'DJAMENA PRODUCIDOS CON EL MODELO INDUSTRIALIZADO EEOS MALARIA	93
ANEXO C. COMPARACIÓN DE RESULTADOS URBAN MALARIA Y LOS RESULTADOS DEL MODELO INDUSTRIALIZADO EEOS MALARIA.....	107
ANEXO D. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	113
ANEXO E. PRESUPUESTO.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS

ARMA:	Atlas du Risque de Malaria en Afrique - Atlas de Riesgo de Paludismo en África
ASC:	Agencia Espacial de Canadá
ASTER:	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR:	Advanced Very High Resolution Radiometer
BI:	Brightness Index (Indice de Brillance du sols)
CHAART:	Center for Health Applications of Aerospace Related Technologies. (Proyecto de la Nasa Ames Center Research)
CDC:	Centers for Disease Control
CNES:	Centre National d'Etudes Spatiales - Centro Nacional de Estudios Espaciales
CONAE:	Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (Agence spatiale argentine)
DEM:	Digital Elevation Model. Modelo Digital de Elevación (MDE)
EDS:	Enquête Démographique et de Santé. Encuesta Demográfica y de Salud
EEOS Malaria:	Epidemiology Earth Observation Services-Malaria
EIP:	Enquête sur les Indicateurs du Paludismo. Encuesta de Indicadores de Paludismo
EIR:	Entomological Inoculation Rate (Ratio d'Inoculation Entomologique)
ESA:	European Space Agency (Agence Spatiale Européenne). Agencia Espacial Europea
HR-AR:	Haute Résolution (spatiale) – Alta Resolución
MARA:	Mapping Malaria Risk in Africa project
MATE:	Monitoreo Argentino de Tele-Epidemiologia
MMS:	Malaria Modeling & Vigilancia (Proyecto de la NASA pour la modélisation et vigilancia de la malaria).
MNS:	Modèle numérique de surface. Modelo Numerico de Superficie
MODIS:	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
N.B.	Locución latina que significa “Nótese Bien”, con el fin de llamar la atención sobre un punto importante y/o precisión.
NASA:	National Aeronautics and Space Administration (Agence spatiale aux Etats Unis)
NDVI:	Normalized Difference Vegetation Index. Indice Normalizado de Vegetación

NDWI:	Normalized Difference Water Index. Índice Normalizado de (contenido) de Agua
OMS:	Organisation Mondiale de la Santé. Organización Mundial de la Salud
OT:	Observation de la Terre. Observación de la Tierra
PME:	Petites et Moyennes Entreprises. Pequeñas y Medianas Empresas
SIG:	Système d'Information Géographique. Sistemas de Información Geográfica
SPOT:	Satellite Pour l'Observation de la Terre. Satélite para la Observación de la Tierra
SRTM:	Shuttle Radar Topography Mission
THR - VHR:	Très Haute Résolution (spatiale) – Very High Resolution – Muy Alta Resolución
TRMM:	Tropical Rainfall Measuring Mission
WHO:	World Health Organisation

RESUMEN

TITULO: MODELIZACIÓN EN SIG DE INDICADORES AMBIENTALES Y SOCIALES, A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN. “AUTOMATIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DEL PROYECTO DE EPIDEMIOLOGIA EEOS MALARIA” *

AUTOR: Luz María PEREZ SAAVEDRA **
luz.perez.saavedra@hotmail.com

PALABRAS CLAVE: Paludismo, África, SIG, NDVI, indicadores ambientales. Quickbird, Pleiades. Muy Alta Resolución, EEOS.

CONTENIDO:

Este estudio se basa en la tesis de doctorado “Urban Malaria” de Machault (2010). Se modelizó e industrializó la distribución espacial de indicadores ambientales y sociales, dando origen al proyecto EEOS (Epidemiology Earth Observation Services) Malaria en Dakar (Senegal). Apoyándose en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el enfoque de tele-epidemiología: utilizando imágenes de satélite de media a Muy Alta Resolución (THR-VHR), usando técnicas y herramientas de análisis espacial y considerando la interacción con los vectores de transmisión y el ambiente.

Se confirma que la presencia de vectores aumenta significativamente según la estacionalidad y que los datos ambientales (Índices NDVI, NDWI, las lluvias, la densidad de viviendas, entre otros), tienen un vínculo directo con la activación de la enfermedad y su distribución espacial, lo que permite producir mapas de prevención y control del paludismo en medio urbano. Como resultado, se deriva un modelo que produce mapas: a) de superficies de agua, b) de probabilidad de producción larval y, c) de riesgo entomológico de paludismo en Dakar (Senegal), el cual puede ser aplicado a cualquier periodo de análisis. Además, permite la producción de mapas con información diaria, semanal, mensual o anual, asegurando así la continuidad del control de la enfermedad. Adicionalmente, este estudio permitió validar el modelo en N´Djamena (Tchad) y el análisis de la calidad de los datos de entrada. Por otra parte, se resalta la atención que se debe tener con los Modelos Digitales de Elevación (MDE-DEM) explotados.

Para finalizar, se proponen pistas de mejoramiento del modelo: a) la ponderación de la superposición de polígonos, b) examinar el rol de las temperaturas de superficie, la forma de integrar la pluviometría, los MDE, entre otras; que permiten identificar posibles adaptaciones a tener en cuenta para explotar este modelo en otros ambientes (tropicales por ejemplo), u otras especies de mosquitos.

* Proyecto de investigación. Trabajo de grado (PREGRADO)

** Facultad de Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz. Universidad Industrial de Santander.

ABSTRACT

TITLE: MODELISATION GIS OF ENVIRONMENTAL AND SOCIETAL INDICATORS FROM VERY HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING DATA IN THE FRAME OF THE EPIDEMIOLOGIC PROJECT « EEOS MALARIA » *

AUTHOR: Luz María PEREZ SAAVEDRA **
luz.perez.saavedra@hotmail.com

KEYWORDS: Malaria, Africa, GIS, NDVI, environmental factors. Quickbird, Pleiades. Very High Resolution - VHR, EEOS.

DESCRIPTION:

This work is based on the « Urban Malaria » Machault's thesis [2010]. It aims at modeling spatial distribution of environmental indicators and to industrialize the EEOS (Epidemiology Earth Observation Services) Malaria project for Dakar (Senegal), using Geographic Information's System (GIS) and a tele-epidemiologic approach. Then the model was applied to N'Djamena (Tchad) and the quality of the input data, such as Digital Elevation Model (DEM), was evaluated. The EEOS Malaria model integrates remote sensing data from Medium Resolution to Very High Resolution with spatial analysis methods applied to transmission vectors and to environment.

The main purpose in this work is that environmental data have a direct link with the trigger of the disease. From the analysis of this link with field data, we are able to generate maps for the prevention and surveillance of malaria in urban areas. NDVI, NDWI, elevation, density of buildings and others are key factors for malaria spatial distribution. Also, the abundance of vectors increases seasonally. From these results a model was derived, in order to produce: a) maps of water bodies, b) maps of probability for larval production, and c) maps of malaria entomological risk. This model can be applied to any time period. In addition, it allows the production of daily, weekly, monthly or yearly maps: it ensures the continuity for the control of the disease over time.

Finally, this work highlights also the sensitivity of the model to the DEM. Some perspectives to improve the EEOS Malaria model are: a) the exploitation of the polygon superposition, allowing a finest weighting. b) the integration of discontinuous surface temperature and rainfall daily time-series. And another improvement could be the analysis of adaptations to take in account for the transfer of this approach to other case study (e.g. tropical environment), or other species of mosquitoes.

* Degree Project – Research modality.

** Faculty of Physical-Mechanical sciences. School of Civil Engineering. Director: Hernan Porras Diaz.

RESUME

TITRE: MODÉLISATION SOUS SIG D'INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIÉTAUX À PARTIR D'IMAGERIE SATELLITE TRÈS HAUTE RÉOLUTION. « AUTOMATISATION ET INDUSTRIALISATION DU PROYECTO D'ÉPIDÉMOLOGIE EEOS MALARIA » *

AUTEUR: Luz María PEREZ SAAVEDRA **

MOTS CLÉS: Paludisme, Afrique, SIG, NDVI, indicateurs environnementaux. Quickbird, Pléiades. Très Haute Résolution, EEOS.

RESUME:

Cette étude est dérivée de la thèse « Urban Malaria » de Machault [2010]. On a modélisé la distribution spatiale d'indicateurs et industrialisé en créant le projet EEOS (Epidemiology Earth Observation Services) Malaria à Dakar (Sénégal), en s'appuyant sur des technologies des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et des méthodes de télé-épidémiologie. Ensuite s'a réalisé la transférabilité du model à N'Djamena (TChad) et en finissant pour l'analyse de la qualité des données d'entrée tel quels le Modèle Numérique de Surface (MNS-DEM). La modélisation a été faite à partir de l'utilisation des images satellites de moyenne à Très Haute Résolution (THR) avec des techniques et des outils d'analyse spatiale, portant à la fois sur les vecteurs de transmission et l'environnement.

Nous soutenons de ce travail de recherche que les données environnementales ont un lien directe avec le déclenchement de la maladie et que en analysant ce lien avec des données terrain on peut produire des cartes pour la prédiction, prévention et surveillance du paludisme en milieu urbain. Les indices de NDVI, de NDWI, l'altitude, la température, la précipitation et la densité de bâtiments sont les facteurs les plus déterminants de sa distribution spatiale. Par contre, l'abondance des vecteurs augmente particulièrement de façon saisonnière. De ces résultats, a été dérivé un modèle qui a servi : a) produire des cartes de collections d'eau, b) des cartes de probabilité de production larvaire et, c) des cartes de risque entomologique de paludisme. Cette modèle peut être appliquée à quelconque période ou date d'analyse. En plus, il permet la production des cartes journalières, hebdomadaires, mensuelles ou annuelles ; celui-ci assure la continuité du control de la maladie dans le temps.

Enfin, cette étude a menée sur l'attention qu'il faut porter sur le MNS-DEM exploité. Des pistes d'amélioration ou de renforcement de la robustesse du modèle : a) l'exploitation de la superposition de polygones autorisant une pondération plus fine. b) des travaux pourraient être entrepris sur les données de températures de surface, ou encore de pluviométrie dans la façon d'intégrer des séries temporelles journalières discontinues. D'autre part, elle peut s'enrichir en analysant quelles seraient les adaptations à prendre en compte pour exploiter cette approche sur des autres environnements (tropicaux par exemple), ou des autres espèces de moustiques.

* Projet de recherche

** Faculté de physico-mécaniques. Ecole de génie civil. Directeur: Hernán Porras Díaz.

INTRODUCCION

Convención de intercambio académico: El proyecto de grado (stage) hace parte del Plan Académico de la Escuela de Ingenieros INSA de Strasbourg, y es realizado dentro del marco del convenio de intercambio académico: “UIS Colombia - GROUPE INSA Francia”, de la Universidad Industrial Santander y la Escuela de Ingenieros INSA en Francia (Instituts Nationaux des Sciences Appliquées – Groupe INSA)

Contexto: La malaria o el paludismo es una enfermedad endémica y es considerada como la primera causa de mortalidad en el mundo entero, afecta a más de 3.3 millardos de personas (99 países), [Organización Mundial de la Salud - OMS, 2011]

De igual manera indica, que el parásito del género Plasmodium es el responsable de la enfermedad y se transmite al ser humano por la picadura de mosquitos hembra infectadas, llamados “vectores del paludismo”.

La mayoría de casos y de muertes debido a esta enfermedad, se presentan en África Subsahariana (81%). Según las últimas estimaciones, en el año 2010 se produjeron 216 millones de episodios palúdicos, y a escala mundial, el 86% de las muertes se presentan en la población infantil, con el riesgo más alto entre los niños entre 0 y 5 años.

En África, la mortalidad infantil ha bajado aproximadamente en un 20 % a lo largo de la última década, gracias principalmente a los esfuerzos de la OMS (WHO por sus siglas en inglés), al apoyo del grupo de entidades Roll Back Malaria (RBM), y las entidades de salud pública de África, etc.

Si bien las causas de mortalidad infantil son múltiples, el presente estudio hace parte integral del esfuerzo conjunto por disminuir y erradicar esta enfermedad: se espera poder contribuir a salvar un número significativo de niños y de poblaciones en riesgo.

El proyecto EEOS Malaria, que es el objeto del presente estudio, es una iniciativa del Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) en Francia y tiene por vocación el desarrollo de un servicio de cartografía de zonas en riesgo de paludismo en medio urbano (Urban Malaria Project). El converge organismos científicos, pequeñas y medianas empresas – PME y usuarios como el Servicio de Salud de la Fuerza Armada Francesa.

Gracias a la estructuración de la teledetección, la modelización climática, la meteorología y la ecología, combinada con la información de trabajo de campo y clínico, se dispone de un potencial importante para el estudio, la observación médica, la predicción y la lucha contra las epidemias y su evolución geográfica en el mundo.

Combinando la utilización de estas áreas de conocimiento, junto con la tele-epidemiología y una metodología estadística y epidemiológica apropiadas: es posible guiar los programas de lucha contra el paludismo en África Subsahariana, específicamente en las ciudades de Dakar (Senegal) et N'Djamena (Tchad), que hacen parte integrante del presente estudio.

El documento presenta en su capítulo 1, lo concerniente al objeto del presente proyecto; en el capítulo 2 se tratan diferentes aspectos concernientes con la teledetección en epidemiología, los SIG y el rol en la epidemiología, como preámbulo al tercer capítulo.

En este nuevo capítulo, se expone la síntesis del proyecto “Urban Malaria” del CNES, que corresponde principalmente a la tesis de doctorado de MACHAULT Vanessa (2010): *Utilización de datos suministrados por los satélites de Observación de la Tierra para la evaluación de densidades vectoriales y la transmisión del paludismo*. Esta tesis es la base de la metodología para los procesos de industrialización del proyecto EEOS Malaria.

En un cuarto capítulo, luego de la comprensión del método « Urban Malaria », se industrializan las tres etapas para la producción de mapas (cartas) de riesgo entomológico de paludismo en Dakar; en función de las superficies de agua y de la probabilidad de producción larvaria en dichas superficies.

Luego, en un quinto capítulo se analiza la transferibilidad del modelo EEOS a la ciudad de N'Djamena (Tchad), y se presentan los resultados obtenidos para cada etapa, junto con las limitaciones (obstáculos) de transferibilidad encontrados.

En una sexta parte, se analiza la influencia de la calidad de los datos (capas de información) de entrada del modelo y se muestra el fuerte impacto de los Modelos Numéricos de Superficie (MNS/DEM) en el modelo EEOS.

Para terminar, se presentan la conclusión y las perspectivas para el avenir de la investigación aplicada al proyecto.

El aporte del presente estudio es la automatización e industrialización del proyecto EEOS Malaria que tiene por meta, obtener un modelo industrial que permita la producción y reproducción de cartografía de riesgo de transmisión del paludismo en medio urbano.

Si bien existen proyectos que procuran explotar los datos *suministrados por los satélites de Observación de la Tierra* a Mediana Resolución – MR y baja resolución – BR, el presente estudio constituye un primer acercamiento (aplicación) a la utilización de datos HR y Muy Alta Resolución (VHR/THR).

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

TITULO DE LA PROPUESTA EN FRANCES: Modélisation sous SIG d'indicateurs environnementaux et sociétaux à partir d'imagerie satellite Très Haute Résolution. « Automatisation et industrialisation du projet d'épidémiologie EEOS Malaria »

TITULO DE LA PROPUESTA EN ESPAÑOL (Traducción literal): Modelización en SIG de indicadores ambientales y sociales, a partir de Imágenes satelitales de Muy Alta Resolución. "Automatización e industrialización del proyecto de epidemiologia EEOS Malaria"

AUTOR(ES): Luz María PEREZ SAAVEDRA

DIRECTOR (UIS): Hernán PORRAS DIAZ

Docente Universitario. Director GEOMATICA, Gestión y Optimización de sistemas.

DIRECTOR (INSA Strasbourg): Mathieu KOEL

Maître de Conférences. Coordinateur de la Filière Topographie. Responsable du laboratoire d'Informatique (LIG).

TUTOR (Entidad de acogida): Hervé YESOU

Cargo del Tutor: Director de proyectos

El establecimiento de acogida es el SERTIT: Servicio Regional de Tratamiento de Imágenes y de Teledetección, es un servicio de valorización y de transferencia de tecnología de la Universidad de Strasbourg en el dominio de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El equipo está compuesto por 20 especialistas calificados (Ingenieros de sistemas, geólogos, físicos, geógrafos, topógrafos...) con altas competencias técnicas comunes en tratamiento de imágenes de satélite, en teledetección, en SIG y en fotogrametría.

Financiación del proyecto: El CNES (Francia) a través de la *Direction de la Stratégie et des Programmes / Terre-Environnement-Climat (DSP/TEC)*¹ financia el proyecto EEOS Malaria, en el cual se utiliza el concepto de la tele-epidemiología, que es la utilización de la información derivada de las imágenes satelitales, los SIG, la epidemiologia y el trabajo

¹ Dirección de estrategia y de Programas Tierra – Medio Ambiente – Clima (DSP-TEC)

de campo para generar de manera automatizada, cartografía de riesgo entomológico de paludismo.

1.1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo generar cartografía de zonas en riesgo de paludismo (malaria) en medio urbano?, utilizando el concepto de tele-epidemiología.

La elaboración de cartas o mapas de riesgo de paludismo es importante para mostrar la distribución espacio-temporal de criaderos larvarios y la identificación de zonas a riesgo entomológico. Dicha cartografía será útil a las entidades competentes, para la planeación de medidas de salud pública y puesta en marcha de labores de control, disminución y erradicación del paludismo.

El CNES, la Agencia espacial europea - ESA, la NASA, el proyecto Roll Back Malaria, la Universidad de Oxford y otras organizaciones y universidades en el mundo, trabajan en investigación científica para generar proyectos que permitan luchar contra esta enfermedad.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general es la modelización en SIG de indicadores ambientales y sociales, a partir de Imágenes satelitales de Muy Alta Resolución, para la “Automatización e industrialización del proyecto de epidemiología EEOS Malaria”.

1.2.2 Objetivos Específicos

- La modelización, automatización e industrialización de los procesos del proyecto epidemiológico EEOS Malaria:
 - Analizar el proceso metodológico para la evaluación de riesgo de malaria en medio urbano, para la identificación de factores, datos y variables asociadas.
 - Analizar e integrar en SIG, el conjunto de datos disponibles: Información derivada de imágenes satelitales de Muy Alta Resolución, pluviometría, LST, etc.
 - Reproducir, industrializar y validar sobre la Ciudad de Dakar (África), la evaluación del riesgo de malaria en medio urbano.
 - Crear los mapas de riesgo entomológico, derivados del modelo.

- Verificar la transferibilidad del modelo EEOS Malaria a la ciudad de N'Djamena (Tchad).
- Evaluar la sensibilidad del modelo a la calidad de los datos de entrada, en el caso de utilizar los diferentes modelos digitales de elevación de superficie: SAR, SRTM, DTED, ASTER V2.

1.3 METODOLOGIA

Utilizando principalmente los conceptos desarrollados por el CNES y en la tesis de doctorado de MACHAULT Vanessa (2010):

- Se realizaron los diagramas pertinentes de las etapas del proyecto EEOS Malaria. (flujo de procesos)
- Se realizaron los modelos de geoprosesamiento para la automatización en SIG de cada etapa EEOS Malaria, mediante la utilidad *Model Builder* contenida en el software ArcGIS 10 y las herramientas disponibles.
- Una vez validada cada una de las etapas del proyecto EEOS Malaria en la ciudad de Dakar, se procedió a validar el modelo industrializado en la villa de N'Djamena (Tchad).

Luego de ello se evaluó la sensibilidad del modelo EEOS Malaria, en el caso de variar la entrada de modelo digital de elevación: datos derivados de SAR, SRTM, DTED y ASTER V2.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONTEXTO GENERAL: PALUDISMO EN EL MUNDO, OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

Según la OMS (2011), existen cuatro tipos de paludismo humano:

- Por *Plasmodium falciparum* es considerado el más mortal, predomina en África.
- Por *P. vivax* es considerado menos mortal, pero es el más extendido en el planeta.
- Por *Plasmodium ovale* y por *Plasmodium malaria* son encontrados de manera poco frecuente.

En los últimos años, el *Plasmodium knowlesi* que es el parásito responsable del paludismo de monos en las zonas boscosas del Sud-Este de Asia, es recientemente observado como responsable de algunos casos de paludismo humano.

En 2010, se produjeron 216 millones de episodios palúdicos en el mundo. El número de muertes se estimó en 655.000, donde el 91% corresponden a decesos en África.

2.1.1 Datos y estadísticas

Según las estadísticas Sanitarias Mundiales en 2011 de la OMS, la tasa de mortalidad debida al paludismo en África es la más alta a nivel mundial. Con una suma total de 3781 muertes por cada 100 000 habitantes en 2010.

El porcentaje de la población expuesta a riesgo de transmisión de paludismo en África Central y África del Oeste, se muestra en las figuras 1 y 2 respectivamente:

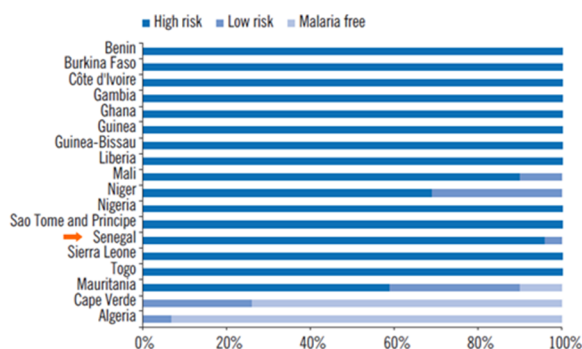
- Riesgo elevado: el número de casos reportados es ≥ 1000 personas por año.
- Riesgo bajo: < 1 caso de paludismo por 1000 personas por año.
- Las otras partes del país son consideradas como exentas de riesgo de transmisión.

Con respecto al presente estudio (ver Ciudad de Dakar en Senegal y N'Djamena en Tchad), Senegal presenta un porcentaje superior a 90 % de la población en riesgo alto de transmisión, y un 10% en menor riesgo de transmisión (Figura 1).

El 80% de la población de Tchad está expuesta a riesgo elevado de transmisión, el 15% se encuentra en menor riesgo y el 5 % es considerada como exenta de riesgo de transmisión (Figura 2).

Figura 1. Población en riesgo de transmisión de paludismo en África del Oeste.

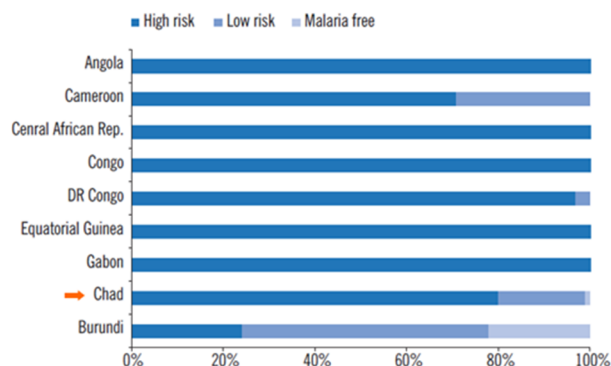
a) Population at risk, 2010



Fuente: OMS [2011] Op. cit., 17. (modificado).

Figura 2. Población en riesgo de transmisión de paludismo en África Central.

a) Population at risk, 2010



La intensidad de la transmisión depende de factores relacionados con el parásito, el vector, el huésped humano y el medio ambiente y es por consecuencia espacialmente heterogéneo, [OMS, 2011, 2013; SMITH et al, 2007; GEMPERLI et al, 2006; HAY & SNOW, 2006; HAY et al, 2005]. Esta heterogeneidad tiene implicaciones importantes en el nivel de riesgo y estructura por edades, sobre la progresión de la infección, la declaración de la enfermedad hasta la invalidez y luego la muerte.

2.1.2 Población expuesta

Como se cita anteriormente, la población con más alto riesgo se encuentra en la Región de África subsahariana; sin embargo, Asia, Latinoamérica y, en menor medida, Oriente Medio y algunas zonas de Europa también se ven afectadas. [OMS, 2011].

Entre los principales grupos de población que se encuentran en riesgo, se citan:

- **Los niños pequeños** (menores de 5 años) que viven en zonas de transmisión estable.
- **Las mujeres embarazadas no inmunizadas o semi-inmunizadas**, generando altas tasas de aborto y de mortalidad materna.
- **Los viajeros internacionales no inmunizados** provenientes de zonas no endémicas, por ejemplo **las fuerzas armadas extranjeras** que trabajan en África.
- **Los inmigrantes venidos de regiones de endemia y sus hijos**, que viven en zonas exentas de paludismo y que retornan a sus países de origen.
- **Los refugiados y la población desplazada al interior de un país de endemia.** La exposición al riesgo de transmisión es continuamente para ellos, de un orden diferente que el de la población local, en razón principalmente a:
 - La falta de una buena organización de los servicios de salud.

- la concentración de población no inmune en zonas de riesgo de transmisión.
- la malnutrición.
- La localización de campos de desplazados y/o refugiados en zonas marginales sujetas a inundaciones y a una alta presencia de vectores de paludismo.

2.2 UTILIZACIÓN DE LA TELEDETECCION EN EPIDEMIOLOGIA: ESTADO DEL ARTE²

Según TRAN, (2004), la utilización de la teledetección en epidemiología tiene por objetivo principal: la identificación de zonas y de períodos en riesgo, para mejorar el control de las enfermedades. La hipótesis subyacente es que la enfermedad está ligada al ambiente, y que éste puede ser caracterizado, de manera directa o indirecta, utilizando las imágenes de satélite.

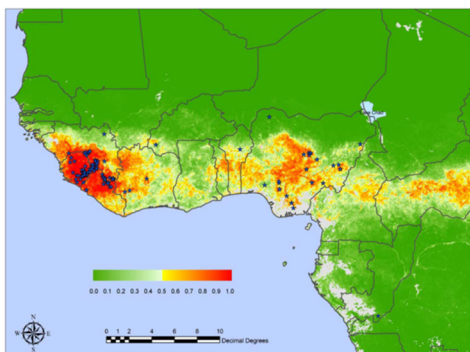
La teledetección es utilizada desde principios de los años 70, en estudios sobre las enfermedades donde el vector es un mosquito:

- Sobre el *Aedes sollicitans*, (NASA, 1970).
- la malaria o el paludismo (Wood et al, 1991; Rejmankova et., 1991-92; Pope, 1994; Beck, L.R. et al, 1994; Rejmankova et al, 1995; Roberts et al, 1996; Rodriguez et al, 1996; Thomson et al, 1997; Hay et al,1998; Proyecto MARA/ARMA, 1998; UMBI & Ames, 2000; Omumbo et al, 2002; Rogers et al, 2002; Eisele et al, 2003; Abeku et al, 2004; NASA, 2004; Teklehaimanot et al, 2004; Gemperli et al, 2006; Thomson et al, 2006; Bogh et al, 2007; Tran et al, 2008; Dambach et al, 2009; Machault et al, 2010; Gething et al, 2011; Machault et al, 2012).
- la Fiebre del Nilo Occidental, (De la Rocque et al, 2004; ESA 2012),
- la fiebre del valle de Rift, (Pope, 1992; Linthicum, 1987 -90, 1994 et 1999; Anyamba, 2002; NASA, 2009; Vignolles et al, 2009, Proyecto AdaptFVR - CNES)
- Distribución de mosquitos en Europa, ejemplo mosquito *Ochlerotatus Japonicus* (Fiebre de chikungunya en Bélgica) (Iniciativa Vecmap de la ESA, 2012)

Por otra parte, Kalluri et al (2007), publicaron una síntesis sobre la explotación de información (datos) de satélite para la vigilancia de enfermedades infecciosas donde el vector es un artrópodo.

² **Nota:** Estudio bibliográfico actualizado, modificado y completado a partir de los trabajos sobre el tema realizados por el SERTIT 2011

Figura 3. Distribución de Anophèles en fct T° sat et DEM [Rogers et al, 2002]



Machault et al (2009-2010), publicaron recientemente una síntesis bibliográfica de los aportes de la teledetección a la lucha contra el paludismo, realizando así, una actualización del estado del arte.

Un ejemplo de esta aplicación de la OT en epidemiología aparece en la figura 3, donde se puede observar la distribución espacial de mosquitos anofeles en función de la temperatura, la saturación y el modelo digital de elevación. [Rogers et al, 2002]

Cubriendo todos los continentes, comprendidos en la banda tropical, estos estudios epidemiológicos explotan los datos de teledetección en apoyo a una mejor comprensión, tanto del carácter de estación de las epidemias como de los factores de transmisión. Esto significa la capacidad de caracterizar y cuantificar las variables ambientales asociadas al desarrollo de las enfermedades.

En el presente estudio se demuestra la utilidad de las imágenes de OT en la lucha contra el paludismo, con el fin de observar la distribución espacio-temporal de los “criaderos” de larvas y la detección de zonas en riesgo entomológico. Lo que permite, apoyar y guiar programas de lucha contra esta enfermedad en las ciudades de Dakar (Senegal) et N’Djamena (Tchad).

A continuación, es importante analizar la noción de escala del estudio, su aplicabilidad y la conjunción con otros datos (ver DEM, TRMM, etc), así como la transferibilidad del modelo automatizado de una escala HR a una de THR (Muy Alta Resolución / VHR en inglés)

2.3 NOCIÓN DE ESCALA, UTILIZACIÓN DE SENSORES DE RESOLUCIÓN BAJA A MUY ALTA RESOLUCIÓN

La escala de resolución de una imagen permite la obtención (visualización) de información con nivel de detalle en función de la misma (ejemplo en figura 7). Sin embargo, debe tenerse especial cuidado cuando el producto final demanda la utilización de imágenes a escalas diferentes, generando una variación y/o de cambio de escala, con el fin de evitar errores o “pérdida de información”.

Por otra parte, el mismo vocabulario como “vegetación” o “mapa de riesgo” son utilizados a escalas muy diferentes, ejemplo de ello, la información primaria creada a partir de:

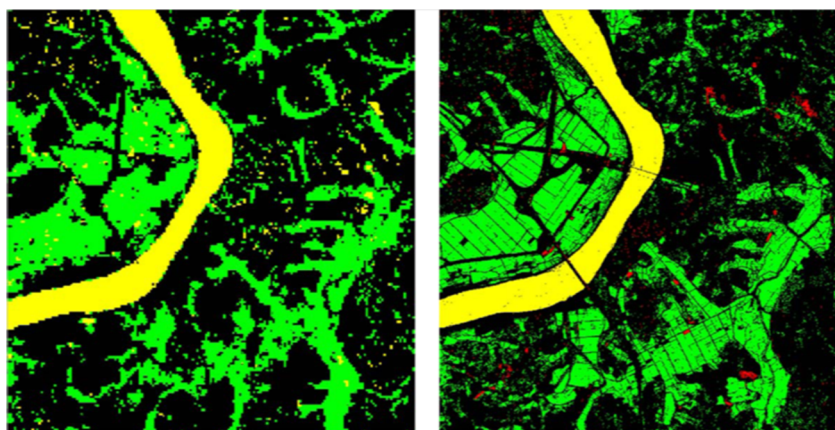
- Bien de datos globales de tipo METEO AVHRR, o regionales de tipo MODIS ver TRMM, SRTM, etc
- bien de datos a Alta Resolución (HR): Landsat, SPOT, Beijing 1 etc.
- Bien de datos a Muy Alta Resolución (VHR - THR): ALOS, SPOT 5, QuickBird, Ikonos, Pleiades, etc.

Así, mientras estos datos se fundamentan sobre la explotación de descriptores estacionales como la temperatura de superficie o el crecimiento de la vegetación (crecimiento que depende en gran parte de la relación con la temperatura, recursos de agua/humedad) o de la precipitación, estos mapas son producidos a una escala “regional”, es decir, subcontinental, ver continuando un límite (decoupage) nacional.

En oposición, mientras descriptores ambientales como las zonas de agua (potenciales criaderos de larvas), tipos de cultivo, elementos antrópicos son descritos y combinados, las escalas de investigación son las de un grupo de asentamientos, de un barrio o de una ciudad.

En la figura 4 se puede observar la comparación de una ocupación de suelo favorable al desarrollo de mosquitos, derivada de datos HR Landsat (a la izquierda) y THR, Ikonos (a la derecha) (Masuoka et al, 2008).

Figura 4. Comparación de una ocupación de suelo favorable al desarrollo de mosquitos derivada de datos HR Landsat (a la izquierda) y THR, Ikonos (a la derecha) (Masuoka et al, 2008)



En la tabla 1, adaptada y traducida a partir del estudio bibliográfico realizado por el SERTIT, se muestra por escala de observación, los diferentes parámetros explotables, así como las referencias bibliográficas asociadas, relacionadas con el presente proyecto.

Tabla 1. Estudio bibliográfico sobre el tema epidemiología y espacio, en lo correspondiente al presente estudio (traducido al español y modificado de SERTIT 2011).³

Características ambientales	Captor o producto	Resolución espacial	Resolución temporal	Utilización	Referencias bibliográficas, explotación de información de OT y vectores (mosquitos)
Pluviometría	TRMM METEOSAT	25*25 km ² a 5*5 km ²	3 horas	Pluviometría diaria	Dugdale et al., 1991 ; Hutchinson et al., 1996 ; Sogoba et al., 2007
			Síntesis diaria, semanal,	Tendencias pluviométricas,	Sharma et al., 2007 ; Kiang Richard (NASA), 2009.
			cada diez días, mensual	+/- húmeda,	Han et al., 2010
				+/- sequía	Hand and Shepherd, 2009 Vignolles et al., 2006 Midekisa et al, 2012
Temperatura de superficie	MODIS	1km a 120m	diaria a 16 días		Rogers et al., 2002 ; Hay et al., 1998 ; Kiang Richard (NASA), 2009 ; Midekisa et al, 2012
Vegetación	MODIS	1km a 300m	diaria a 16 jours	Ecosistemas regionales y tendencias: húmeda/seca NDVI	Hay et al., 1998 ; Rogers et al., 2002 ; Gemperli et al., 2004 ; Gemperli et al., 2006 ; Tourre et al., 2008 ; Machault et al., 2008 ; Kiang Richard (NASA), 2009 ; Gaudart et al, 2009 ; Midekisa et al, 2012
Elevación	DEM SRTM	90m		Pendientes	Li et al., 2006 ; Kiang Richard (NASA), 2009
	DEM ASTER	30m		Altitud	Rincon-Romero et Londono, 2009
				Relación temperatura y precipitación versus altitud	Jacob et al, 2009
				Sentido del flujo de aguas	Kazembe et al., 2006 Dongus et al., 2009
Superficies de agua	SPOT	75m		Variación de superficies, extensión, calidad del agua (turbiedad)	Lacaux et al., 2006; Vignolles et al., 2009
Vegetación	SPOT	75m		Vegetación alta/vegetación baja	Lacaux et al., 2006;
Zona urbana	Landsat	30 a 2.5m	Cada diez días a mensual	Tipología urbana extensa	Machault et al., 2009
	SPOT			Dinámica urbana	Tatem et al., 2004
Vegetación	Quickbird	1m a 0.5m	Adquisición casi diaria es posible, seguimiento anual o plurianual	Identificación de reservas de árboles grandes.	Jacob et al., 2007
Cuerpos de agua	Quickbird	1m a 0.5m	Adquisición casi diaria es posible, seguimiento anual o plurianual	Superficies y calidad del agua	Troyo et al., 2007
	Ikonos			Características de cuerpos de agua (sombra)	Dongus et al., 2009
	Worldview			=> Descripción de criaderos de larvas, productividad de criaderos.	Jacob et al., 2007
Redes hidrográficas	Quickbird	1m a 0.5m	Adquisición casi diaria es posible, seguimiento anual o plurianual	Cartografía de canales de irrigación, de quebradas o pequeños ríos.	Troyo et al., 2007
	Ikonos			=> Descripción de criaderos de larvas, productividad de criaderos.	Dongus et al., 2009
	Worldview			Jacob et al., 2007	
Zona construida (edificaciones)	Quickbird	1m a 0.5m	Adquisición casi diaria es posible, seguimiento anual o plurianual	Descripción fina de tipos de edificación (Zona en desarrollo espontáneo, sitios industriales, residencial, colectivo, etc..)	Troyo et al., 2007
	Ikonos			Hay et al., 1998	
	Worldview			Dongus et al., 2009	
	Fotografías aéreas			Jacob et al., 2007	

³ La tabla completa sobre este tema de epidemiología y espacio, hace parte de la documentación SERTIT - Francia.

2.4 FACTORES AMBIENTALES Y EL PALUDISMO

Las condiciones ambientales tienen una fuerte influencia en la propagación de vectores y el ciclo de vida de los agentes patógenos. Es decir, la transmisión depende de las condiciones climáticas que pueden influir sobre la abundancia y la supervivencia de los mosquitos, tales como, el régimen de lluvias, la temperatura y la humedad.

En muchos lugares, la transmisión es estacional con un pico durante o justo después de la estación de lluvias. Según Beck et al, (2000) del proyecto CHAART de la NASA Ames Center Research, los vínculos posibles entre los factores ambientales y el paludismo son:

Tabla 2. Vínculos posibles entre los factores ambientales y el paludismo. [Beck et al, 2000]

Vínculos posibles entre los factores ambientales y el paludismo	
Factor Ambiental	Posibilidad de cartografiar el paludismo
Vegetación / tipo de cultivo	Cría / reposo / hábitats e alimentación; pesticidas de cultivos? ➡ La resistencia del vector
Vegetación verde en crecimiento	Tiempos de creación del Hábitat.
Deforestación	La creación de hábitats (para los vectores es necesario superficies de agua asoleadas) Destrucción del Hábitat (para los vectores es necesario superficies de agua con sombra)
inundación	Hábitat del mosquito
Superficies de agua permanente	Hábitat de reproducción para los mosquitos.
Zonas húmedas	Hábitat del mosquito
La humedad del suelo	Hábitat de reproducción del vector.
Canales	Hábitat de cría (de reproducción) del mosquito de estación seca: charcos, fugas de agua.

Por otra parte, el proyecto MMS (Malaria Modeling & Vigilancia) de la NASA, para la prevención de la propagación de la enfermedad parasitaria, utiliza variables ambientales obtenidas de sensores y/o modelos de cálculo. (Tabla 3).

Tabla 3. Factores ambientales derivados a partir de sensores o modelos de cálculo. NASA.

Instrumento o modelo	Cobertura del suelo	NDVI (Índice de Vegetación)	Temperatura de superficie	Pluviometría	Humedad
ASTER	calculado	calculado		deducido	
AVHRR	calculado	X		deducido	
MODIS	calculado	X	X		Calculado
TRMM				X	
NSIPP			X	X	X
Ikonos	calculado	calculado		deducido	

Fuente: Report Benchmark 2009 [Kiang Richard - NASA]

N.B. La X indica que los productos de datos son disponibles.

De esta manera, podemos concluir: Es la estructuración inteligente de los datos obtenidos: de la teledetección, del trabajo de campo y los SIG, lo que permite alcanzar un progreso significativo en materia de predicción y de cartografía de riesgo de paludismo en el mundo.

2.5 SIG Y EPIDEMIOLOGÍA (SIG-EPI): ESTADO DEL ARTE

La utilización de los SIG en el dominio de la epidemiología permite:

- Identificar la distribución espacio-temporal de poblaciones en riesgo y los parámetros útiles para crear intervenciones de prevención, de control y de ayuda en casos de catástrofe o de diseminación de enfermedades.
- Analizar los factores vinculados a la influencia del ambiente en la propagación, la producción de vectores y el ciclo epidemiológico.
- Cartografiar la incidencia, el riesgo entomológico y la prevalencia de la enfermedad, etc.

Entre los autores que han investigado sobre el vínculo SIG-EPI, se pueden citar:

- Thomson et al, (1997), sobre la contribución de los datos de satélite para la cartografía de paludismo en África.
- Eisele et al, (2003), utilización de las imágenes LANDSAT TM (para el cálculo del NDVI) y Arcview 3.3 para hacer el vínculo entre los datos ecológicos de terreno y los datos derivados de la teledetección en dos zonas urbanas de Kenia.
- Sipe & Dale (2003), analizan los desafíos de la utilización de los SIG para comprender y controlar el paludismo en Indonesia.
- Más recientemente, están los trabajos de Machault et al, (2009 – 2011) y Gadiaga et al, (2010 - 2012), sobre la utilización de datos ambientales y meteorológicos derivados de la teledetección para la cartografía de riesgo de paludismo en medio urbano en Dakar.

Por otra parte, las agencias espaciales y/o las diferentes entidades públicas y privadas en el mundo, han desarrollado o trabajan activamente en proyectos que combinan estos elementos, para el control de las enfermedades de transmisión vectorial. Aquí se presentan los ejemplos significativos del CNES:

➤ CNES

Rol de la tele-epidemiología para la prevención de enfermedades: « La tele-epidemiología consiste en analizar las relaciones "clima – ambiente – salud" para poner en evidencia los vínculos entre la emergencia y la propagación de enfermedades infecciosas (ligadas a vectores, al agua y al aire) y los cambios climáticos y ambientales, apoyándose en la tecnología espacial » [@CNES, 2013]

La metodología de la tele-epidemiología se divide en tres etapas:

Terreno: colecta de datos suficientes y pertinentes.

Teledetección: selección y tratamiento de productos de satélite adaptados.

Análisis: métodos estadísticos adaptados al carácter geo-espacial de los datos.

Como ejemplos, se pueden citar:

El dengue, devenido un problema mayor en los Departamentos y Territorios de ultramar – Dom-Tom y en Francia metropolitana. El CNES y el Instituto Pasteur, trabajan sobre la puesta en marcha de mapas de riesgo de presencia de vectores de esta enfermedad y en la elaboración de un modelo que permita la previsión de su transmisión.

Proyecto PaluClim, que analiza los factores climáticos sobre la producción de vectores de paludismo en la zona rural Sahel.

Proyecto Palusat, para la vigilancia y la prevención de riesgo de paludismo en medio urbano (Dakar/Senegal).

Proyecto AdaptFVR, que tiene por objetivo el estudio de la fiebre del Valle du Rift, en la región Saheliana de Ferlo y Senegal.

Proyecto MATE (2005): Monitoreo Argentino de Tele-Epidemiología, orientado a determinar el riesgo de propagación de una epidemia. Prediciendo donde van a aparecer los insectos que constituyen el vector, basándose para ello en informaciones producidas por los satélites SPOT 5. [Rotela, CNES, CONAE, 2008].

Para terminar, **el Proyecto Urban Malaria**, que es la base del presente estudio, donde es industrializado a EEOS Malaria (Epidemiology Earth Observation Services).

Si bien los proyectos citados anteriormente, apuntan a explotar información de satélite (datos) de Mediana Resolución – MR y Baja Resolución – BR y HR, el presente estudio constituirá un primer acercamiento (aplicación) de la utilización de datos a Muy Alta Resolución (VHR – THR).

3. SÍNTESIS DE TRABAJOS DE VANESA MACHAULT « PROYECTO URBAN MALARIA »

Estos son los trabajos de V. Machault (proyecto Urban Malaria) que conviene presentar en detalle porque son las líneas directrices y metodológicas que deben ser industrializadas para el proyecto EEOS Malaria.

El objetivo general de los trabajos llevados a cabo por el Laboratorio de Aerología, en cooperación con el Servicio de Salud de las fuerzas armadas de Francia y el IRD, fue el de identificar en África Sub-sahariana, los factores ambientales que pueden ser medidos por los satélites y utilizables para la evaluación y la predicción del riesgo de paludismo en medio urbano.

3.1 ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Dakar (14°40'20" Norte, 17 °25'22" Oeste) es la capital du Senegal y Península de Cabo-Verde. En 2008, la población estimada fue de 2.5 millones de habitantes

El clima en la región del Sahel es variable, debido a la proximidad del océano Atlántico:

- La temporada de lluvias en verano (el Monzón) dura de junio a noviembre, con temperatura media entre 24 °C y 30 °C y la media de precipitación es de 400 mm aproximadamente.
- La temporada seca de invierno dura de Diciembre a mayo, las temperaturas están comprendidas entre 19 °C et 25°C.

3.1.1 Estudio entomológico de terreno en Dakar

En la ciudad de Dakar y en sus alrededores, los sitios de reproducción temporales pueden aparecer durante la temporada de lluvias en los espacios peatonales, los charcos de agua, las fosas, las llantas y las canecas de basura, o en zonas de escombros de construcción. Esto fue corroborado con el trabajo de campo, lo que permitió señalar la importancia del aspecto temporal de las superficies de agua propicias para la producción larval.

Para ello, el equipo del IRD y el laboratorio de aerología llevaron a cabo una extensa colecta de datos entomológicos. Esta colecta se realizó durante cinco años en la ciudad de Dakar y permitió medir la fuerte heterogeneidad espacial y temporal de la transmisión de paludismo en Dakar.

Las larvas de anofeles fueron igualmente recogidas en sitios de colecta de agua permanente, como los pantanos de agua creados por el aumento de la capa freática, que son conocidos localmente como "niaye" [Trape et al, 1992], o en pozos de agua permanente llamados "céanes", que habitualmente no tienen muros cimentados y que son utilizados para el riego de jardines de cultivo. [Robert et al, 1998; Awono-Ambéné et Robert, 1999].

Del análisis de V. Machault, una fuerte probabilidad de presencia de larvas de anofeles fue encontrada en los sitios de colecta de agua temporal y en los sitios en un perímetro menor a 20 metros, con una superficie de vegetación que cubría menos del 20% de la superficie total, y con una temperatura $\geq 30^\circ \text{C}$.

En la tabla 4, se presentan los factores asociados a la presencia y a la densidad de larvas en las superficies de agua.

Tabla 4. Factores asociados a la presencia y densidad larvaria en las colecciones de agua.

Factor	Obtenido a partir de imágenes de satélite
La temperatura del suelo (LST en inglés)	Infrarrojo térmico (IR) del captor MODIS – Terra (Goddard Space Flight Center)
La Vegetación y los árboles en capacidad de proveer sombra, la vegetación de superficie.	Índices de Vegetación derivados de HR y THR
Agua de superficie y humedad del suelo.	HR et THR
Persistencia de aguas retenidas durante la estación seca.	HR et THR
La densidad de urbanización	OCS obtenido a partir de HR y THR
La precipitación	TRMM (medida directa de precipitación en las regiones tropicales, basada en micro-ondas pasivas y sensores de radar activos) [Sharma et al, 2007; Han et al, 2010; Machault, 2011]
Elevación (Altitud)	SRTM (Shuttle Radar Topography du JPL – Jet Propulsion Laboratory)
Tipo de construcción	THR

Estos factores condicionan la aparición y la persistencia de criaderos de larvas de anofeles, la velocidad de desarrollo de las larvas, la abundancia de vectores, su tasa de supervivencia y su dispersión; asimismo, la duración del ciclo extrínseco del Plasmodium.. [Machault, 2009].

La modelización del riesgo entomológico se basó en los datos recogidos en el terreno y los datos ambientales derivados de las imágenes de satélite.

3.1.2 Resultados Urban Malaria:

Las imágenes de la tierra, obtenidas del satélite Spot 5 permiten derivar las variables ambientales asociadas al desarrollo de los mosquitos (por ejemplo, el índice de vegetación, la presencia y la dinámica de superficies de agua,...) y para las cuales son necesarias mediciones a una precisión de algunos metros.

Cruzando estos datos de información espacial con datos de precipitación, de temperatura de la superficie del suelo (LST en inglés), de modelos numéricos de elevación y de información obtenida en campo (trabajo de terreno), es entonces posible establecer mapas predictivos de zonas de desarrollo de mosquitos y sus picos de actividad.

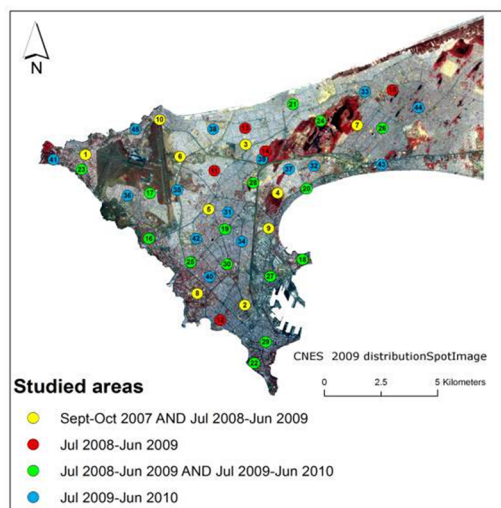
Para ello, un SIG fue elaborado en ArcGIS 9.2 (Environmental Research Systems Institute, Redlands, CA, USA) y fueron realizados análisis estadísticos con la ayuda de Stata 11 (Stata Corporation, College Station, Texas). Toda la información de trabajo de campo fue incluida en el SIG, y las imágenes de satélite tratadas (indicadores, Ocupación del suelo - OCS, LST, altitud) fueron incluidas como mapas geo-referenciados. [MACHAULT, 2012]

Los parámetros larvarios de los hábitats que fueron registrados durante el trabajo de campo fueron utilizados para comprender la significación biológica de las variables de teledetección.

La agresividad del Anopheles fue predicha y cartografiada a partir de la clasificación de dos imágenes de satélite SPOT (2,5 m et 20 m). Su evolución fue analizada en una escala de diez años, entre el año 1996 y el año 2007.

En la figura 5 se presentan el mapa de las 45 zonas de estudio entomológico de terreno para el proyecto "Urban Malaria en Dakar".

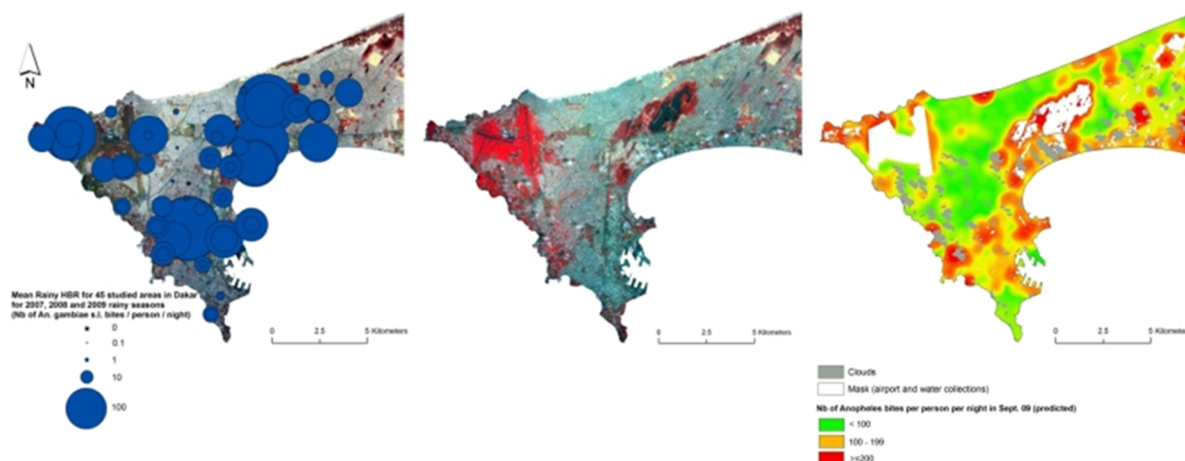
Figura 5. Distribución espacial de las zonas de estudio entomológico de terreno a Dakar y su periodo de estudio. [Gadiaga et al, 2011; MACHAULT, 2010]



Los resultados condujeron a la elaboración de diferentes niveles de cartografía dinámica de riesgo entomológico a Dakar. De esta manera, se demostró que los datos de teledetección asociados a una gran cantidad de datos de terreno pueden permitir el ajuste

de modelos predictivos. Y la construcción de mapas de riesgo entomológico, en medio urbano o para población en desplazamiento. (Figura 6).

Figura 6. Mapas de paludismo urbano a Dakar, Senegal. De izquierda a derecha: picaduras de mosquito anopheles/por persona/por noche, para la estación de lluvias del año 2009; imagen SPOT 5 a 2.5 metros de resolución para el mismo periodo; mapa de predicción de riesgo entomológico para el día 20 de septiembre 2009. Crédits: CNES/ Spot Images.



3.2 ETAPAS URBAN MALARIA Y TIEMPO DE EJECUCIÓN

Nota: Las tres etapas del proyecto Urban Malaria se presentan a continuación. Por efectos de confidencialidad, cada etapa se muestra de manera resumida y simple. Para información más detallada dirigirse al documento original en francés que acompaña este “resumen” (presentado en Junio 2013 a la UIS).

Etapa 1. Detección de colecciones de agua (criaderos potenciales de larvas)

Esta etapa permite calcular las superficies de agua que son óptimas para la probabilidad de producción larval. Los índices considerados para la detección de agua de superficie en medio urbano, son:

- MNDWI (estación húmeda – resolución HR o THR), permite la extracción de información sobre la presencia de superficies de agua. Ver fórmula 1.

$$\text{Formula [Xu, 2006]: } \left[\frac{(\text{Green} - \text{SWIR})}{(\text{Green} + \text{SWIR})} \right] \quad (1)$$

- NDVI (estación seca - resolución HR o THR), que permite cartografiar los sitios donde la vegetación es permanente, siendo un indicador de la presencia de vegetación todo el año. Que se puede obtener utilizando la fórmula:

$$\text{Formula [Rouse et al., 1973; Tucker, 1979]: } \left[\frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})} \right] \quad (2)$$

- Zonas construidas (derivadas de información HR), en la cual, la presencia de superficies de agua no es favorecida por la urbanización.

- La elevación (derivada de modelos digitales SRTM, DTED, ASTER, INSAR, etc – resolución 10 m), en la cual la presencia de superficies de agua disminuye con la altitud.

Con estos índices se realiza un análisis de estadísticas zonales en una red (celdas de 10 m * 10 m), superpuesta a toda la zona de estudio. Luego se aplica la fórmula Urban Malaria para esta etapa (obtenida de un análisis uni-variado) que permite determinar la probabilidad de presencia de superficies de agua.

Un intervalo de confianza es aplicado y seguidamente se ejecuta un filtro morfológico cerrado (dilatación seguido de erosión) con el fin de simplificar los objetos y « suavizar » los ángulos; lo que permite que cada superficie (celda o pixel) de agua sea asimilada a un objeto único.

El mapa resultante fue vectorizado a polígono, generando el resultado de la etapa 1.

Etapa 2. Probabilidad de productividad larvaria

Esta etapa permite calcular la probabilidad de producción larval para cada una de las superficies de agua obtenidas en la etapa 1.

Para ello se utiliza la salida de la etapa 1, los datos derivados del índice NDWI de la estación seca, el índice de brillo – BI y el total de lluvias de los 30 días precedentes analizando así, la temporalidad o permanencia de colecciones de agua para la producción de mosquitos, según las fórmulas:

$$\text{Fórmula NDWI [McFeeters, 1996]: } \left[\frac{(\text{Green} - \text{NIR})}{(\text{Green} + \text{NIR})} \right] \quad (3)$$

$$\text{BI (estación seca), Fórmula: } \sqrt[2]{\frac{(\text{Red}^2) + (\text{Green}^2) + (\text{NIR}^2) + (\text{SWIR}^2)}{4}} \quad (4)$$

La temperatura LST (noche) es considerada como variable meteorológica implicada en la presencia de *An. Gambiae* s.l en las superficies de agua predichas en la etapa 1. Este factor favorece el desarrollo del ciclo huevo-adulto de los mosquitos (mayor temperatura indica ciclo más corto de reproducción, por ende más mosquitos en menor tiempo). Por otro lado, la temperatura de noche estuvo asociada significativamente porque probablemente está menos impactada por la radiación solar y más cercana de la temperatura media del aire.

Etapa 3. Mapas de riesgo entomológico (agresividad de los mosquitos anofeles)

Esta etapa permite calcular la probabilidad de riesgo entomológico de paludismo en medio urbano en Dakar.

Los procesos para la obtención de los mapas de riesgo entomológico, están divididos en varios pasos:

- Generación de estadísticas zonales y cálculo de densidad larvaria (resultados de las etapas 1 y 2).
- Extracción de valores de acumulado de lluvias y de temperatura de superficie para cada uno de los 30 días precedentes a la fecha de predicción. Es decir efectuar la etapa 2 (Producción larvaria) 30 veces.
- Calculo de producción larvaria y rasterización del mapa correspondiente. Aplicando una tasa de supervivencia del vector equivalente al 82% con respecto al día anterior de cálculo (30 días). [Machault, 2009].
- Calculo de la probabilidad de productividad diaria del Anophèles adultos en función de la distancia alrededor de cada superficie de agua.
- Calculo de la densidad de superficies construidas (edificaciones), con respecto a la densidad de Anophèles adultos.
- De esta forma, para el cálculo del riesgo entomológico se utilizó el total de lluvias y los mapas producidos en los dos últimos ítems, junto con la fórmula Urban Malaria para la obtención del mapa final de riesgo entomológico.

Tiempo de cálculo del modelo experimental (Urban Malaria de V. MACHAULT, 2010) y según el estado de avance hasta el momento de comenzar el presente estudio (EEOS Malaria): 25h30m

- Etapa 1 et 2 = 1h30 (1 hora 30 minutos)
- Etapa 3 = aprox. 24h (24 horas aproximadamente)

Luego del análisis de la metodología del proyecto Urban Malaria de V. MACHAULT, 2010, de la identificación de los elementos a industrializar y los procesos a realizar, se presentan en el capítulo siguiente los modelos de automatización, de racionalización e industrialización de las cadenas de tratamiento efectuadas para el proyecto EEOS Malaria.

4. AUTOMATIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE PROCESOS EEOS MALARIA

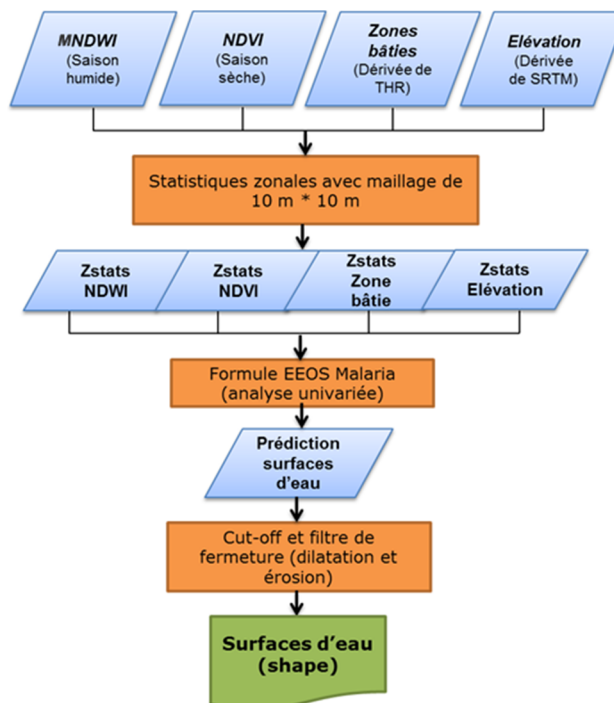
La automatización, racionalización e industrialización del Proyecto EEOS Malaria tiene por objetivo, obtener un modelo industrial para la producción y la reproducción de cartografía de riesgo entomológico en diferentes ciudades afectadas por el paludismo.

Con el fin de ser puestas a disposición de los organismos locales para el control del paludismo, en el entorno de un sistema de prevención en tiempo real.

4.1 DIAGRAMAS DE FLUJO⁴

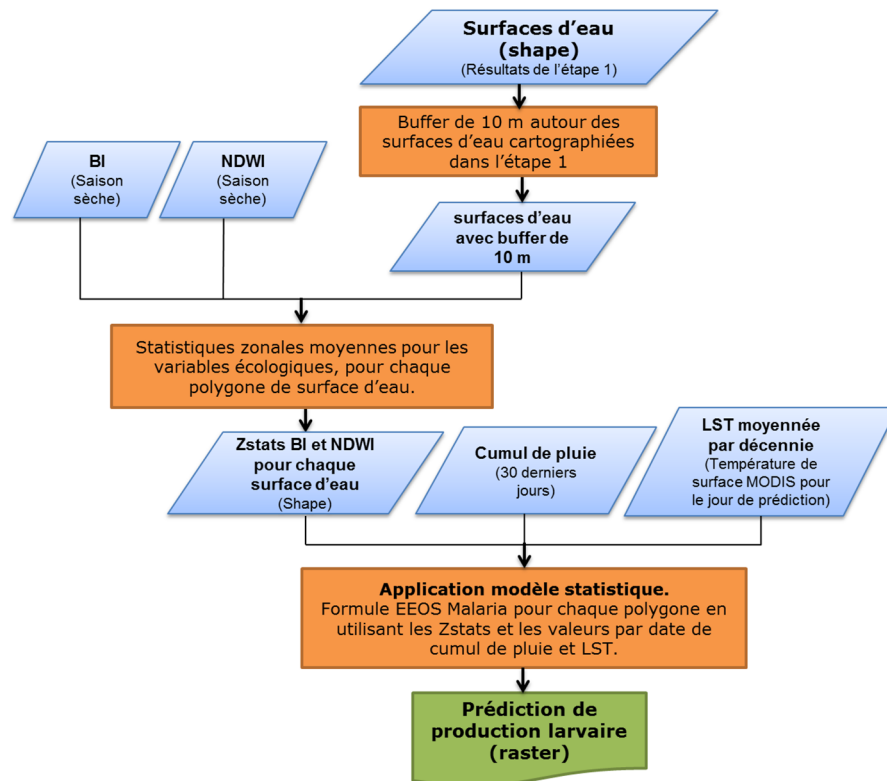
Del análisis de la estructura del proyecto Urban Malaria de V. Machault para las etapas 1 y 2 (... Ver numeral 3.2...), se realizaron los diagramas de flujo que se presentan a continuación; con el fin de asegurar la industrialización de procesos, conservando el método y los objetivos expuestos, (Figuras 7 y 8).

Figura 7. Diagrama de flujo Etapa 1. Detección de Superficies de agua. Proyecto Urban Malaria.



⁴ Por efectos de confidencialidad CNES - SERTIT, la versión en español de estos diagramas de flujo, será disponible en 2018.

Figura 8. Diagrama de flujo Etapa 2. Productividad larvaria. Proyecto Urban Malaria



En estos diagramas de flujo, los objetos en color azul representan las entradas del modelo o los resultados intermedios, los procesos de cálculo efectuados se representan en los objetos en color naranja, y los valores de salida se representan en color verde.

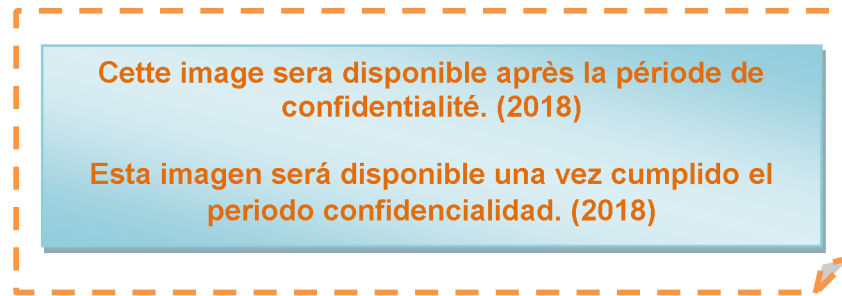
Debido a la complejidad de la etapa 3, no se realiza diagrama de flujo. Sin embargo, siguiendo el análisis de la estructura del proyecto Urban Malaria se ejecuta el proceso de racionalización e industrialización.

A partir de este análisis, en este trabajo de industrialización, las tres etapas definidas por V. Machault son conservadas y optimizadas. La optimización está orientada hacia la puesta en marcha de una cadena de tareas (procesos) que fueron probadas inicialmente de manera separada (en término de resultados), asegurando el nivel de precisión inicial. Además, el nuevo modelo de producción debe ser capaz de integrar las imágenes satélites de Muy Alta resolución.

El nuevo diagrama relacional de procesos, es presentado en la figura 9. ⁵

⁵ Por efectos de confidencialidad CNES - SERTIT, la versión a escala normal de esta figura, será disponible en 2018.

Figura 9. Esquema general del diagrama relacional para la industrialización del proyecto EEOS Malaria.



Las imágenes de satélite utilizadas en este estudio son adquiridas por los satélites SPOT-5, Quickbird, Pleiades, TRMM, ALOS y el sensor MODIS entre otros. Esta información (datos) son necesarios para la caracterización de la Ocupación del Suelo, así como del estado de la superficie: estimación de precipitaciones, cobertura vegetal, agua de superficie, altitud, temperatura de superficie, etc. Estas variables son utilizadas para determinar las condiciones bioclimáticas favorables y su influencia sobre el ciclo de reproducción y la evolución de los mosquitos, y permite deducir las zonas donde la población es expuesta a riesgo entomológico.

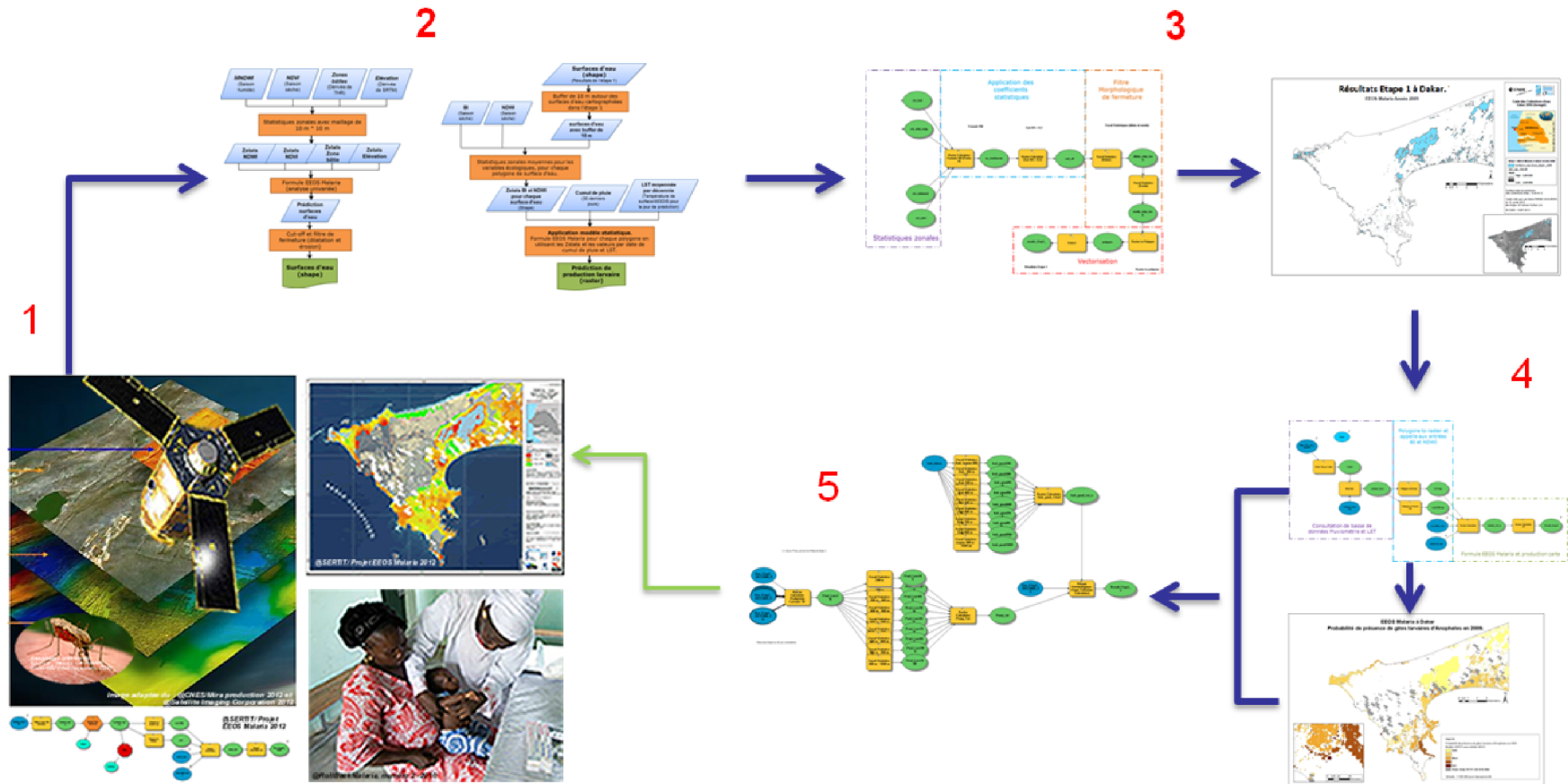
4.2 DE HERRAMIENTA DE INVESTIGACIÓN A HERRAMIENTA DE REPRODUCCIÓN: ETAPAS EEOS MALARIA

Es importante recordar que la estructura de base del proyecto desarrollado por V. Machault, fue elaborado en ArcGis 9.2, donde el proyecto Urban Malaria fue realizado ejecutando procesos (tareas) separados. Por esta razón, para la etapa de preparación de la automatización, las entradas son las mismas que las utilizadas en el proyecto Urban Malaria (V. Machault, 2010); con el fin de validar los resultados obtenidos para la etapa 1 del modelo industrializado (EEOS Malaria).

De esta manera, el proceso de producción EEOS Malaria fue generado en la versión (ArcGis 9.2). Pero la fase de industrialización fue realizada utilizando las herramientas (Model Builder) y utilidades de ArcGis V. 10. Esta fase permite un mejoramiento significativo del tiempo de cálculo, de procesos, etc.

Una manera simple de comprender los procesos a ejecutar se presenta en el siguiente esquema:

Esquema 1. Línea de ejecución proyecto EEOS Malaria: el uso de la tele-epidemiología al servicio del control y erradicación del paludismo en medio urbano.



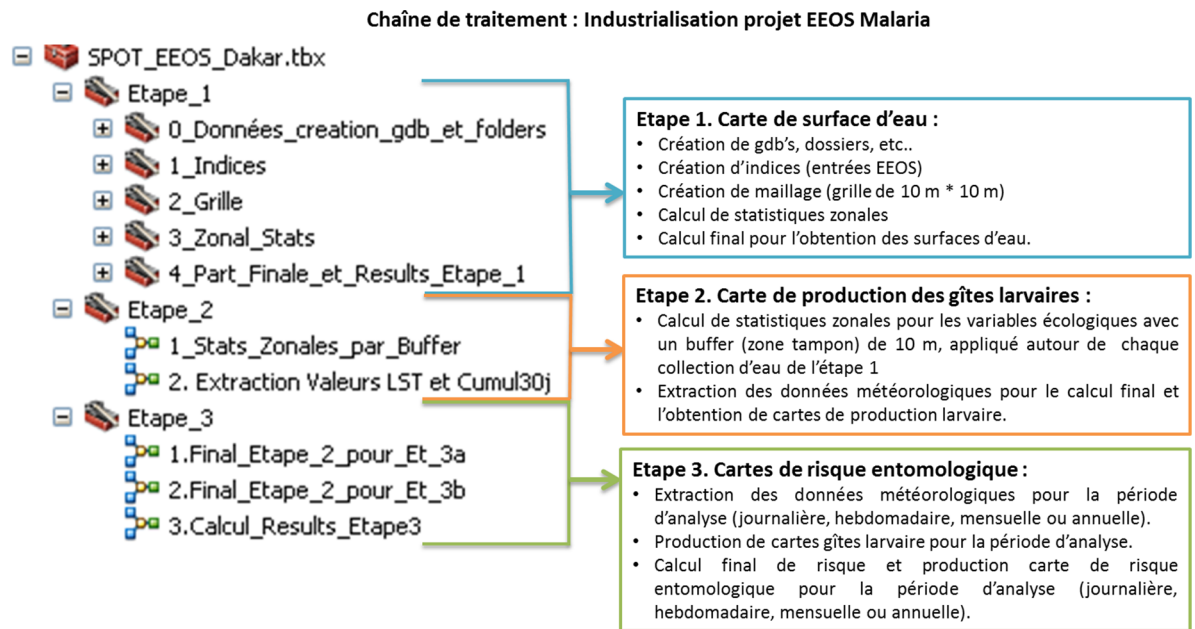
1. Los satélites ópticos o de radar (geoestacionarios o que giran alrededor de la tierra), toman imágenes espectrales o multi-espectrales que permiten obtener diferentes capas de información espacial y geográfica. En este caso

utilizaremos las imágenes y productos derivados (índices ambientales y sociales), que están relacionados con el riesgo entomológico de malaria en Dakar.

2. Utilizando los diagramas de flujo correspondientes (ver numeral 3.2), se procede a la automatización (ver herramienta figura 13) del proyecto EEOS Malaria.
3. Se crea la cadena de tratamiento para la industrialización de la producción de mapas de predicción de superficies de agua (Etapa 1) y se obtienen los resultados correspondientes.
4. Se crea la cadena de tratamiento para la industrialización de la producción de mapas de probabilidad de producción larvaria (Etapa 2).
5. Se crea la cadena de tratamiento para la etapa 3 (ver numeral 3.2), correspondiente a la probabilidad de riesgo entomológico en la zona urbana de Dakar (agresividad de mosquitos anofeles). Lo que permite la producción de mapas de riesgo para su uso en Salud pública, procesos de control y erradicación de la malaria en la ciudad.

La figura 10 muestra la herramienta desarrollada para la industrialización del proyecto EEOS Malaria, incluye las cadenas de tratamiento y una interface “de usuario” que permiten la interacción práctica y útil por parte del usuario final.

Figura 10. Herramienta desarrollada para la industrialización del proyecto EEOS Malaria.



En los siguientes numerales se presentan las etapas del proyecto EEOS Malaria con sus cadenas de tratamiento respectivas, la explicación de procesos y la interface de usuario.

Los recursos de información de entrada son:

- Índices ambientales (MNDWI, NDVI, BI, etc) necesarios dentro del modelo y generados a partir de imágenes SPOT 5 (resolución 2,50 m) adquiridas el 28-09-2009 y el 11-05-2009 (estación húmeda y estación seca respectivamente).
- Datos diarios del total de lluvias y de LST (Temperatura de superficie del suelo), derivados de productos TRMM et MODIS.
- Mapas de elevación, derivados de modelos digitales de terreno: SRTM, DTED, ASTER DEM V2, INSAR – (con cambio de talla de pixel a 10 m de resolución), para efectos de conservación de escala entre los diferentes datos de entrada.
- Mapa de zona urbana, derivado de imágenes a Muy Alta Resolución (resolución 0,7 m)

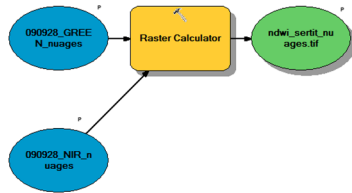
4.2.1 Etapa 1. Mapa de colecciones de agua. Modelo industrializado Proyecto EEOS Malaria

El objetivo es detectar las superficies o colecciones de agua en Dakar que son aptas para la producción larval de mosquitos. Los índices MNDWI, NDVI calculados según las fórmulas descritas en el numeral 3.2 (documento original en francés que acompaña este “resumen”, presentado en Junio 2013 a la UIS), junto con el mapa de zonas urbanas derivado de THR y la elevación derivada de los diferentes modelos descritos anteriormente.

Para la creación de los índices (entradas EEOS Malaria) se pueden utilizar diferentes software que existen en el mercado (Licencia GNU Libre: Quantum GIS, Scilab, GRASS, etc. Privados: ENVI, ERDAS Imagine, ArcGis, etc). Para el presente estudio se utilizan: ENVI, Erdas Imagine y ArcGis. El objetivo es asegurar la congruencia de los resultados.

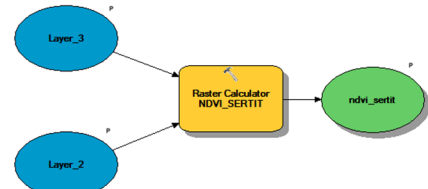
Los software ENVI y ERDAS Imagine tienen herramientas predefinidas para el cálculo de los índices normalizados de Vegetación (NDVI) que pueden ser adaptados para el cálculo del NDWI. Por el contrario, en ArcGIS se deben hacer los cálculos manualmente, utilizando la herramienta « *Raster Calculator* » o desarrollando una utilidad o cadena de tratamiento automatizada en “*model builder*”. De esta manera, se desarrollaron las siguientes cadenas de tratamiento:

Figura 11. Cálculo del índice MNDWI



MNDWI (estación húmeda – resolución HR o THR).

Figura 12. Cálculo del índice NDVI

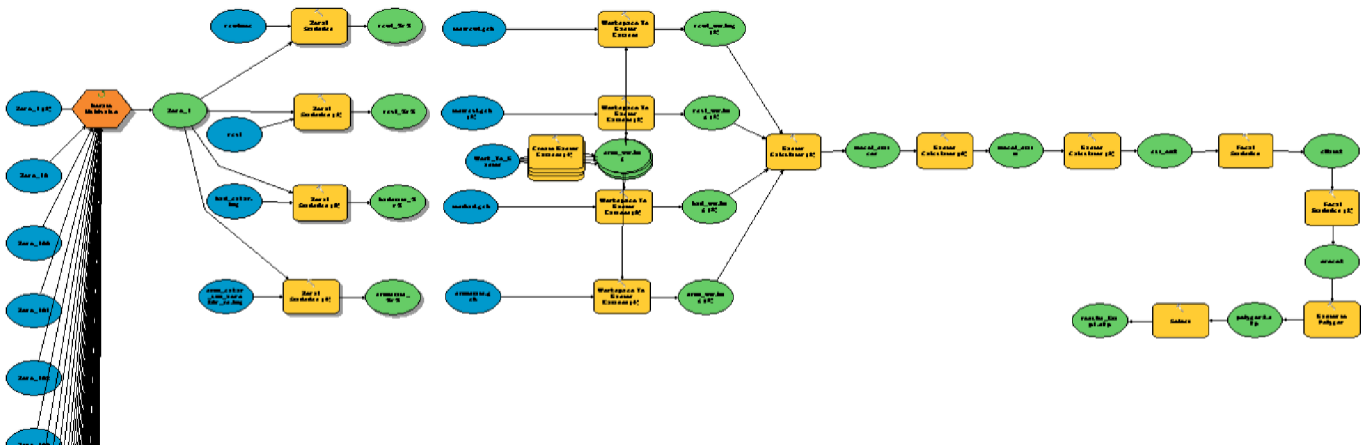


NDVI (estación seca – resolución HR o THR).

En la figura 13 se muestra el modelo completo de la industrialización de la etapa 1 del Proyecto EEOS Malaria.

➤ Modelo industrializado de la etapa 1 para el proyecto EEOS Malaria.

Figura 13. Cadena de tratamiento para la industrialización de la etapa 1 del proyecto EEOS Malaria



En este modelo se dividió la zona de estudio en 45 sub-zonas de 2000 * 2000 m sobre las cuales se aplica el cálculo de estadísticas zonales (tamaño de celda 10 m * 10 m, en formato shape), citado en el numeral 3.2. Luego estos resultados son de nuevo ensamblados para formar una única zona de estudio para cada entrada (Tamaño de la imagen de entrada) utilizando el proceso « *Workspace to raster* ».

La idea inicial de este proceso de subdivisión en 45 zonas, corresponde en primer lugar a conservar una relación trabajo de campo – resultados obtenidos del modelo, y en segundo lugar, a disminuir el tiempo de cálculo utilizado por el ordenador para ejecutar las estadísticas zonales.

Sin embargo, como se verá más adelante, el presente estudio permite encontrar una nueva forma de ejecutar las estadísticas zonales, sin necesidad de subdividir en zonas y optimizando significativamente el tiempo de ejecución del proceso.

Luego se continúa con el proceso descrito en el numeral 3.2 hasta llegar al resultado final de la etapa 1, que se obtiene seleccionando los polígonos con valor = 1.

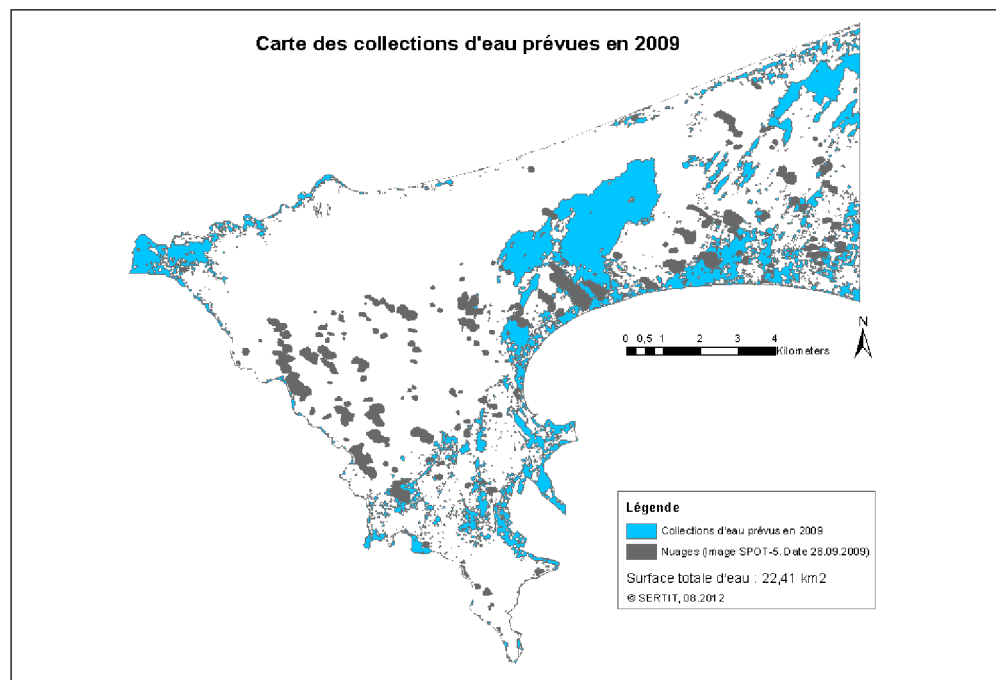
El resultado obtenido corresponde al mapa de colecciones agua que presentan una fuerte probabilidad de producción larvaria (larval). Este mapa es el elemento base de la etapa 2.

➤ Resultados Etapa 1

Este mapa presenta la predicción de las superficies de agua en Dakar para el año 2009 (28 de septiembre). La resolución espacial de salida es de 10 metros. Las zonas en color azul, presentan un área total de 22.41 Km² de agua (Ver Figura 14). Las zonas en color gris, representan las zonas nubosas de la imagen SPOT 5, estas zonas fueron excluidas del estudio, para evitar resultados alterados o incoherentes.

Estas superficies de agua están directamente ligadas a la probabilidad de producción larvaria de los vectores de transmisión del paludismo (mosquitos anofeles).

Figura 14. Mapa de colecciones de agua, obtenidas con el modelo industrializado EEOS Malaria.



➤ Validación (comparación) de resultados de la industrialización de la etapa 1 del modelo EEOS en ArcGis versiones 9.2 et 10

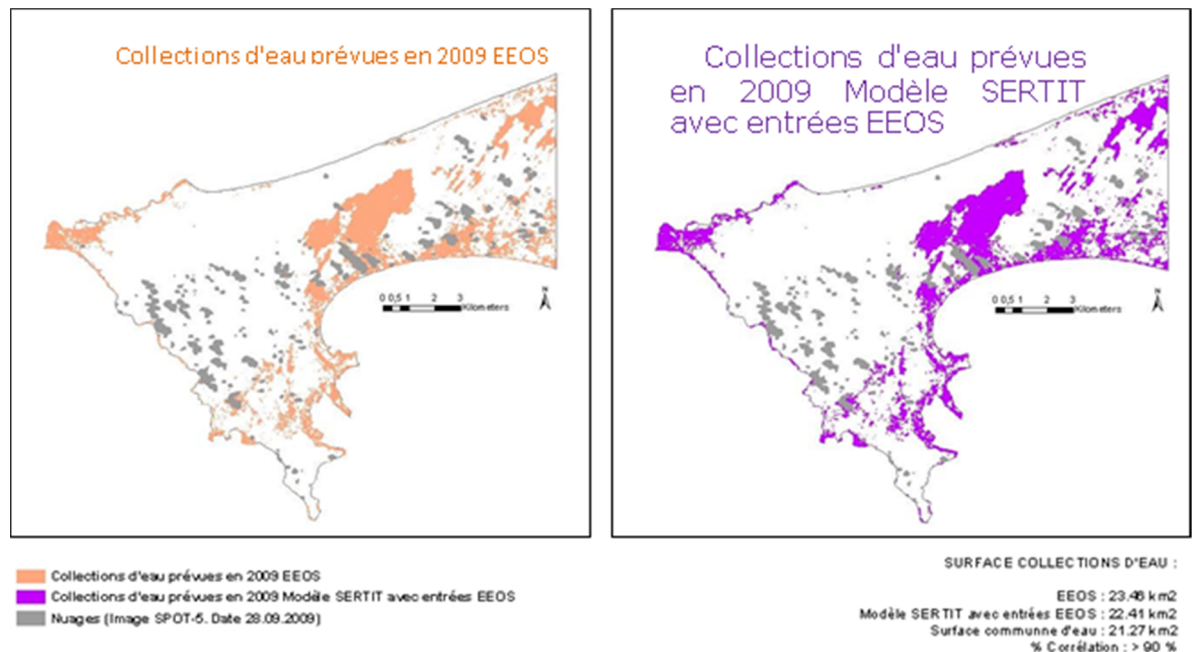
Este modelo industrializado fue probado con las entradas del proyecto Urban Malaria (entradas usadas por V. Machault). Con el fin de obtener una validación directa con los resultados obtenidos antes de la industrialización y con respecto al cambio de versión de software.

De esta manera, al comparar los resultados de la fase de preparación (versión industrializada en el software ArcGis 9.2) y la versión Urban Malaria, los resultados presentan una correlación > al 98% de la superficie total de colecciones de agua

predichas (23.46 Km²). Las dos fases de industrialización (en ArcGis versiones 9.2 y 10) hacen parte del desarrollo del presente proyecto.

Por otra parte, en la figura 15 se puede observar a la izquierda, el mapa de colecciones de agua previstas en el año 2009 utilizando el modelo industrializado en ArcGis 9.2 (llamado EEOS para efectos comparativos, y que presenta los mismos resultados derivados de la tesis de V. Machault), y a la derecha se presenta el mapa de colecciones de agua previstas en 2009 utilizando el proceso de industrialización en ArcGis 10 (llamado EEOS, modelo SERTIT).

Figura 15. Comparación de resultados EEOS modelo industrializado en ArcGIS 9.2 Vs. Resultados obtenidos del modelo EEOS en ArcGIS 10. Modelos desarrollados en el proyecto CNES - SERTIT.



- **Correlación de superficie**

La correlación de superficie permite identificar una diferencia de 1 Km² entre las dos versiones de software, esta variación es debida principalmente a los algoritmos de tratamiento que utiliza cada versión de software.

Tabla 5. Correlación de superficie, para los resultados obtenidos con el modelo industrializado de la etapa 1 EEOS Malaria, en las versiones de ArcGis 9.2 et 10

Superficies de agua predichas, Etapa 1 (Km ²) con entradas Urban Malaria					
Version Software	Total (Km ²)	CLIP (Overlay 2 résultats) Spacial (km ²)	% Comparción (superficie común)	« superficie no contenida dentro de la versión 10 » (Km ²)	Punto de cambio a nivel de software
Arcgis 9.x	23,46	21,27	90,66	1,14	Resultados Map Algebra
Arcgis 10	22,41				Resultados Raster Calculator

➤ **Tiempo total de cálculo para la etapa 1, modelo EEOS: 1h17 m**

El tiempo de cálculo de los procesos industrializados, depende en parte del ordenador utilizado para su ejecución. Estos resultados fueron obtenidos con un computador Intel Core Duo 3.25 Gb de RAM, 3.16 GHz, que corresponde a un ordenador de performance media.

Tabla 6. Tiempo de cálculo para los procesos industrializados EEOS Malaria, Etapa 1

Tiempo de cálculo de procesos en la etapa 1. Mapas de Colecciones de agua obtenidas con la industrialización del modelo EEOS Malaria			
Proceso	Tiempo de cálculo		
	horas	minutos	segundos
Zonal_Stats: ndvi, ndwimod, srtm, bati	0	39	32
Workspace_to_raster_ndvi	0	10	56
Workspace_to_raster_ndwi	0	11	51
Workspace_to_raster_bati	0	10	56
Workspace_to_raster_srtm	0	3	32
Partie Finale (Map Algebra, focal statistiques et création shape)	0	0	6
TOTAL (minutos)	0	73	233
TOTAL (Horas)	1h17m		

Esta tabla muestra que los procesos que toman mayor tiempo de cálculo son las estadísticas zonales. Razón por la cual, se ha hecho una optimización de procesos, conservando los mismos criterios del modelo Urban Malaria, pero optimizando su utilización y conservando los mismos resultados espaciales y de superficie. Todo esto, con un logro importante de reducción de tiempos de cálculo.

4.2.2 Optimización de la Etapa 1. Modelo EEOS Malaria para la producción de mapas de superficie de agua

Analizando la industrialización, se aportaron entre otras, las siguientes modificaciones:

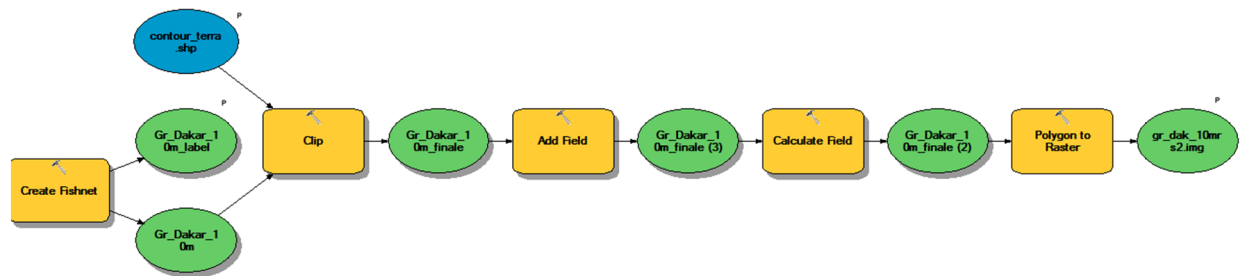
- En la optimización del modelo no se realiza división en sub-zonas (corte): Con el fin de evitar problemas de borde en las zonas divididas, y tomando como base que en el proceso Urban Malaria de la tesis de V. Machault, esta subdivisión es nuevamente ensamblada a la talla original.
- Utilización de grilla en formato raster: En el proceso de cálculo de estadísticas zonales, el proyecto Urban malaria utiliza un formato Shape para la grilla de análisis, lo que deriva en un proceso de ejecución extenso (tiempo de cálculo). Es por este motivo que en la optimización se utiliza la grilla en formato raster directamente.

Para la optimización del modelo fueron desarrolladas nuevas cadenas de tratamiento, así como la utilización de herramientas existentes en ArcGis 10 para mejorar el tiempo de

cálculo de procesos, permitiendo nuevos análisis de datos y principalmente, organizando las entradas de los datos, los resultados intermedios y demás análisis en un Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD). Conservando siempre el análisis, la precisión y los resultados del modelo inicial de industrialización EEOS Malaria, y por ende, los resultados del modelo experimental del proyecto Urban Malaria.

- Cadena de tratamiento para crear la grilla de 10 m * 10 m (en formato raster):

Figura 16. Cadena de tratamiento para la creación de la grilla de análisis a utilizar para el cálculo de estadísticas zonales



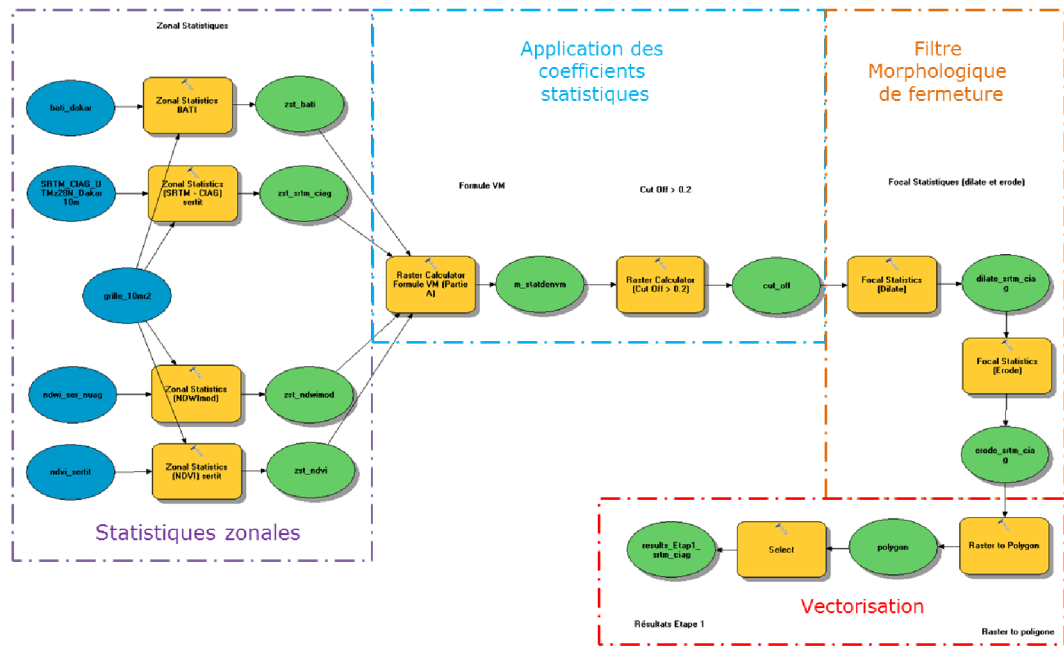
Una grilla de 10 m * 10 m (en formato raster) se aplica sobre la zona de estudio, permitiendo la reducción de tiempo de cálculo de estadísticas zonales en 30 minutos (de un tiempo inicial de cálculo de 1 hora 30 minutos con el modelo Urban Malaria).

➤ Modelo final de industrialización Proyecto EEOS Malaria

Luego de la primera optimización del modelo industrializado EEOS Malaria, se presenta la cadena de tratamiento definitiva (ver Figura 17).

Esta optimización de la cadena de tratamiento, permite mejorar los tiempos de cálculo de los diferentes procesos y presenta de una forma más organizada toda la estructura de cálculo para la etapa 1.

Figura 17. Cadena de tratamiento luego de la primera optimización del proyecto de industrialización EEOS Malaria. Etapa 1, mapas de colecciones de agua.



- **Tiempo total de cálculo etapa 1 - SERTIT, luego de la primera optimización del modelo: 39m4s**

En la tabla 7 se muestran los tiempos de cálculo para los procesos industrializados EEOS Malaria luego de la primera optimización

Tabla 7. Tiempos de cálculo procesos EEOS Malaria para la etapa 1, luego de la primera optimización.

Tiempo de cálculo de procesos en la etapa 1. Mapas de Colecciones de agua			
Primera optimización de la industrialización del modelo EEOS			
Proceso	Tiempo		
	Horas	Minutos	Segundos
Zonal_Stats: bati, srtm (calculo directo con polígonos como ráster)	0	19	4
Zonal_Stats: ndwi, srtm (calculo directo con polígonos como ráster)	0	10	3
Zonal_Stats: ndvi, srtm (calculo directo con polígonos como ráster)	0	9	51
Parte final (Map Algebra, estadísticas focales y creación de shape)	0	0	6
TOTAL (Minutos)	0	38	64
TOTAL (Horas)	39m4s		

- Tiempo de proceso de transformación de grilla a formato raster: 6 minutos

En la siguiente tabla se deja consignado el tiempo de cálculo usado para la creación de la grilla en formato raster.

Tabla 8. Tiempo de cálculo para la creación de la grilla en formato raster.

Proceso	Tiempo de cálculo		
	Horas	Minutos	Segundos
Grilla: transformación de polígono a raster	0	6	0

N.B. Con esta optimización se reduce el tiempo de cálculo de las estadísticas zonales en 30 minutos (de un tiempo inicial de 1h30 con el modelo Urban Malaria), conservando la misma precisión y resultados del mapa de colecciones de agua.

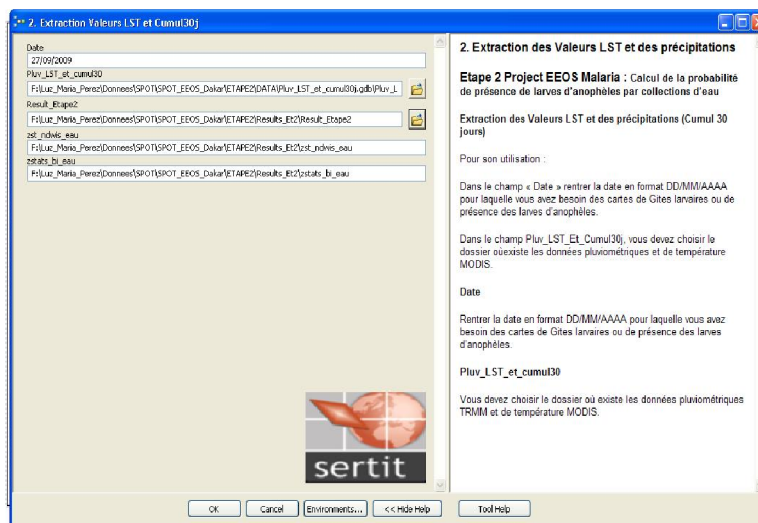
4.2.3 Etapa 2. Mapas de probabilidad de producción larvaria. Modelo de industrialización EEOS Malaria

El objetivo es crear mapas de probabilidad de producción de larvas para las superficies de agua cartografiadas en la etapa precedente, para una fecha definida por el usuario. Utilizando los siguientes índices y procesos:

- Un buffer de 10 m alrededor de cada colección de agua predicha en la etapa
- NDWI (estación seca – resolución HR o THR).
- BI (estación seca – resolución HR o THR),
- Total de lluvias en los 30 días precedentes.
- Temperatura de superficie (LST)

La interface de usuario (figura 18) creada para la etapa 2, permite introducir la fecha o el periodo específico para la que el usuario necesita el análisis de producción larvaria, las entradas a utilizar, así como, el archivo en el cual desea guardar el/los mapa(s) de producción larvaria correspondiente(s).

Figura 18. Interface usuario para la etapa 2 del proyecto EEOS Malaria industrializado



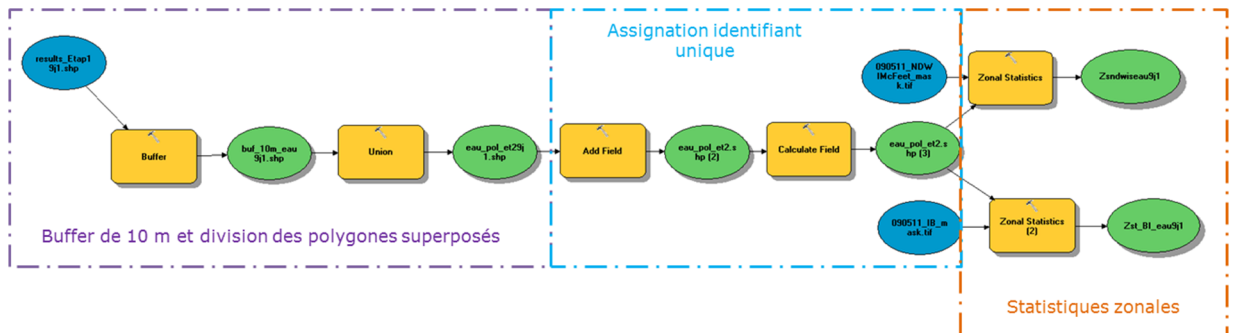
Las herramientas desarrolladas para la etapa 2 son:

A) Cálculo de estadísticas zonales en zona tampón (buffer):

Objetivo: crear una zona tampón de 10 m alrededor de cada (polígono) superficie de agua predicha en la etapa 1, con el fin de calcular las estadísticas zonales (NDWI y BI) de estas nuevas entidades espaciales.

Para ello, se desarrolló la cadena de tratamiento que se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Etapa 2, Cálculo de las estadísticas zonales para las variables ecológicas en un buffer (zona tampón) de 10 m, aplicado a cada polígono de agua, derivado de la etapa 1.



Este proceso de cálculo se realiza utilizando únicamente las herramientas de ArcGis, contrariamente al modelo de V. Machault que utilizó herramientas adicionales (MapWinGis, etc) Esto permitió una reducción de tiempo de cálculo y la optimización de la cadena de tratamiento para la etapa 2.

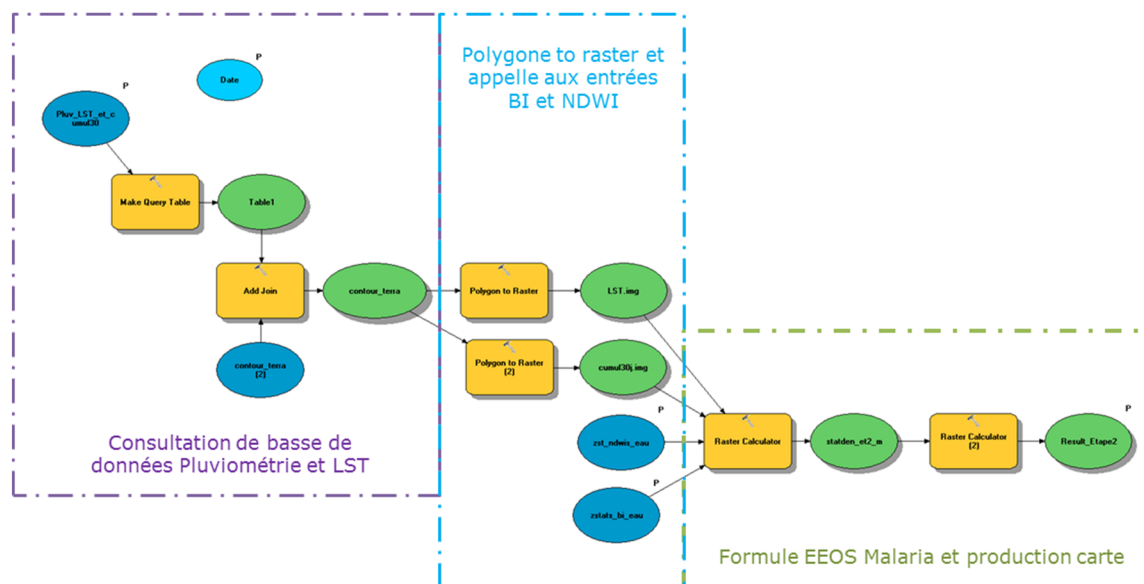
Con los resultados obtenidos, se procede a la parte B del cálculo que consiste en asignar el valor de LST y del acumulado de lluvia para cada polígono. Utilizando para ello la consulta en la base de datos la información obtenida de las imágenes MODIS y TRMM. Con esta información se ejecuta el cálculo del mapa de producción larval (criaderos de larvas) correspondiente.

B) Extracción de valores LST y acumulado de lluvias:

Objetivo: La extracción de valores de LST y de acumulado de lluvia (30 días) para una fecha especificada por el usuario y la creación del mapa de probabilidad de producción larval respectiva.

Para ello se desarrolló la cadena de tratamiento que se presenta en la figura 20:

Figura 20. Extracción de valores de acumulado de lluvias y LST para la fecha de análisis solicitada por el usuario y la creación del mapa de producción larvaria correspondiente.



Nota: La explicación de esta cadena de tratamiento se encuentra en el numeral 4.1.3 (pág. 58) del documento original en francés que acompaña este “resumen” (presentado en Junio 2013 a la UIS).

N.B. En ciertos modelos epidemiológicos o de riesgo, el hecho de tener una superposición de polígonos permite deducir que existe una presencia más fuerte de riesgo (superposición ponderada). Así, es importante dar un peso o valor significativo a las zonas de polígonos superpuestos (valores específicos superiores al de las zonas de polígonos no superpuestos). Esta hipótesis no fue tomada en cuenta para el proyecto EEOS Malaria, y es por esta razón que se propone como perspectiva de mejoramiento, para las futuras versiones del modelo.

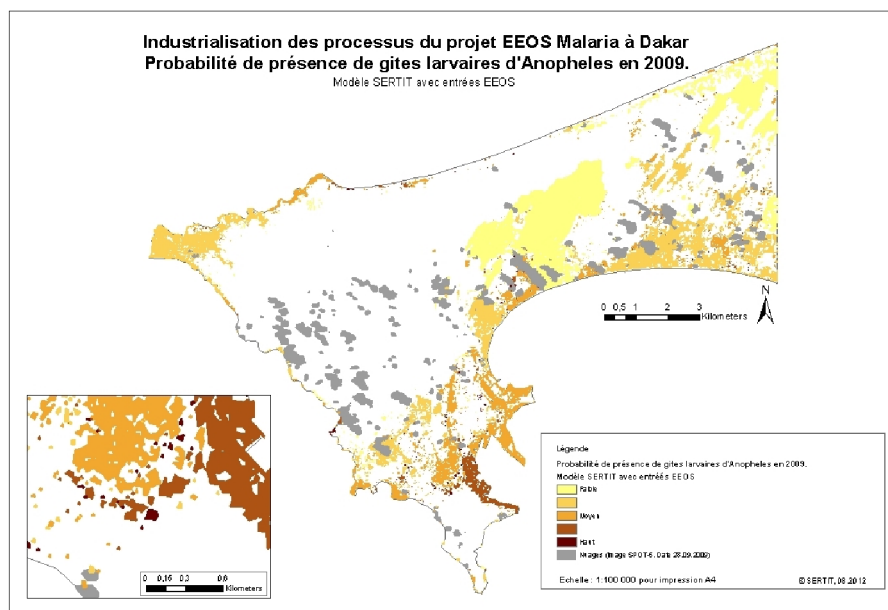
➤ Resultados Etapa 2. Mapas de producción larvaria

Este mapa presenta la probabilidad de la producción de criaderos de larvas en las colecciones de agua derivadas de la primera etapa, para la fecha solicitada por el usuario. La resolución espacial es de 2,5 m.

Esta productividad larvaria se muestra como fuerte, media o baja, según el color de la leyenda correspondiente (ver figura 21). Se puede observar que las zonas que presentan una fuerte probabilidad larvaria, son las zonas alrededor del puerto, debido a las condiciones sanitarias, que favorecen la aparición de zonas de producción larval.

Este resultado, está directamente ligado a la probabilidad de riesgo entomológico de paludismo en medio urbano a Dakar, el cual es industrializado en la siguiente etapa.

Figura 21. Mapa de producción larvaria, obtenida con el modelo industrializado EEOS Malaria. Predicción de la producción larvaria para el 28 de septiembre de 2009.



➤ **Tiempo de cálculo total de las etapas 1 y 2, modelo EEOS: 50mins**

Luego de la optimización realizada a las etapas 1 y 2 del modelo, se obtienen los tiempos de cálculo presentados en la tabla 9. Estos tiempos difieren ligeramente de los presentados en la tabla precedente, debido a otras modificaciones aportadas durante los procesos de cálculo.

Tabla 9. Tiempo total de cálculo de los procesos industrializados EEOS Malaria Etapa 1 y etapa 2, luego de la primera optimización.

Tiempo de cálculo etapas 1 y 2, industrialización de procesos EEOS Malaria, luego de la primera optimización				
Etapa	Proceso	Tiempo de cálculo		
		Horas	Minutos	Segundos
Etapa 1	Zonal_Stats: bati	0	11	23
	Zonal_Stats: srtm	0	12	19
	Zonal_Stats: ndwi	0	9	53
	Zonal_Stats: ndvide	0	10	10
	Parte final (Map algebra, estadísticas focales y creación de shape)	0	0	7
Etapa 2	Buffer 10 m colecciones de agua	0	0	8
	Creación polígonos	0	0	6
	NDWI para cada polígono de agua	0	0	20
	BI para cada polígono de agua	0	0	19
	Formula EEOS Etapa 2 y resultados *	0	5	0
Subtotal Etapas 1 y 2		0	47	165
TOTAL Etapas 1 y 2 (agosto 13/2012)			49 min	45 sec

* **Nota:** Con esta optimización se reduce el tiempo de cálculo total en 40 minutos (para un tiempo inicial de 1h30 con el modelo Urban Malaria), conservando los mismos resultados y precisión del mapa de colecciones de agua y de producción larvaria.

Adicionalmente, el modelo industrializado EEOS Malaria fue enriquecido con una optimización adicional, que permite la generación de mapas de producción larval diarias, semanales, mensuales o plurianuales; según la demanda del usuario.

Para ello, a la etapa 2 se le asignaron dos partes (módulos) adicionales con el fin de organizar los procesos y sobre todo a causa de la herramienta de « iteración » de ArcGis, la cual tiene como condición que solo puede ser utilizado un módulo de iteración por modelo. Donde en el caso que sea utilizado en un modelo complejo, el módulo de iteración se ejecutara para todas las herramientas que precedan dicho modulo, generando gastos innecesarios en tiempos de cálculo:

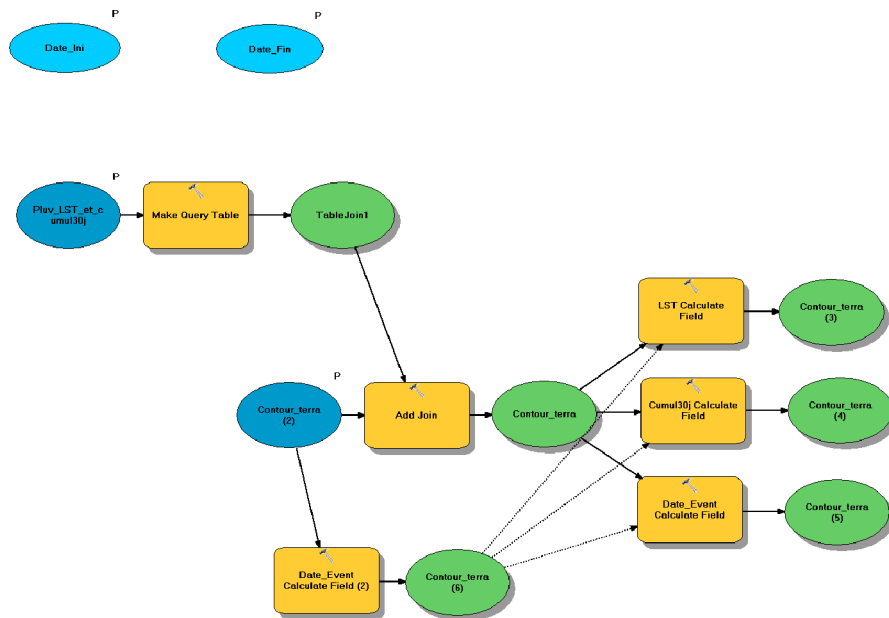
- En la parte C, el usuario introduce la(s) fecha(s) para las cuales desea producir mapas de probabilidad de producción larval, o el periodo para la carta de riesgo entomológico.
- En la parte D. se generan los mapas utilizando un « iterador » que permite generar automáticamente mapas, según la necesidad del usuario.

C) Consulta de valores LST y de acumulado de lluvias para los 30 días de análisis, en la tabla de pluviometría y LST georeferenciada para la etapa 2. (Final_Etape_2_pour_Et_3a)

El objetivo de esta parte es crear una tabla dinámica con la información correspondiente, según la consulta realizada por el usuario para el periodo o las fechas solicitadas. Luego, en la Parte D se utilizará esta tabla para crear los mapas correspondientes.

Para ello se desarrolló la cadena de tratamiento que se presenta en la figura 22:

Figura 22. Parte C. Consulta en la base de datos de los valores de lluvia y LST para el período de análisis. Modelo industrializado EEOS Malaria. (Final_Etape_2_pour_Et_3a)



Nota: La explicación de esta cadena de tratamiento se encuentra en el numeral 4.1.3 (pág. 63) del documento original en francés que acompaña este “resumen” (presentado en Junio 2013 a la UIS).

Tabla 10. Ejemplo de tabla dinámica calculada de manera industrializada, para el periodo de 30 agosto 2009 a 28 septiembre 2009

OBJECTID*	Shape*	ID Terra	Liaison ID*	Date Event	LST	Cumul30
1699	Polygon	Dakar1	2009238	<Null>	<Null>	<Null>
1700	Polygon	Dakar1	2009239	<Null>	<Null>	<Null>
1701	Polygon	Dakar1	2009240	<Null>	<Null>	<Null>
1702	Polygon	Dakar1	2009241	<Null>	<Null>	<Null>
1703	Polygon	Dakar1	2009242	8/30/2009	22.35	235.1
1704	Polygon	Dakar1	2009243	8/31/2009	22.21	235.1
1705	Polygon	Dakar1	2009244	9/1/2009	22.07	285.7
1706	Polygon	Dakar1	2009245	9/2/2009	21.93	290.4
1707	Polygon	Dakar1	2009246	9/3/2009	21.79	277.2
1708	Polygon	Dakar1	2009247	9/4/2009	21.64	275.7
1709	Polygon	Dakar1	2009248	9/5/2009	21.5	276
1710	Polygon	Dakar1	2009249	9/6/2009	21.36	279.6
1711	Polygon	Dakar1	2009250	9/7/2009	21.35	299.1
1712	Polygon	Dakar1	2009251	9/8/2009	21.34	294.1
1713	Polygon	Dakar1	2009252	9/9/2009	21.33	281.9
1714	Polygon	Dakar1	2009253	9/10/2009	21.32	312.3
1715	Polygon	Dakar1	2009254	9/11/2009	21.31	317
1716	Polygon	Dakar1	2009255	9/12/2009	21.3	308.4
1717	Polygon	Dakar1	2009256	9/13/2009	21.29	308.7
1718	Polygon	Dakar1	2009257	9/14/2009	21.29	315.4
1719	Polygon	Dakar1	2009258	9/15/2009	21.45	312.6
1720	Polygon	Dakar1	2009259	9/16/2009	21.61	310.1
1721	Polygon	Dakar1	2009260	9/17/2009	21.77	332.1
1722	Polygon	Dakar1	2009261	9/18/2009	21.93	332.1
1723	Polygon	Dakar1	2009262	9/19/2009	22.09	329.9
1724	Polygon	Dakar1	2009263	9/20/2009	22.25	329.9
1725	Polygon	Dakar1	2009264	9/21/2009	22.41	322
1726	Polygon	Dakar1	2009265	9/22/2009	22.58	322
1727	Polygon	Dakar1	2009266	9/23/2009	22.74	294.8
1728	Polygon	Dakar1	2009267	9/24/2009	22.9	240.6
1729	Polygon	Dakar1	2009268	9/25/2009	23.06	240.1
1730	Polygon	Dakar1	2009269	9/26/2009	23.22	264.7
1731	Polygon	Dakar1	2009270	9/27/2009	23.38	252.7
1732	Polygon	Dakar1	2009271	9/28/2009	23.54	223.3
1733	Polygon	Dakar1	2009272	<Null>	<Null>	<Null>
1734	Polygon	Dakar1	2009273	<Null>	<Null>	<Null>
1735	Polygon	Dakar1	2009274	<Null>	<Null>	<Null>

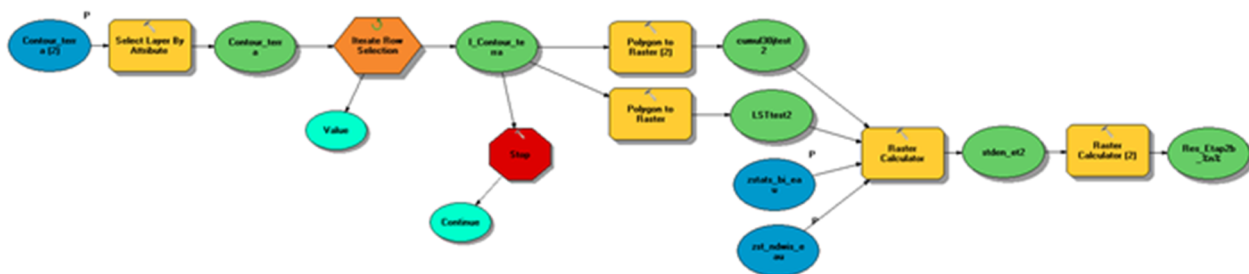
En función del período solicitado por el usuario, la tabla dinámica es completada de manera automática. Esta estrategia evita problemas de falsas informaciones al momento de crear los mapas de probabilidad de producción larval para cada día del período a analizar.

D) Creación de mapas de probabilidad de producción larval (Final_Etape_2_pour_Et_3b)

El objetivo de esta parte, es utilizar la tabla dinámica de la parte C, para crear los mapas de probabilidad de producción larvaria para cada uno de los días del período solicitado.

Para ello se desarrolló la cadena de tratamiento que se presenta en la figura 23:

Figura 23. Parte D. Etapa 2. Creación de mapas de productividad larvaria para el período de análisis. Proyecto EEOS Malaria



N.B. Este proceso puede ser aplicado para cualquier periodo de tiempo o cualquier número de mapas, permitiendo así un seguimiento y control de la evolución de la probabilidad de producción larval de mosquitos anofeles, vectores del paludismo.

Nota: La explicación de esta cadena de tratamiento se encuentra en el numeral 4.1.3 (pág. 64) del documento original en francés que acompaña este “resumen” (presentado en Junio 2013 a la UIS).

N.B2. En la segunda fórmula, es importante guardar los archivos en una base de datos geográfica, como se ha hecho durante todos los procesos de industrialización, pero también se debe tener atención de guardarlos con `_%n%` al final, por ejemplo: `F:\SERTIT_EEOS_Dakar_SPOT\ETAPE2\Prod_Larvaire.gdb\Res_Etap2_%n%`

Esta terminación `_%n%` permite guardar cada una de los mapas con un nombre diferente, en el caso que el usuario desee guardarlos: `Res_Etap2_0`, `Res_Etap2_1`, `Res_Etap2_2`, ... `Res_Etap2_29`, rasters que corresponden a los 30 días de análisis.

En el caso que se deseen guardar con el valor de un campo específico de la tabla dinámica, se debe escribir al final `_%Nombre_del_campo%`.

Como resultado de la parte D de la etapa 2, se producen los mapas de producción larvaria que corresponden al periodo solicitado por el usuario. Estos datos son las entradas para la parte final del modelo, etapa 3: Mapas de riesgo entomológico de paludismo y se presenta a continuación.

4.2.4 Etapa 3. Cálculo de riesgo entomológico de paludismo y producción de mapas de riesgo (agresividad de mosquito anofeles) - (Calcul_Results_Etape3)

El objetivo es crear los mapas de riesgo entomológico de paludismo en medio urbano, para una fecha o periodo específico; es decir, diaria, semanal, mensual o anual.

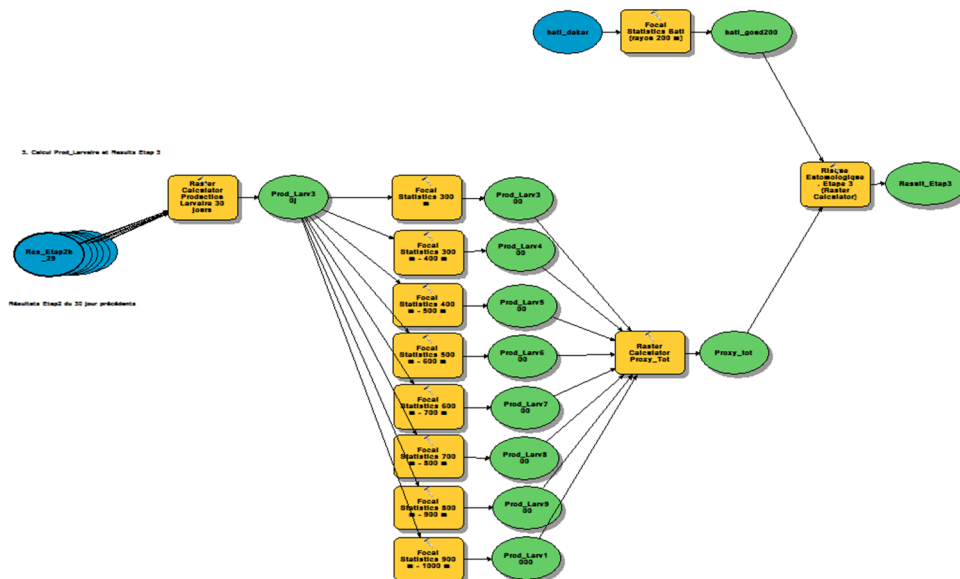
Para la etapa 3, dos modelos diferentes fueron desarrollados.

Un primer modelo con las siguientes variables:

- Probabilidad larvaria, etapas 1 y 2 (para cada uno de los 30 días anteriores a la fecha solicitada por el usuario)
- Valor medio de las zonas de residencia (edificaciones) en una zona tampon de 200m, SPOT-5
- Total de lluvias para los 30 días anteriores.

Por razones prácticas, se muestra aquí el esquema en ArcGis 10 de los dos modelos, pero solo se explica el modelo final de industrialización. En la figura 24, se presenta el primer modelo de industrialización creado para la etapa 3 EEOS Malaria.

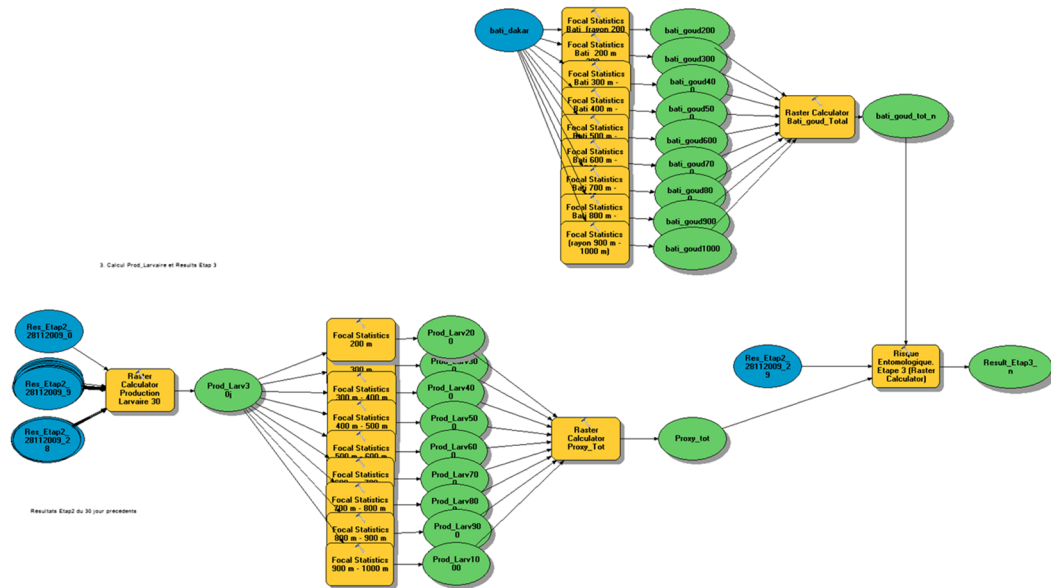
Figura 24. Primer modelo de industrialización para la etapa 3 EEOS Malaria



El segundo modelo integra las variables adicionales que V. Machault fijó durante el transcurso del presente proyecto.

Nota: La explicación de este modelo se encuentra en el numeral 4.1.4 (pág. 66) del documento original en francés que acompaña este “resumen” (presentado en Junio 2013 a la UIS).

Figura 25. Etapa 3. Producción de mapas de riesgo entomológico para el período de análisis. Modelo industrializado EEOS Malaria.



La figura 25 presenta la cadena de tratamiento final, desarrollada para la etapa 3. El resultado que se obtiene corresponde al mapa de riesgo entomológico para el periodo o la fecha solicitada por el usuario.

N.B1. Este proceso puede ser aplicado para cualquier periodo de tiempo o cualquier número de mapas, es decir, mapas diarios, semanales, mensuales, anuales, permitiendo así un seguimiento y control de la evolución del riesgo entomológico de paludismo urbano a Dakar.

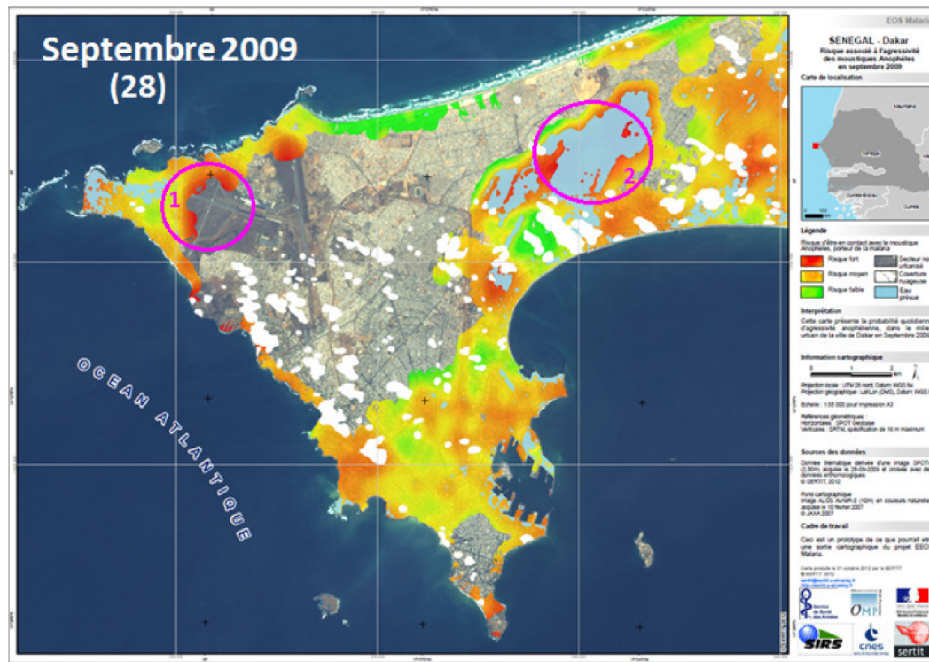
N.B2. Un nuevo cambio de variable fue propuesto por V. Machault en el último momento. Sin embargo, este cambio no fue tenido en cuenta en el modelo industrializado EEOS, debido a la finalización del tiempo de ejecución del proyecto y al hecho de que las tres etapas habían sido industrializadas, validadas y aprobadas previamente.

➤ **Resultados Etapa 3. Mapas de riesgo entomológico de paludismo urbano a Dakar.**

Este mapa presenta la probabilidad cotidiana de agresividad de mosquitos anofeles en medio urbano, para la ciudad de Dakar en Senegal para el 28

septiembre de 2009. La resolución espacial de salida es de 2,5 m.⁶ (figura 26 y mapa en ANEXO B)

Figura 26. Mapa de riesgo entomológico de paludismo a Dakar (Senegal) para el 28 de septiembre de 2009. Resultado obtenido con el modelo EEOS Malaria.



Las zonas en rojo representan las zonas con alto riesgo de estar en contacto con el mosquito anopheles, portador de la malaria; ver el caso de las zonas de Yoff et Almadies (1) en la parte izquierda del mapa, o Pikine y Golf en la parte central (2) del mapa. Este alto riesgo en la parte central está ligado por una parte a los factores ambientales favorables de probabilidad de producción larvaria, como la presencia de “superficies de agua temporal o permanente”, y por otra parte, a la fuerte densidad demográfica y a factores socio-económicos (población en extrema pobreza y malas condiciones de vivienda).

Las zonas en verde representan las zonas a bajo riesgo y la escala intermedia de color, representa las zonas a riesgo medio. Las zonas sin color son consideradas como “zonas fuera de riesgo” entomológico de malaria.

N.B. Las zonas en color blanco, representan las zonas con nubosidad (presencia de nubes) en la imagen SPOT 5, lo que genera zonas excluidas del estudio por falta de

⁶ El fondo cartográfico utilizado para este mapa es una imagen ALOS AVNIR-2 (10 m) en colores naturales, adquirida el 10 de febrero de 2007.

información suficiente para el análisis de riesgo de paludismo, ver evitar resultados alterados.

Este mapa de riesgo entomológico, genera una excelente guía a utilizar en los trabajos de prevención y control de la enfermedad en medio urbano, porque permite dilucidar las zonas prioritarias, dónde es necesario aplicar el trabajo antipalúdico en Dakar.

➤ **Tiempo de cálculo para la etapa 3, modelo EEOS: 5 h aproximadamente.**

Esta tercera etapa tiene una variabilidad de tiempo de cálculo:

Para la primera vez que se ejecuta el modelo, el tiempo aproximado es de 5 horas, debido a la obligación de realizar todos los cálculos citados anteriormente.

Para la segunda vez que se ejecuta el modelo para una misma ciudad y sin variación de la densidad de viviendas; es decir, con la misma entrada de “bati” que para la primera vez, el tiempo de cálculo se reduce a 3 horas aproximadamente para la creación de la nueva mapa de riesgo entomológico. Esta reducción en el tiempo de cálculo es debido a que los cálculos de bati ya están generados con la ejecución precedente, por tanto solo es necesario llamar la salida del valor de “bati total” y ejecutar el resto de los procesos de la etapa 3. Lo mismo ocurre con los mapas de densidad larvaria que ya hayan sido creadas en antiguas ejecuciones.

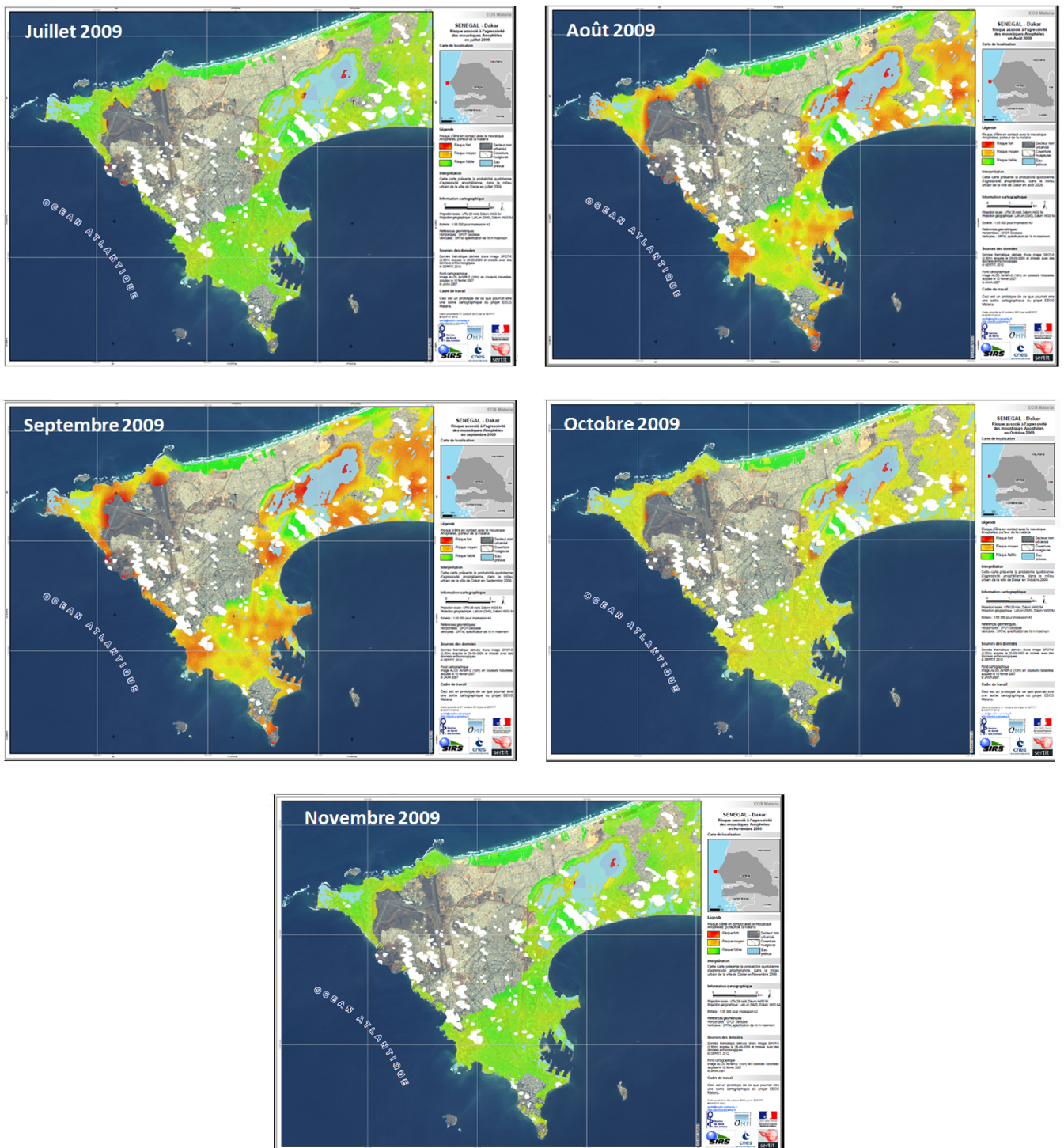
N.B. Con este modelo industrializado, se reduce el tiempo de cálculo total en 19 horas (de un tiempo inicial de 24 horas con el modelo Urban Malaria), conservando los mismos resultados de mapas de probabilidad de producción larval y de riesgo entomológico de paludismo en medio urbano.

Ahora, se presenta una serie temporal mensual, generada utilizando el modelo industrializado EEOS Malaria. Esta serie temporal es uno de los principales aportes de este estudio, y que no había sido obtenido con el modelo experimental, debido al requisito de tiempo de ejecución del mismo.

4.2.5 Serie temporal mensual de la etapa 3. Riesgo entomológico de paludismo urbano a Dakar (Senegal) para el período de julio a noviembre de 2009.

Como resultado de la industrialización, estas etapas son fácilmente reproductibles en términos de tiempo y de eficiencia de resultados. El modelo permite calcular el riesgo a frecuencia **diaria, semanal, mensual o anual** de mapas de producción larvaria y/o de riesgo entomológico de paludismo en medio urbano, **según las necesidades de los usuarios finales**. Así, los mapas correspondientes a la estación de lluvias de 2009 (julio a noviembre) fueron generadas con el modelo, y permiten observar la evolución del riesgo entomológico mes por mes (Figura 27).

Figura 27. Serie temporal mensual para el periodo julio 2009 – noviembre 2009, generada a partir del modelo EEOS Malaria.



Estos mapas presentan la probabilidad cotidiana de agresividad de mosquitos anopheles, en medio urbano en la ciudad de Dakar en Senegal. Durante los meses de julio 2009 a noviembre 2009, para el día 28 de cada mes.

En esta serie se puede observar el comportamiento mensual del riesgo entomológico de paludismo urbano a Dakar. La tasa más alta se presenta durante el mes de septiembre con valores que varían entre 200 y 320 picaduras de mosquito/por persona/por noche, seguido del mes de agosto con valores de 185 a 246 picaduras/por persona/por noche. La tasa más baja se presenta en el mes de noviembre, con valores entre 0.07 et 0.094 picaduras/por persona/por noche.

Los meses de julio y octubre presentan un comportamiento similar, con valores entre 0.13 a 0.17 y 0.11 a 0.15 picaduras/por persona/por noche respectivamente.

Estas salidas del modelo, indican una muy fuerte variabilidad de riesgo de picaduras/por persona/por noche, las diferencias son tan significativas, que pueden ser el resultado de un “tuning trop poussé” del modelo.

5. TRANSFERIBILIDAD A N'DJAMENA

5.1 CONTEXTO DE LA CIUDAD DE NDJAMENA

La ciudad de N'Djamena (12°07' Nord, 15 °03' Este) es la capital de Tchad. Presenta un 80% de la población en riesgo elevado de transmisión del paludismo. [OMS, 2011]. Esta ciudad concentra hoy, más de un millón de habitantes y ha devenido un polo mayor de comercio y de servicios. [Reounodji, 2005]

La ciudad se ubica en el centro de una vasta llanura aluvial donde la característica principal es su extrema planitud (zonas planas), con pendientes muy bajas orientadas hacia el norte y es fuertemente inundable en periodo de invierno.

En temporada de lluvias presenta problemas complejos de planificación y desarrollo urbano, principalmente en el sistema de drenaje, canalización de aguas, organización de red vial, gestión de desechos entre otros; factores propicios para la aparición de superficies de agua temporaria y factores favorables para la producción larval de anofeles, su dispersión y tasa de supervivencia.

Por estas razones, el objetivo de esta parte del estudio es probar la transferibilidad del modelo EEOS Malaria a la ciudad de N'Djamena para contribuir de manera positiva en la prevención del paludismo.

5.2 COLECTA DE DATOS DE ENTRADA

Antes de lanzar el modelo, es necesario recolectar los datos de entrada o ya formateados que serán explotados en la transferibilidad del modelo EEOS Malaria.

La información o datos necesarios son:

- Índices derivados de imágenes de satélite, necesarios para la ejecución del modelo, tales que NDVI, NDWI, BI, etc. En este estudio se utilizaron dos imágenes ALOS AVNIR-2 (10 metros de resolución espacial) adquiridas el 05-09-2008 correspondiente a la estación húmeda y el 16-01-2007 correspondiente a la estación seca.
- Información derivada de productos TRMM y MODIS-Terra, correspondientes a las bandas espectrales de acumulado de lluvias y LST para 120 días de estudio (para el periodo comprendido entre el 30 de julio y el 30 de septiembre 2009).
- Datos de elevación, derivados de una imagen SAR (DTED- Información del ministerio de defensa de Francia), con cambio de talla de pixel a 10 m (re-échantillonnage).

- Información de zonas edificadas, derivada de una imagen Pleiades 1A (0,7 metros de resolución espacial) adquirida el 3 de febrero 2012.

Para la creación de los índices (entradas modelo EEOS Malaria) NDVI y NDWI, utilizamos las cadenas de tratamientos generadas para la fase de industrialización (ver numeral 4.1.1). Aquí se muestra la cadena de tratamiento desarrollada para el cálculo del índice de brillo – BI:

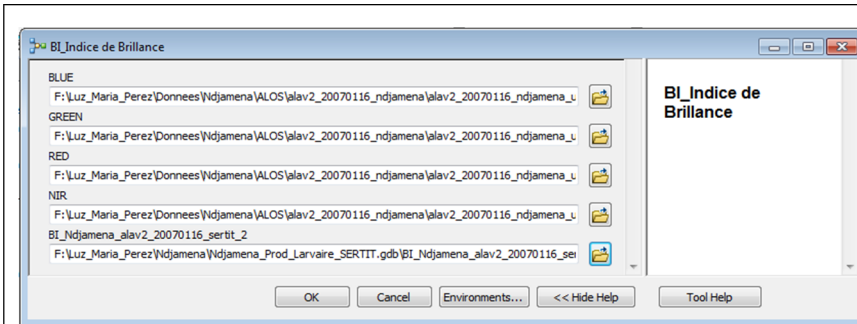


Figura 28. Interface usuario para el cálculo del índice BI.

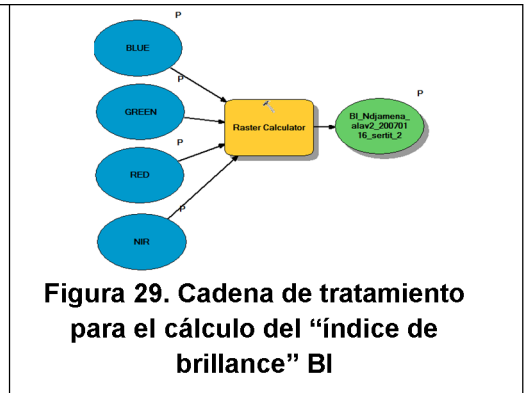
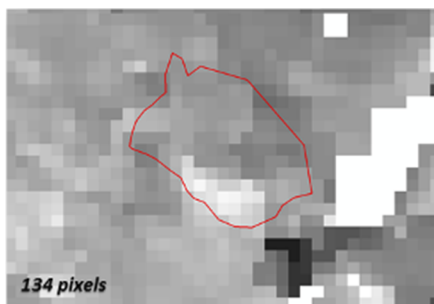


Figura 29. Cadena de tratamiento para el cálculo del “índice de brillo” BI

Para los datos de LST, los productos MODIS/TERRA LST Daily L3 Global 6 km Grid (de la NASA) facilitan para cada pixel, seis valores de emisividad correspondientes a seis bandas térmicas (en la nomenclatura MODIS), introducidas por Salomonson (1989), Estas son las bandas 20, 22, 23, 29,31 y 32. Las temperaturas son calculadas utilizando el algoritmo LST día/noche (Wan et Li, 1997). Estos productos son distribuidos al público en 16 bandas, cada una contiene información diferente, donde la banda 5 (contando de banda 0 a banda 15) corresponde a LST noche.

Figura 30. Ejemplo de imagen MODIS para extracción de valores de LST - Zona de estudio N'Djamena



Una cadena de tratamiento fue creada para la extracción automática de la información de LST correspondiente. Utilizando en primera instancia la herramienta de la NASA (para transformación del sistema de referencia), seguido de la herramienta desarrollada para el proyecto EEOS. Esta herramienta permite la extracción de la información de la banda 5 de la zona de estudio; la multiplicación del valor extraído por el factor correspondiente, según documentación de la NASA, etc..)

A diferencia de las series de Dakar, se observa que los datos derivados de las imágenes MODIS para N'Djamena (figura 30), presentan una discontinuidad importante

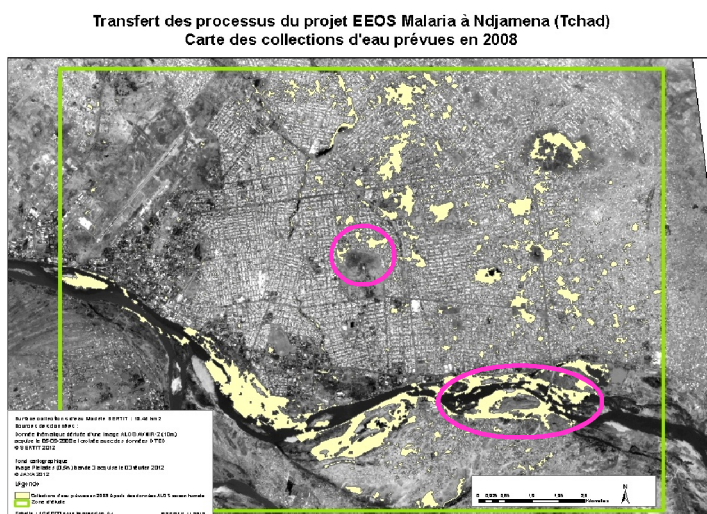
en las series diarias de temperatura. Con el fin de remediar esta situación, un modelo de regresión lineal fue aplicado.

5.3 LA APLICACIÓN EN MODO RUTINA DEL MODELO A N'DJAMENA

5.3.1 Etapa 1. Mapa de colecciones de agua a N'Djamena

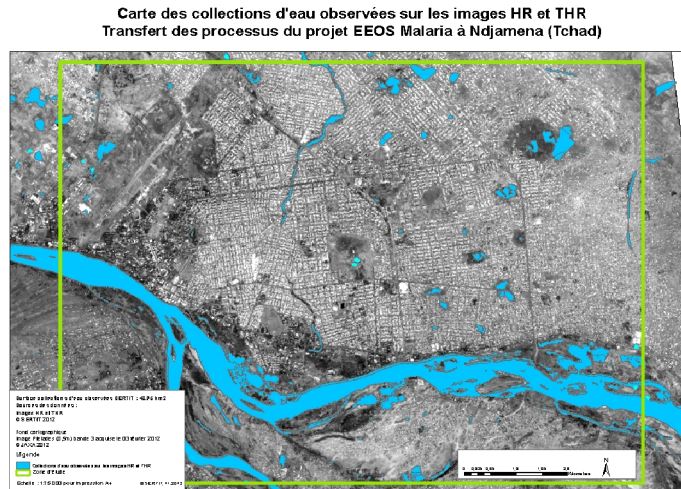
La primera etapa del modelo genera el resultado correspondiente al mapa de colecciones de agua que presentan una fuerte probabilidad de producción larval. Ver las zonas de agua en la orilla derecha e izquierda del río Chari (ejemplo zonas encerradas en color fucsia en el mapa), los estanques de retención y las zonas de suelos de marigot húmedos a saturados y que poseen vegetación densa verde. (Figura 31)

Figura 31. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de colecciones de agua previstas para el año 2008. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar + 2 metros)



Se observa un ajuste relativamente correcto entre las colecciones de agua generadas por el modelo EEOS y la “información real “ de campo generada a partir del estudio de información multi-fuente, multi-resolución y multi-temporal del SERTIT, (Figura 32).

Figura 32. Mapa de colecciones de agua a N'Djamena observadas sobre las imágenes HR et THR.

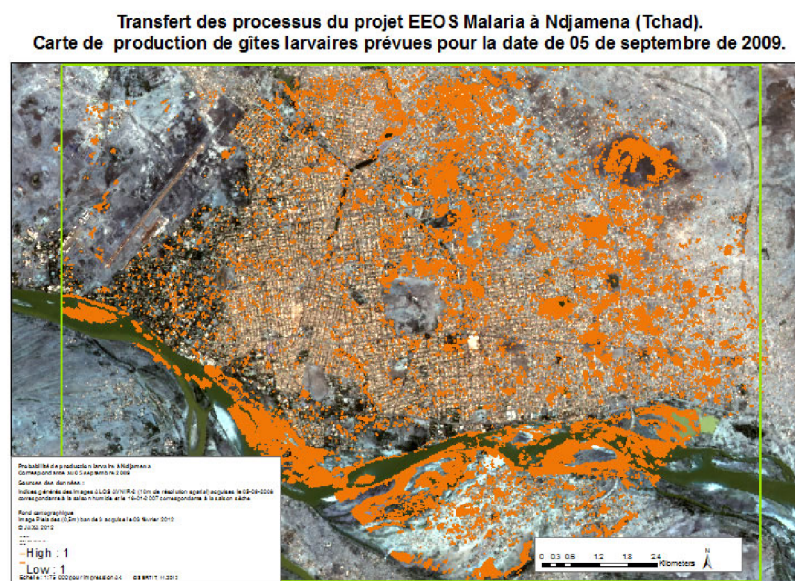


Fuente: SERTIT 2012

5.3.2 Etapa 2. Mapa de productividad larvaria à N'Djamena

La segunda etapa del modelo genera el resultado correspondiente al mapa de probabilidad de producción de criaderos de larvas en medio urbano en N'Djamena para el 5 de septiembre de 2009 (figura 33). Lo que permite observar una fuerte probabilidad de producción larval, distribuida de manera homogénea sobre la casi-totalidad de la ciudad.

Figura 33. Transferibilidad de procesos del proyecto EEOS Malaria a la ciudad de N'Djamena (Tchad). Mapa de probabilidad de producción de criaderos larvarios de mosquitos anofeles para el 05 de septiembre de 2009.



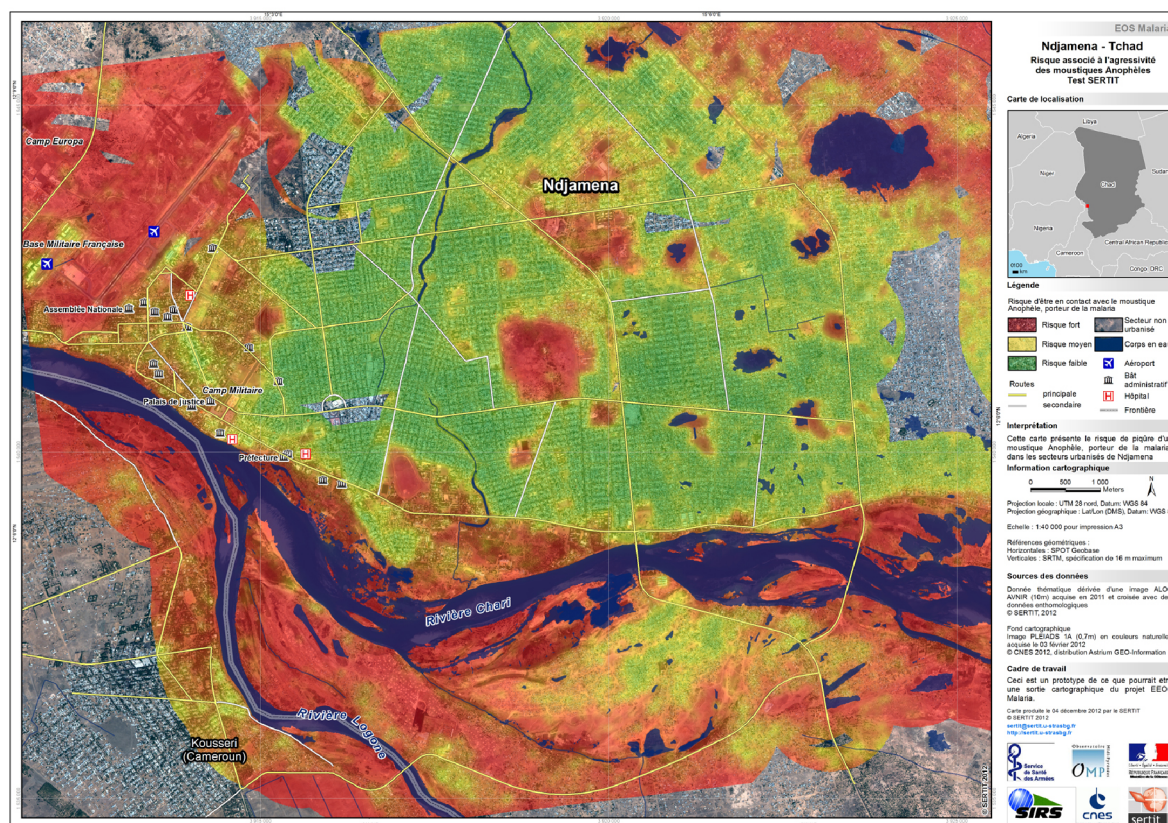
5.3.3 Etapa 3. Cálculo y producción del mapa de riesgo entomológico de paludismo (agresividad de los mosquitos anofeles) a N'Djamena para el año 2009

La tercera etapa del modelo, genera el resultado correspondiente al riesgo entomológico de paludismo urbano a N'Djamena. (Figura 34)

De la etapa 2 se obtuvieron las zonas de productividad larvaria en casi la totalidad de la ciudad. Sin embargo, con respecto al riesgo entomológico, se puede observar una distribución más heterogénea de tasas de riesgo.

Las zonas alrededor del río de Chari y las zonas de la periferia en la parte Nord-Oeste, presentan un alto riesgo de contacto con el mosquito anofeles, portador del paludismo. La zona central presenta una tasa de baja a media, excepto en la zona denominada Paris-Congo que presenta una fuerte tasa de riesgo entomológico.

Figura 34. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de riesgo entomológico de paludismo para el 5 de septiembre de 2009. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar).



La escala de color en rojo, representa las zonas en alto riesgo entomológico de paludismo, las zonas en amarillo, son catalogadas con riesgo medio y las zonas en verde

corresponden a riesgo bajo. Los lugares donde no hay representación de color, “se presumen” como “ausencia de riesgo”. Las zonas en azul, son las colecciones de agua predichas para el año 2009.

El fondo cartográfico es una imagen PLEIADES 1A (0,7m) en colores naturales adquirida el 3 de febrero de 2012.

El análisis de la influencia de la calidad de los datos de entrada de MNS - DEM, serán evaluados en el capítulo siguiente, con el fin de examinar su comportamiento en los resultados del proyecto EEOS Malaria para la etapa de predicción de colecciones de agua (etapa1).

6. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LOS DATOS DE ENTRADA Y DE LAS CADENAS DE TRATAMIENTO EEOS

Objetivo: Analizar la sensibilidad del modelo a la calidad intrínseca de la entrada del MNS - DEM, en la etapa 1 « predicción de colecciones de agua ».

6.1 ANALISIS DEL IMPACTO DEL MNS/DEM EN EL PROYECTO EEOS MALARIA

Un Modelo numérico de superficie - MNS es una representación gráfica de la topografía de la superficie terrestre (la coordenada altimétrica H 1) en función de las coordenadas planimétricas (X, Y o E, N). Este describe las formas de la tierra incluyendo todas las superficies visibles, como el suelo, la vegetación o las viviendas. [Sefercik, 2006].

En el marco de la validación de las entradas del modelo EEOS MALARIA, diferentes MNS de Dakar (figura 35) y N'Djamena de cobertura quasi-global (SRTM, ASTER V2) fueron adquiridos, aquellos provenientes de la base de datos TOPObase del Ministerio de Defensa (DTED 2), como un MNS interferométrico generado por el SERTIT.

Cada MNS presenta una precisión específica y una resolución espacial de acuerdo al sensor (Tabla 11)

Figura 35. MNS disponibles para la ciudad de Dakar

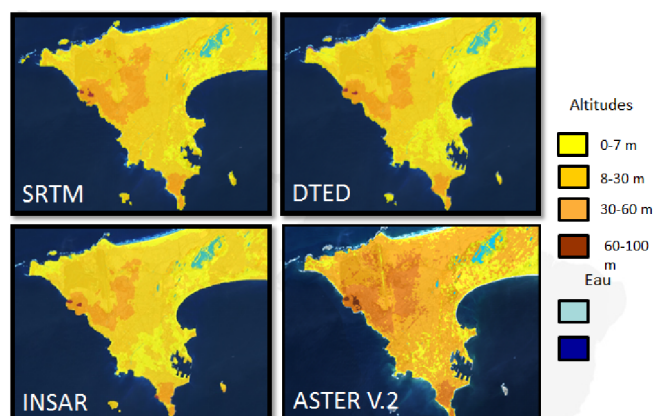


Tabla 11. MNS disponibles sur Dakar dans le cadre EEOS MALARIA

MNT	Origine (SENSOR)	Résolution (m)	Précision	
			Altimétrique	Planimétrique
SRTM	SAR	90	+/- 6 m	+/- 10m
INSAR-ENVISAT	SAR	90	+/- 15 m	+/- 10m
DTED Défense	Optique HRS SPOT 5	30	+/- 15 m	+/- 15m
ASTER GDEM V2	Optique ASTER PIR	30	+/- 15 m	+/- 15 m

6.1.1 Definición de condiciones y límites de utilización del modelo: caso de MNS

Uno de los parámetros más importantes de EEOS Malaria es la elevación. En el modelo esta altitud fue extraída de un MNS quasi-global SRTM-NASA/JPL (febrero 2000).

La sensibilidad del modelo a la calidad intrínseca de cada MNS fue testada para la etapa 1 del modelo EEOS. El análisis de resultados estuvo orientado tanto a la superficie total de predicción, como a la localización espacial. (Ver Figura 36).

La información o variables de entrada fueron:

- La información de zonas construidas (edificaciones) derivada de imágenes a Muy Alta Resolución – THR, VHR (0,7 metros de resolución),
- Los índices NDVI, NDWI, BI generados a partir de imágenes SPOT-5 (2,50m) adquiridas el 28-09-2009 y el 11-05-2009 que fueron cruzados con información de altitud: SRTM, DTED, INSAR et ASTER DEM V2.

Figura 36. Comparación de la predicción de colecciones de agua en Dakar, utilizando el modelo industrializado EEOS con diferentes MNS como variable de entrada.

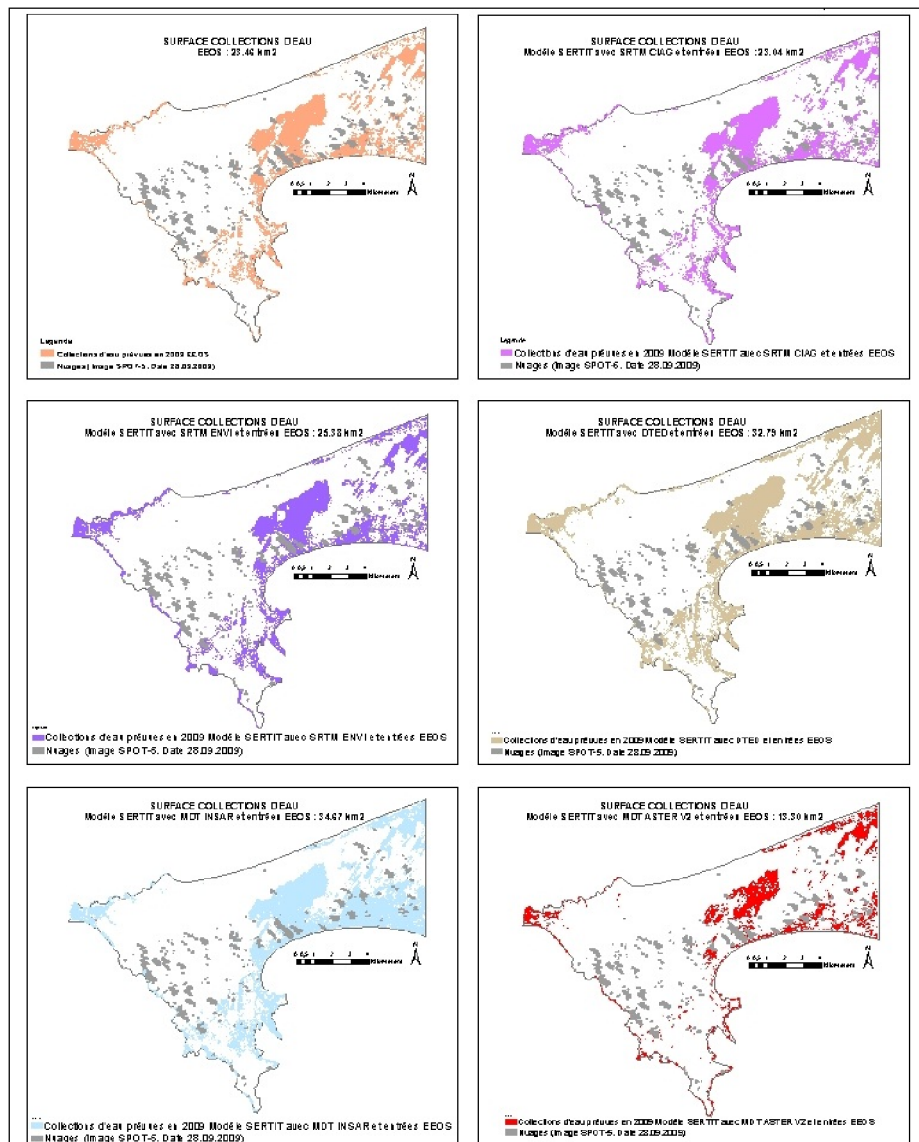


Tabla 12. Superficies predichas de agua, utilizando diferentes MNS y el modelo EEOS

MNS	Superficie predicha de agua (Km ²)
SRTM – EEOS MALARIA	23,46
SRTM - CGIAR	23,04
SRTM – ENVI	25,38
INSAR	34,67
DTED Défense	32,79
ASTER DEM V2	13,30

A partir de estos resultados se puede observar que en función del MNS utilizado, las superficies (colecciones) predichas de agua varían en cerca del 56 %. Donde, la comparación del SRTM y el DTED de la defensa, muestra una desviación de aproximadamente 32 %. Es importante reflexionar que se trata de dos MNS son calificados (validados, utilizados), en los cuales se encuentra el Instituto Geográfico Nacional de Francia (IGN), dónde la fuente del SRTM es utilizado por los actores de la defensa y es en teoría intercambiable con el DTED de la defensa. El MNS INSAR generado por el SERTIT a partir de datos ENVISAT presenta resultados semejantes a los obtenidos con el MNS DTED. La crítica principal que se puede hacer gracias a este test, es que es necesario aplicar una fuerte atención al MNS explotado, sabiendo que el modelo fue desarrollado inicialmente sobre la base del SRTM. De esta manera, todo cambio de la entrada del MNS requiere entonces una recalibración del modelo.

Es igualmente interesante remarcar que la expresión matemática que interviene para la predicción de superficies de agua contiene un factor multiplicativo de altitud. El modelo fue desarrollado a partir de un SRTM de la ciudad de Dakar (Senegal). Este análisis llevó al cuestionamiento: ¿Cómo se debe aplicar el MNS para sitios al interior del continente?, tales que N'Djamena (Tchad), situada en una región relativamente plana con una altitud media de 295 metros. Por otra parte, por cada uno de estos sitios las variaciones de altitud son de aproximadamente 70 m en Dakar y 30 m sur N'Djamena.

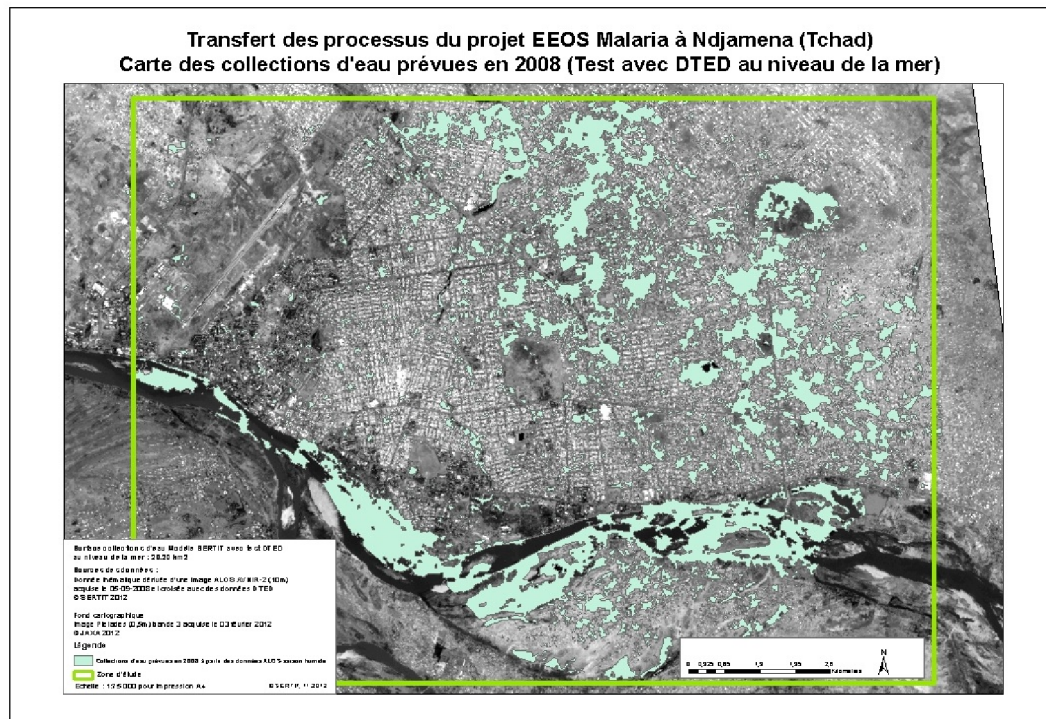
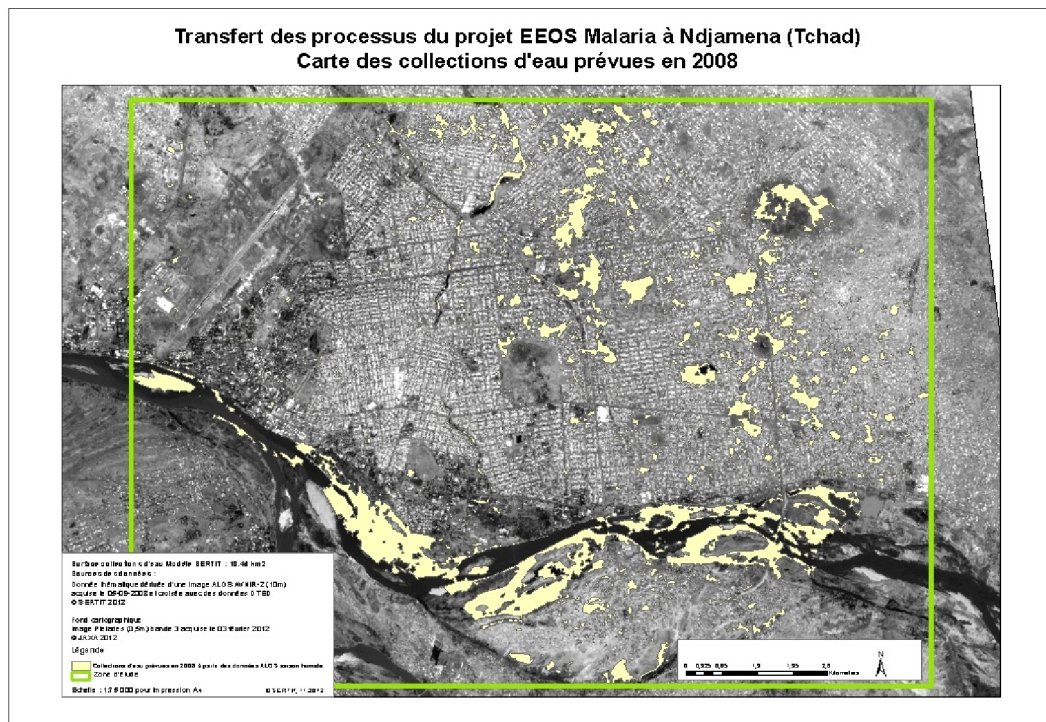
Para utilizar este factor de altitud en N'Djamena, el MNS fue « puesto a nivel », para ello se propuso en una primera instancia sustraer de cada valor de altitud (pixel), la cifra redondeada de la altitud mínima, dando así un valor “semi real” más próximo al utilizado en el modelo para Dakar. De esta manera, en el caso de N'Djamena, el valor a sustraer es de 280 m. Y en segunda instancia la altitud fue « ajustada » a cero, es decir un pseudo nivel del mar; para ello el valor sustraído a cada altitud fue de 282 m.

En el primer caso (Figura 37), los resultados fueron aceptables, las colecciones de agua predichas se encontraron alrededor del río Chari y alrededor de las depresiones al interior de la ciudad de N'Djamena. Por otra parte, en el segundo caso (pseudo nivel del mar) se observó una fuerte extensión de las colecciones de agua potenciales a la probabilidad de producción larval, particularmente en el sector Noreste de la ciudad.

La comparación de las superficies obtenidas para una variación de altitud de referencia son importantes porque un pequeño desfase de 2 metros conlleva a generar el doble de las superficies de agua predichas. Esto muestra la fuerte sensibilidad del modelo a este factor de altitud bruta.

Conclusión: Para integrar una transferibilidad del método (modelo), es necesario liberarse de este parámetro de altitud y poner en su lugar un parámetro dependiente de las variaciones de altitud, poniendo en evidencia las zonas de depresión; por ejemplo del tipo índice de Beven-Kirkby, el cual representa la capacidad de un punto de acumular agua en función de la cantidad de agua vertida y la cantidad que se escapa (se infiltra o se evapora), permitiendo la estimación de suelos potencialmente saturados. Este índice ha sido utilizado en los trabajos de CRAVE et GASCUEL-ODOUX (1997), MAREAU (2003) y REMOND (2006), y ofrece una buena predicción de la localización de zonas susceptibles de retener el agua y de constituir zonas húmedas.

Figura 37. Colecciones de agua predichas a 2 altitudes diferentes, relativas al nivel del mar (nivel o msnm o « pseudo » nivel del mar a 2 msnm respectivamente)



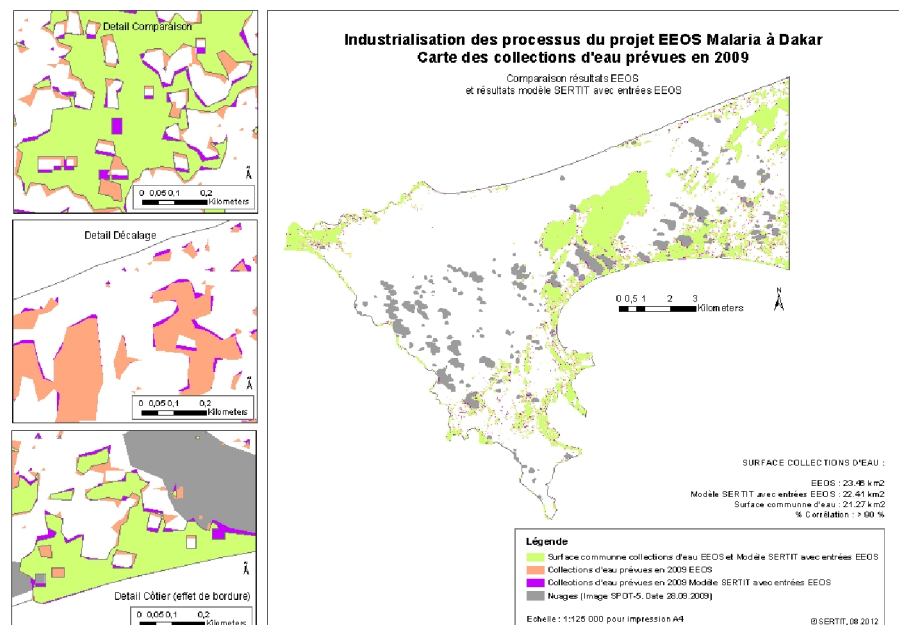
6.2 COMPARACIÓN RESULTADOS URBAN MALARIA Y RESULTADOS MODELO INDUSTRIALIZADO EEOS MALARIA - SERTIT

6.2.1 Comparación de resultados con entradas Urban Malaria

En esta parte del proyecto, se cargaron en el modelo las entradas utilizadas antes del proceso de industrialización, al llamarlas en la cadena de tratamiento del modelo EEOS, con el fin de analizar los resultados y de comparar la calidad y las condiciones de salida.

Los test de validación y de comparación de la calidad de los datos de entrada permitieron la generación de un informe privado con relación a las variables ambientales derivadas de los sistemas de adquisición, para la ciudad de Dakar. Aquí se muestra como ejemplo uno de los resultados obtenidos para la etapa 1, (Figura 38).

Figura 38. Comparación resultados modelo industrializado EEOS con entradas del proyecto Urban Malaria

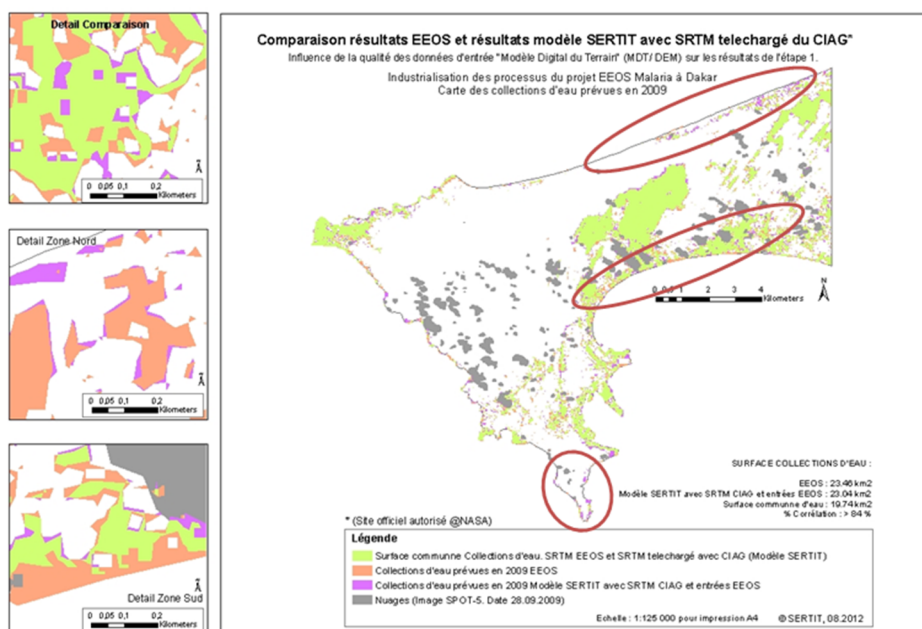


La validación de la etapa 1 EEOS MALARIA desarrollada para este proyecto, dio resultados equivalentes a los obtenidos en la versión experimental, excepto en las zonas donde se presentan problemas de borde (cerca de la zona costera) y de desplazamiento en la zona central, efectos ligados a la versión de ArcGis 9.X y al clip utilizado para hacer la máscara de la zona del mar alrededor de Dakar.

6.2.2 Test 1 de la etapa 1. Origen du SRTM

Por otra parte, utilizando el SRTM del proyecto Urban Malaria y el SRTM obtenido del sitio CGIAR (sitio oficial autorizado por la @NASA), Se obtuvieron resultados (figura 39), con una superficie común total de 19.74 Km² y un porcentaje de correlación superior al 84 %:

Figura 39. Comparación de resultados proyecto EEOS, con entrada de SRTM del Proyecto Urban Malaria y el SRTM descargado del sitio CGIAR (Sitio oficial de la NASA)⁷



Este resultado presenta problemas de borde en la zona costera, como se vio en el caso precedente; pero en este caso, es debido principalmente al clip de máscara utilizado para cortar el área del mar alrededor de Dakar y a las expresiones utilizadas para el re-echantillado (re-muestreo) de 90 m a 10 m en el SRTM del proyecto Urban Malaria.

Para el proceso de industrialización se utilizaron los lineamientos descritos en las obras consagradas a la teledetección, como es el caso de los autores Caloz et Collet [2001], para los procesos de re-echantillado de SRTM CGIAR. Lo que permite una mejor calidad de los datos y menos pérdida de información por pixel.

En lo concerniente a los resultados obtenidos con las entradas SRTM/INSAR ENVISAT, SRTM/DTED Defensa ie SAR Óptico, se puede remarcar que los efectos de borde están presentes en la zona costera norte, diferencias de borde en la zona Ilot Alter (W del puerto) y Pikine.

Para terminar, el análisis SRTM/ASTER Versión 2, presenta diferencias de borde fuertemente marcadas en la costa Norte.

Los mapas relacionados con los test de calidad de los datos de entrada de DEM – MNS se presentan en el anexo C.

⁷ <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

7. CONCLUSION

La industrialización de las tres etapas descritas generan un modelo que produce mapas: a) de superficies de agua propicias para la producción larval, b) de probabilidad de producción larval y, c) de probabilidad de riesgo entomológico de paludismo en medio urbano.

El protocolo experimental puesto en marcha por Vanessa Machault, es conservado y las etapas son optimizadas. Esta optimización se hizo mediante la estructuración de tareas inicialmente individuales, permitiendo un valor agregado en performance y conservando la calidad/precisión de los resultados. Además, el nuevo modelo de producción es capaz de integrar las imágenes a Muy Alta resolución THR-VHR.

Adicionalmente, el modelo optimizado permite la producción de mapas de riesgo entomológico de frecuencia diaria, semanal, mensual o anual, en tiempos cortos de cálculo y sin limitación de mapas a producir; asegurando así su aplicación a cualquier periodo de análisis y la continuidad del control de la enfermedad.

De igual manera, con este modelo industrializado y utilizando únicamente las cadenas de tratamiento desarrolladas en ArcGIS 10, fue alcanzada una significativa reducción de tiempo de cálculo. Para las etapas 1 y 2 optimizadas, el tiempo de cálculo se redujo a 40 minutos (de un tiempo inicial de 1h30m con el modelo experimental). En la etapa 3, en comparación con el modelo experimental, se logró una reducción de 19 horas y esto para un tiempo de cálculo de 24 horas con el modelo experimental, (es decir de 24 horas de cálculo, se pasó a solo 5 horas).

Este beneficio de tiempo, en particular a nivel de la etapa 3, permite la explotación plena y completa del modelo.

La serie temporal (mapas) producidos para la estación de lluvias del año 2009 (julio a noviembre) en Dakar, ilustran la evolución de la agresividad de los mosquitos anofeles. Este resultado no había sido producido con el modelo experimental. Además, gracias a la herramienta industrializada, es posible analizar la transferibilidad del modelo sobre la ciudad de N'Djamena (Tchad).

Así, el proyecto realizado ha cumplido los objetivos. Asimismo, gracias a la disponibilidad de esta herramienta, fue posible validar la influencia de la calidad de los datos de entrada en la cadena de producción. Estos trabajos fueron esencialmente aplicados sobre uno de los elementos clave del modelo experimental, los modelos de superficie (MNS/DEM).

La experimentación se hizo sobre 4 modelos DEM de génesis diferente (en total 6 si se toma en cuenta el origen). Los resultados obtenidos (predichos) presentan un grado significativo de alarma, porque muestra, que en función del MNS/DEM utilizado, las superficies de agua predichas varían en cerca de un 56%.

La principal acotación que se puede hacer luego de estos test, es que se debe tener una fuerte atención sobre el MNS explotado, sabiendo que el modelo experimental fue

desarrollado sobre la base del SRTM. Todo cambio de la entrada MNS – DEM, necesita una re-calibración del modelo.

Durante este análisis, surgió la observación del peso considerable acordado al DEM, en la expresión matemática utilizada. En efecto, el modelo está desarrollado a partir de datos SRTM sobre la ciudad de Dakar, que posee altitudes cercanas al nivel del mar (0 a 67 m), y la expresión matemática dentro del modelo está ligada a un factor de altitud.

¿Cómo debe ser aplicada esta entrada para zonas al interior, tales que N'Djamena situada en una región relativamente plana con una altitud promedio de 300 metros?. La solución más sencilla, ver trivial, consiste a un ajuste relativo al nivel del mar para el sector de N'Djamena. Sin embargo, para llegar a este “pseudo” nivel del mar, la selección del valor promedio a restar es muy delicada. En efecto, para una variación en la altitud de referencia, un pequeño desfase de 2 metros (ver “pseudo” nivel del mar a cero o a dos metros), conlleva al doble de resultado de las superficies de agua predichas. Esto muestra la fuerte sensibilidad del modelo a este factor bruto de altitud.

Para articular una transferibilidad del método EEOS Malaria, será necesario liberarse de este parámetro de altitud y colocar en su lugar, un parámetro que dependa de las variaciones de altitud que ponga en evidencia las zonas de depresión del tipo Índice de Beven-Kirby.

En consecuencia de este trabajo y los test realizados, aparecen perspectivas en términos de reforzamiento de la robustez del modelo. Una primera posibilidad de mejoramiento puede ser la explotación de la superposición de polígonos, permitiendo una ponderación más fina. Por otra parte, a propósito de los datos de entrada, ver el caso de DEM o la formulación de su explotación, trabajos pueden ser emprendidos sobre los datos de temperatura de superficie, o de pluviometría, en la forma de integrar las series temporales diarias discontinuas.

Los test realizados en el marco de este proyecto de fin de estudios, estuvieron situados en zonas de la banda saheliana con un modelo experimental establecido para la ciudad de Dakar específicamente para el mosquito anofeles; es necesario reflexionar sobre la transferibilidad del modelo: ¿Cuáles serán las adaptaciones a tener en cuenta para explotar este modelo en otras especies de mosquitos o en otros ambientes o regiones (tropicales por ejemplo)?.

Para terminar, la estructuración inteligente: de datos obtenidos de la teledetección, del trabajo de terreno y los SIG permiten un progreso significativo en materia de predicción y cartografía de riesgo en el mundo.

¿Qué posibilidades hay en la aplicación de esta metodología en Colombia?:

En Colombia, más de 25 millones de personas que habitan en zonas urbanas están en riesgo de transmisión de dengue [OPS-OMS, 2010]) y más de 10 millones están en riesgo transmisión de paludismo. De esta manera, una adaptación del Modelo EEOS Malaria al medio ambiente y condiciones socioeconómicas de Colombia, permitirá crear un modelo

de generación de cartografía de zonas de riesgo de paludismo y/o dengue en medio urbano.

Por otra parte, los sensores remotos o la teledetección (base de este proyecto) son útiles en diferentes campos de la ingeniería, como por ejemplo, para generar una distribución urbana eficiente y acorde con los recursos naturales, uso del suelo, economía, etc. de cada lugar. La optimización de proyectos a gran escala: proyección y construcción de proyectos hídricos, exploración y explotación de recursos minerales, protección de recursos ambientales, la planeación para el control y respuesta rápida ante catástrofes, etc., abriendo así un panorama y un conocimiento que Colombia debe apropiarse con el fin de perfeccionar su estrategia de desarrollo.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Abeku TA, Hay SI, Ochola S, Langi P, Beard B, DeVlas SJ, Cox J, 2004. Malaria epidemic early warning and detection in African highlands. *Trends Parasitol* 20, 400-405.
2. Anyamba, A., Linthicum, K. J., Mahoney, R and Tucker, C. J, 2002. Mapping Potential Risk of Rift Valley fever outbreaks in African Savannas using Vegetation Index Time Series Data. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing: Special Issue – Remote Sensing and Human Health*, 68(2): 137-145
3. Awono-Ambéné HP, Robert V: Survival and emergence of immature *Anopheles arabiensis* mosquitoes in market-gardener wells in Dakar, Senegal. *Parasite* 1999, 6:179-184.
4. Beck LR, Lobitz BM, Wood BL, 2000. Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities. *Emerg Infect Dis* 6: 217–226.
5. -----, Rodríguez MH, Dister SW, Rodríguez AD, Rejmánková E, Ulloa A, et al. Remote sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *Am J Trop Med Hyg* 1994;51: p. 271-280
6. Bogh C, Lindsay SW, Clarke SE, Dean A, Jawara M et al. 2007. High spatial resolution mapping of malaria transmission risk in the Gambia, west Africa, using LANDSAT TM satellite imagery. *Am J Trop Med Hyg* 76(5): 875-881.
7. Byron Wood, Robert Washino, Louisa Beck, Kathy Hibbard, Mike Pitcairn, Donald Roberts, Eliska Rejmankova, Jack Paris, Carl Hacker, Joan Salute, Paul Sebesta, Llewellyn Legters, Distinguishing high and low anopheline-producing rice fields using remote sensing and GIS technologies, *Preventive Veterinary Medicine*, Volume 11, Issues 3–4, December 1991, Pages 277-288, ISSN 0167-5877, [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80014-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80014-5). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587705800145>)
8. Caloz, Régis et Collet, Claude, 2001. Précis de télédétection ; vol. 3 : Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université de Québec et Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy (Québec), xvi + 386 p., 154 fig., 30 tabl. ISBN 2-7605-1145-6
9. Crave A. et Gascuel-Odoux C., 1997. The influence of topography on time and space distribution of soil surface water content, *Hydrological Processes*, Volume 11, Issue 2, 203.
10. CNES. Lafaye Murielle. La “Télé-épidémiologie” une aide à la santé dans un contexte de changement climatique. Consultado en 2012 del enlace: http://meteoclimat.fr/wp-content/uploads/JS2011_LAFAYE.pdf
11. -----, Vignolles, C, 2012. TÉLÉ-ÉPIDÉMIOLOGIE : Surveiller les épidémies selon les caractéristiques des territoires (Description tele-epidemiologie). Consultado en 2012 del enlace: <http://www.afd.fr/home/presse-afd/evenements/des-idees-pour-developpement/compte-rendu-conference>
12. CONAE, 2011. Satellite data as environmental input in modeling population dynamics and prevalence of rodent-borne disease. Consultado en 2011 del enlace: <http://www.conae.gov.ar/eng/aplicaciones/aqui/FHAIng.pdf>

13. Dambach P, Sie A, Lacaux JP, Vignolles C, Machault V, Sauerborn R, 2009. Using high spatial resolution remote sensing for risk mapping of malaria occurrence in the Nouna district, Burkina Faso. *Glob Health Action* 2.
14. De La Rocque, S., V. Michel, et al. 2004. Remote sensing and epidemiology: examples of applications for two vector-borne diseases. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 27 (5): 331-341.
15. Eisele T, Keating J, Swalm Ch, Mbogo Ch-M, Githeko A-K, Regens J-L, Githure J-I, Andrews L et Beier J-C, 2003. Linking field-based ecological data with remotely sensed data using a geographic information system in two malaria endemic urban areas of Kenya, *Malaria Journal* 2003, 2:44, BioMed Central
16. ESA. Mapping the deadly mosquito. Iniciativa VECMAP. Consultado en el enlace: http://www.esa.int/Our_Activities/Technology/Space_for_health/Disease-Risk_Disease-Vector_Mapping_1st_17th_Oct._workshops
17. Gadiaga L, Machault V, Pagès F, Gaye A, Jarjaval F, Godefroy L, Cissé B, Lacaux JP, Sokhna Ch, Trape JF, Rogier C, 2011. Conditions of malaria transmisión in Dakar from 2007 to 2010. *Malaria Journal* 2011 10:312 doi:10.1186/1475-2875-10-312
18. Gemperli, A., Sogoba, N., Fondjo, E., Mabaso, M., Bagayoko, M., Briët, O. J. T., Anderegg, D., Liebe, J., Smith, T. and Vounatsou, P, 2006. Mapping malaria transmission in West and Central Africa. *Tropical Medicine & International Health*, 11: 1032–1046. doi: 10.1111/j.1365-3156.2006.01640.x
19. Gething Peter W, Anand P Patil, David L Smith, Carlos A Guerra, Iqbal RF Elyazar, Geoffrey L Johnston, Andrew J Tatem, Simon I Hay - Malar J, 2011. A new world malaria map: *Plasmodium falciparum* endemicity in 2010. 10: 378. Published online 2011 December 20. doi: 10.1186/1475-2875-10-378
20. Han, S. C., Yeo, I. Y., Alsdorf, D., Bates, P., Boy, J. P., Kim, H., Oki, T. & Rodell, M, 2010. Movement of Amazon surface water from time-variable satellite gravity measurements and implications for water cycle parameters in land surface models, *Geochem. Geophys. Geosyst*, 11: Q09007 doi: 10.1029/2010GC003214.
21. Hay SI, Snow RW, Rogers DJ: Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 1998, 92:12-20.
22. -----, -----: The Malaria Atlas Project: developing global maps of malaria risk. *PLoS Med* 2006, 3:e473
23. -----, Guerra CA, Tatem AJ, Atkinson PM, Snow RW, 2005. Urbanization, malaria transmisión and disease burden in Africa. *Nat Rev Microbiology* 3: 81–90
24. Kalluri, S., Gilruth, P., Roger, D. & Szczur, M, 2007. Surveillance of arthropod vector borne infectious diseases using remote sensing techniques: A Review. *PLoS pathogen* 3(10): e116.
25. Kiang Richard, 2009. Malaria Modeling & Vigilancia. Benchmark report. NASA Goddard Space Flight Center. Consultado en 2012 del enlace: http://appliedsciences.nasa.gov/pdf/09Kiang_malaria_benchmark_report.pdf
26. Linthicum KJ, Anyamba A, Tucker CJ, Kelley PW, Myers MF, Peters CJ, 1999. Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemics in Kenya. *Science* 285:397-400.

-
27. -----, C. L. Bailey, et al, 1987. Detection of Rift Valley fever viral activity in Kenya by satellite remote sensing imagery. *Science* 235(4796): 1656-9.
 28. Mcfeeters, S.K, 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17:1425-1432.
 29. Machault V, Pagès F, Rogier C: Apport de la Teledetección à la lutte contre le paludisme. *Revue de medecine tropicale, Med Trop* 2009; 69: 151-159.
 30. -----, Orlandi-Pradines E, Michel R, Pagès F, Texier G, Pradines B, Fusaï T, Boutin J-P, Rogier C: Remote sensing and malaria risk for military personnel in Africa. *J Travel Med* 15(4):216-20 (2008), PMID 18666920.
 31. -----, Vignolles C, Pagès F, Gadiaga L, Tourre YM, et al, 2012 Risk Mapping of *Anopheles gambiae* s.l. Densities Using Remotely-Sensed Environmental and Meteorological Data in an Urban Area: Dakar, Senegal. *PLoS ONE* 7(11): e50674. doi:10.1371/journal.pone.0050674
 32. -----, -----, Pagès F, Gadiaga L, Gaye A, Sokhna C, Trape J-F, Lacaux J-P, Rogier C: Spatial heterogeneity and temporal evolution of malaria transmission risk in Dakar, Senegal, according to remotely sensed environmental data. *Malar J* 2010, 9:252
 33. ----- (2011, 16 juin). Utilisation de données environnementales et météorologiques de Teledetección pour la cartographie du risque de paludisme en Milieu Urbain. Consultado del enlace: <http://www.obs-mip.fr/actualites/Agenda/paludisme>
 34. Machault Vanessa: Utilisation de données d'observation de la terre par satellite pour l'évaluation des densités vectorielles et de la transmission du paludisme [Utilización de datos suministrados por los satélites de Observación de la Tierra para la evaluación de densidades vectoriales y la transmisión del paludismo] Marseille: Université de la méditerranée, Thèse de doctorat, Faculté de médecine de Marseille; 2010.
 35. MARA/ARMA, 1998 Vers un Atlas du Risque de la Malaria en Afrique. Premier rapport technique de la collaboration MARA/ARMA. MARA/ARMA, 771, Umbilo Road, Congella, Durban, South Africa. 33 p.
 36. -----, 1998. Towards an atlas of malaria risk in Africa: First technical report of the MARA/ARMA collaboration. Durban, South Africa 1998.
 37. Mareau S, 2003. Inventaire préliminaire des zones humides sur un territoire étendu : méthodologie et application sur le bassin versant du SAGE Mayenne, Université d'Angers, Rapport de DESS « Gestion des zones humides », 44.
 38. Masuoka PM, Claborn DM, Andre RG, Nigro J, Gordon SW, Klein TA, Kim H-C: Use of IKONOS and Landsat for malaria control in the Republic of Korea. *Rem Sens Environ* 2003, 88:187-194.
 39. NASA. Spotting infection. Earth Observatory of NASA. Consultado en 2012 del enlace: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Malaria/malaria_4.php
 40. ----- The epidemiological uses of remote sensing and satellites. Proceedings of the 4th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, 1985. Disponible en el enlace: www.sciquest.org.nz

41. ----- . NASA Study Predicted Outbreak of Deadly Virus. Consultado en 2012 del enlace: http://www.nasa.gov/topics/earth/features/riftvalley_fever.html
42. OMS. Estadísticas Sanitarias mundiales 2011. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2011. WHO Press. ISBN 978 92 4 356419 7. 170 p. Descargado del sitio internet : www.who.int/malaria
43. ----- . Paludisme. Paludismo. Consultado en junio de 2012 del enlace internet: http://www.who.int/malaria/areas/epidemics_emergencies/fr/ Complementado con información del enlace internet: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/es/>
44. ----- (WHO). World Malaria Report: 2011. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2011. WHO Press. ISBN: 9789241564403. 278 p. Descargado del sitio internet : www.who.int/malaria
45. Omumbo JA, Hay SI, Goetz SJ, Snow RW, Rogers DJ, 2002. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature* 415, 710-715.
46. OPS/OMS. Guía para la Atención Clínica Integral Del Paciente Con Dengue. Plan Nacional de Salud Pública. 2010. Consultado del enlace: <http://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Gu%C3%ADa%20para%20la%20atenci%C3%B3n%20cl%C3%ADnica%20integral%20del%20paciente%20con%20dengue.pdf>
47. OPS/OMS. Malaria en Colombia. 2012. Consultado del enlace : <http://www.who.int/countries/col/en/>
48. Pope, K. O., E. J. Sheffner, et al, 1992. "Identification of central Kenyan Rift Valley Fever virus vector habitats with landsat TM and evaluation of their flooding status with airborne imaging radar." *Remote Sensing of Environment* 40(3): 185-196.
49. Pope, K.O., Rejmankova, E., Savage, H.M., Arredondo-Jimenez, J.T., Rodriguez, M.H., and Robert, D.R., 1994. Remote sensing of tropical wetlands for malaria control in Chiapas, Mexico. *Ecological Application* 4(1): pp. 81-90.
50. RBM, OMS 2012, Roll Back Malaria, OMS. Progress & Impact Series. Defeating malaria in Asia, the Pacific, Americas Middle East and Europe. Number 9, November 2012. Consultado en el enlace: <http://www.rbm.who.int/ProgressImpactSeries/docs/report12.pdf>
51. Rejmánková E, Savage H, Rodríguez M, Roberts D, Rejmanekm. 1992. Aquatic vegetation as basis for classification of Anopheles albimanus larval habitats. *Environ Entomol* 21: 598-603.
52. -----, -----, Rejmanek M, Roberts D, & Arredondo-Jimenez J. 1991. Multivariate analysis of relationships between habitats, environmental factors and occurrence of mosquito larvae Anopheles albimanus and An. pseudopunctipennis in Chiapas, Mexico. *J Appli Ecol.* 28:827-841.
53. -----, Roberts, D.R., Pawley, A., Manguin, S. and Polanco, J., 1995. Predictions of adult Anopheles albimanus densities in villages based on distance to remotely sensed larval habitats. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 53: p. 482.
54. Reounodji F., Tchouna W. et Banzhaf M., 2005. La sécurisation des systèmes pastoraux au Tchad : enjeux et éléments de réponse, IRAM, Montpellier, 108 p.

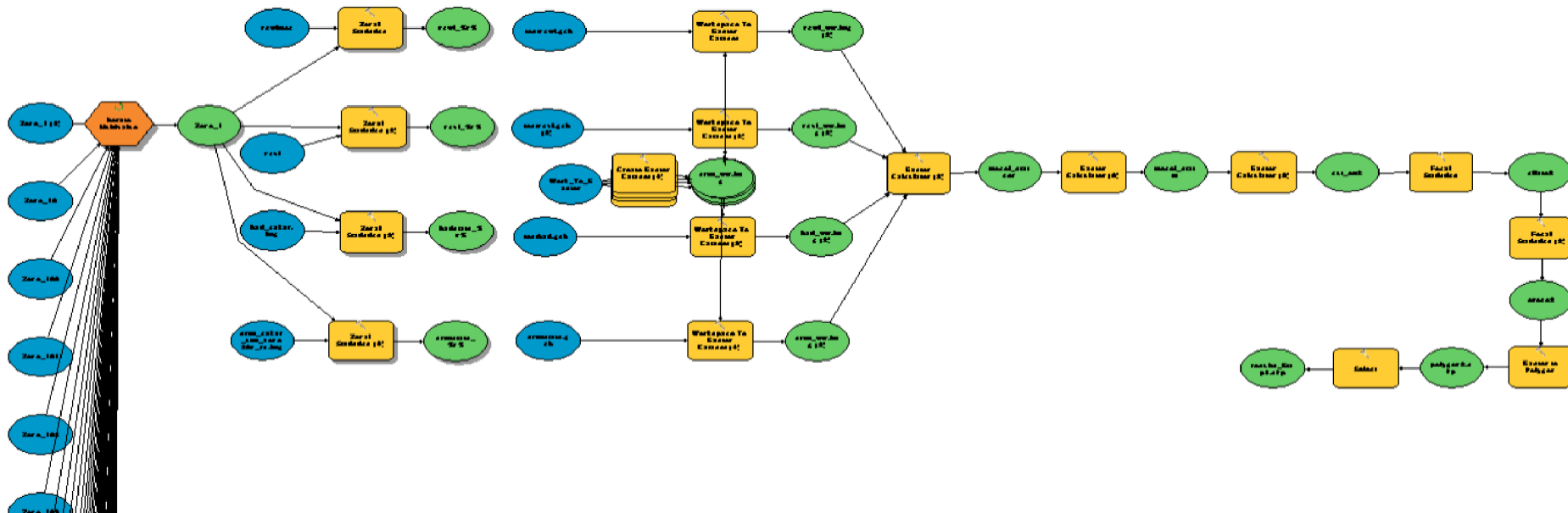
-
55. Remond A., 2006. Inventaire des zones humides potentielles et effectives dans le cadre de l'élaboration du SAGE Sarthe Amont, Université de Metz, rapport de Master GESMARE 2ème année, 74.
 56. Robert V, Macintyre K, Keating J, Trape JF, Duchemin JB, M W, Beier JC: Malaria transmission in urban sub-saharan Africa. *Am J Trop Med Hyg* 2003, 68:169-176.
 57. Roberts, D. R., Paris, J. F., Manguin, S., Harbach, R. E., Woodruff, R., Rejmankova, E., Polanco, J., Wulschleger, B. & Legters, L. J, 1996. Predictions of malaria vector distribution in Belize based on multispectral satellite data. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 54, 304–308.
 58. Rodríguez, A.D. Rodríguez, M.H., Hernandez, J.E., Dister, S.W., Beck, L.R., Rejmankova, E. & Roberts, D.R, 1996. Landscape surrounding human settlements and *Anopheles Albimanus* (Diptera: Culicidae) abundance in southern Chiapas, Mexico. *Journal of Medical Entomology* 33, 39–48.
 59. Rogers, DJ, Randolph SE, Snow RW, and Hay SI, 2002. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature* 415:710-15
 60. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., 1973, Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the T hird Earth Resources Satellite-1 Symposium* (Maryland: NASA SP-351) pp. 309 - 317.
 61. Salomonson Vincenr V, 2004. Overview of Terra and Aqua MODIS Status and Trends. Consultado en 2012 del enlace: http://modis.gsfc.nasa.gov/sci_team/meetings/200407/presentations/plenary/Salomonson.pdf
 62. Sefercik, U. 2006, «Accuracy assessment of digital elevation models derived from shuttle radar topography mission (srtm)», Master Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences Geodesy and Photogrammetry Engineering, Zonguldak Karaelmas University.
 63. SERTIT, 2012. SErvice Régional de Traitement d'Image et de Télédétection. Enlace de consulta: <http://sertit.u-strasbg.fr/>
 64. Sharma RR, Samarkoon L, Hazarika M, Kafle TP, 2007. Applicability of tropical rainfall measuring mission to predict floods on the Bagmati River. *J Hydrol Meteorol* 4(1):1–15
 65. Sipe NG and Dale P, 2003. Challenges in using geographic information systems (GIS) to understand and control malaria in Indonesia. *Malaria Journal* 2003, 2:36 doi:10.1186/1475-2875-2-36
 66. Smith DL, McKenzie FE, Snow RW, Hay SI, 2007. Revisiting the basic reproductive number for malaria and its implications for malaria control. *PLoS Biol*. In press.
 67. Teklehaimanot HD, Lipsitch M, Teklehaimanot A, Schwartz J: Weather-based prediction of *Plasmodium falciparum* malaria in epidemic-prone regions of Ethiopia I. Patterns of lagged weather effects reflect biological mechanisms. *Malar J* 2004, 3:41
 68. Trape JF, Pison G, Spiegel A, Enel C, Rogier C, 2002. Combating malaria in Africa. *Trends Parasitol* 18(5): 224-230.

-
69. Tran, A, 2004. Télédétection et épidémiologie : modélisation de la dynamique de populations d'insectes et application au contrôle de maladies à transmission vectorielle. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg 1.
70. -----, Poncon, N., Toty, C., Linard, C., Guis, H., Ferré, J., Lo Seen, D., Roger, F., de la Rocque, S., Fontenille, D., Baldet, T., 2008. Use of remote sensing to map larval and adult populations of anopheles species in Southern France. *Int. J. Health Geogr.* 7 (9).
71. Thomson MC, Connor SJ, Milligan P, Flasse SP, 1997. Mapping malaria risk in Africa: What can satellite data contribute?. *Parasitol Today.* 1997 Aug;13(8):313-8.
72. -----, Doblas-Reyes FJ , Mason SJ , Hagedorn R, Connor SJ, Phindela T, Morse AP, Palmer TN, 2006. Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature* 439, 576-579.
73. Tucker Compton J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8 (1979), pp. 127–150.
74. UMBI - University of Maryland Biotechnology Institute, Baltimore, MD and NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA. Satellites used to help predict deadly disease outbreaks. Release 00-36AR. Consultado en el enlace: http://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2000/00_36AR.html
75. Vignolles, C., Lacaux, J.-P., Tourre, Y.-M., Bigeard, G., Ndione, J.-A. Et Lafaye, M, 2009. Rift Valley fever in a zone potentially occupied by *Aedes vexans* in Senegal: dynamics and risk mapping. *Geospatial Health*, 3(2):211-220.
76. Wan Z., Li Z.-L., 1997, A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35, 980-996
77. Xu, H. 2006. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 3025–3033.
- **Referencias adicionales de proyectos relacionados:**
78. CDC Malaria Map Application, 2012. Consultado del enlace: <http://www.cdc.gov/malaria/map/>
79. EDENext, 2012. Consultado en 2012 del enlace: <http://www.edenext.eu/>
80. ESA, EPIDEMIO Proyecto, 2012. Consultado del enlace: http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet117/chapter4_bul117.pdf
81. ESA, VECMAP Proje, 2012. Consultado del enlace: <http://iap.esa.int/projects/health/vecmap>
82. ERiskMapper, 2012. Consultado del enlace: <http://www.isis-innovation.com/licensing/7705.html>
83. Map Malaria Project, 2012. Consultado del enlace: <http://www.map.ox.ac.uk/>

9. ANEXOS

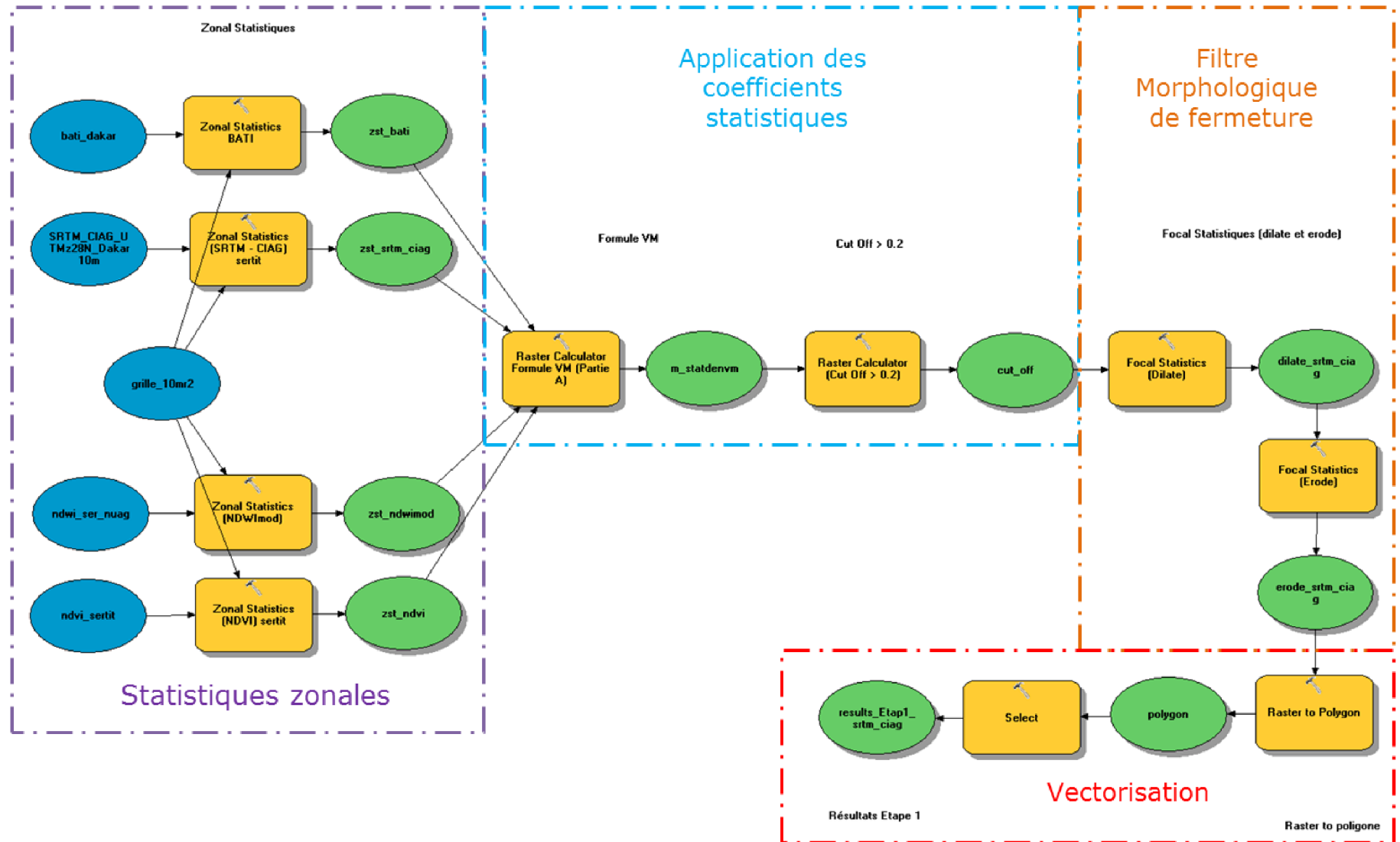
ANEXO A. CADENAS DE TRATAMIENTO DEL PROYECTO DE INDUSTRIALIZACIÓN EEOS MALARIA

- **Etapa 1.** Modelo de industrialización proyecto EEOS Malaria. Mapa de colecciones de agua.



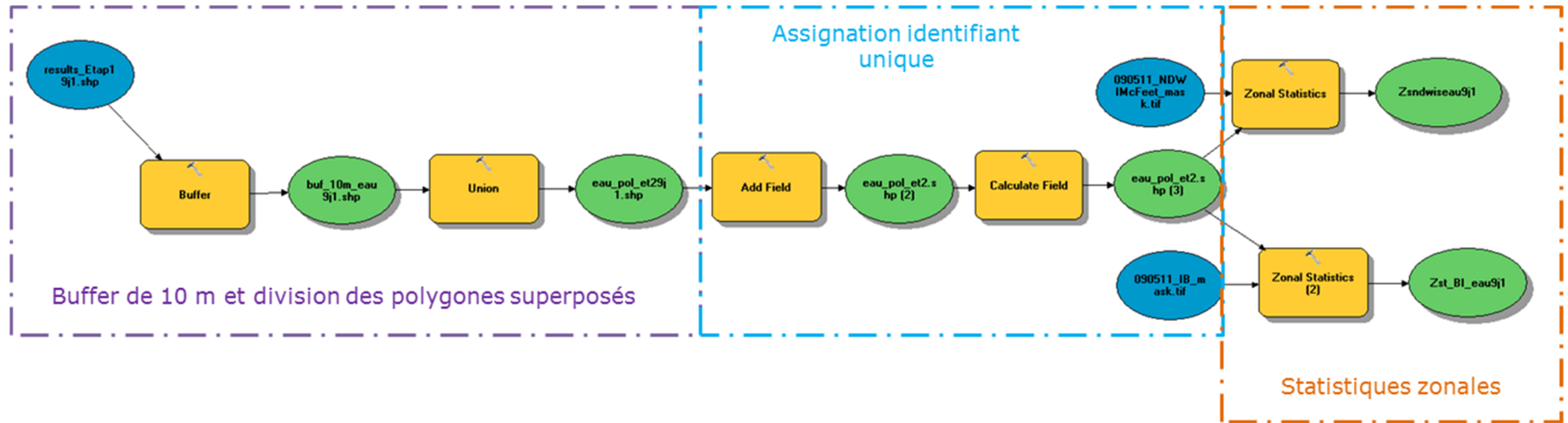
Cadena de tratamiento de la industrialización proyecto EEOS Malaria, etapa 1. Correspondiente a la predicción de colecciones o superficies de agua

- Etapa 1. Cadena de tratamiento luego de la primera optimización del modelo industrializado EEOS Malaria, para la predicción de superficies de agua para cada año.



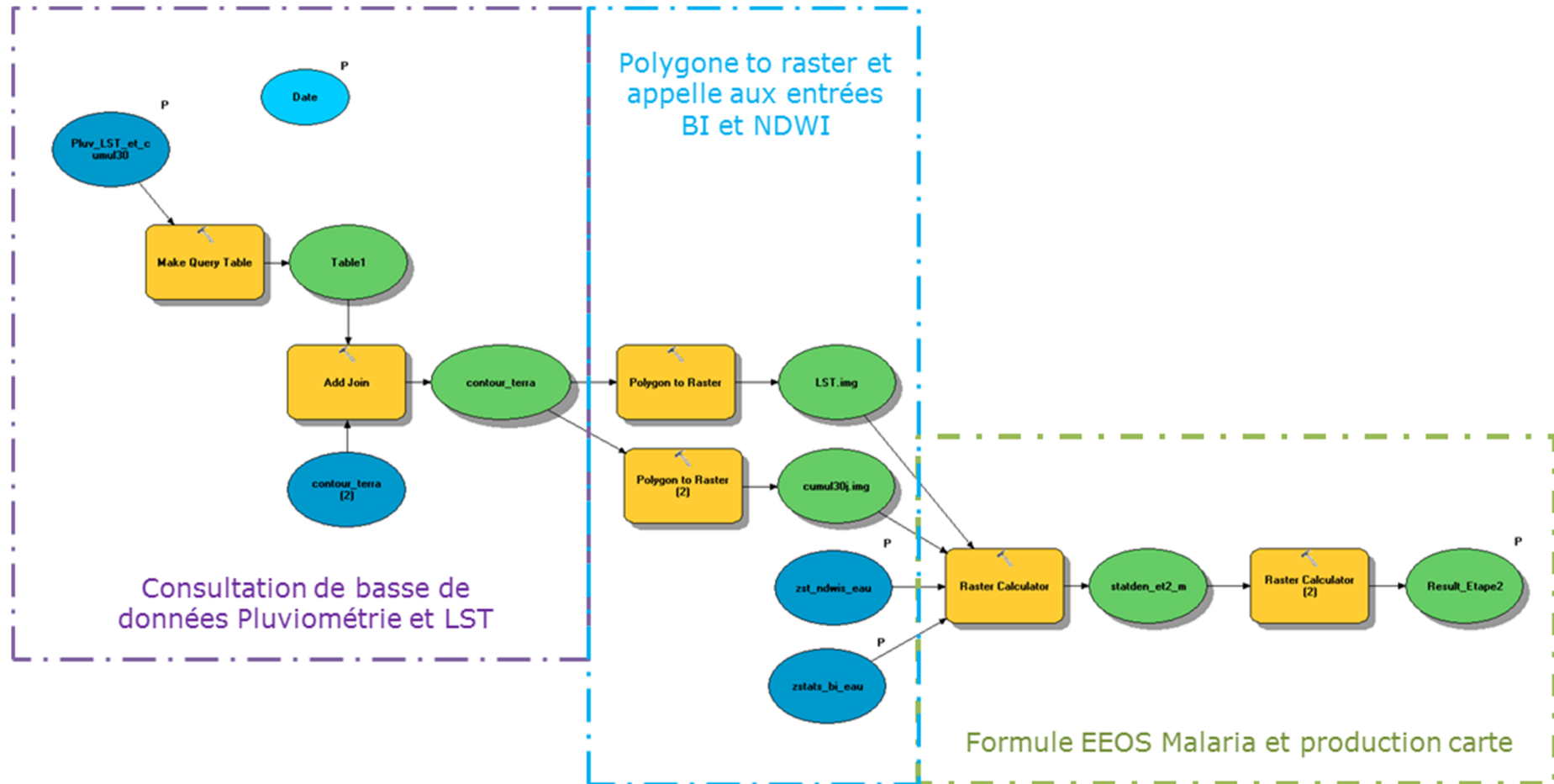
- **Etapa 2. Mapas de producción larvaria. Modelo industrializado EEOS Malaria**

A) Estadísticas zonales para las variables ecológicas por buffer, para cada polígono obtenido de la etapa 1.



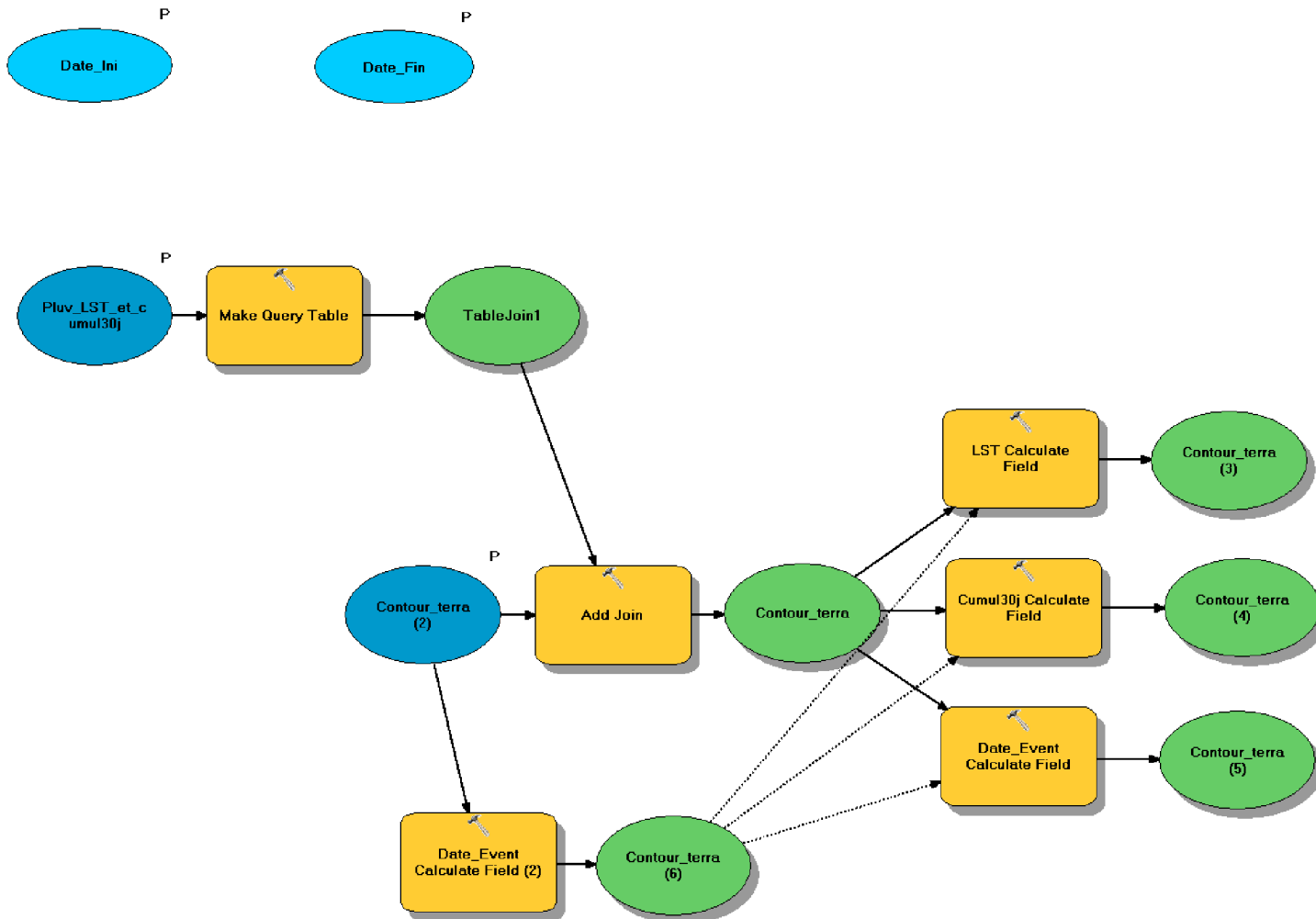
Etapa 2. Cálculo de estadísticas zonales para las variables ecológicas con un buffer (zona tampon) de 10 metros, aplicado a cada polígono de colección de agua obtenido de la etapa 1.

B) Etapa 2. Extracción de valores LST y acumulado de lluvias (Land surface Temperature y pluviometría de los 30 días anteriores a la fecha de análisis) y producción del mapa de producción larvaria para la fecha solicitada por el usuario.



Etapa 2. Extracción de valores acumulados de lluvia y LST para la fecha de análisis y creación del mapa de probabilidad de producción larval.

C) Etapa 2. Consulta de valores LST y de acumulado de lluvias para los 30 días de análisis, en la tabla de pluviometría y LST georeferenciada para la etapa 2. (Final_Etape_2_pour_Et_3a)



Parte C. Etapa 2. Consulta en la base de datos de los valores de lluvia y LST para el período de análisis. Modelo industrializado EEOS Malaria

Etapa 2. Creación de mapas de producción larvria para el período de análisis. (Final_Etape_2_pour_Et_3b)

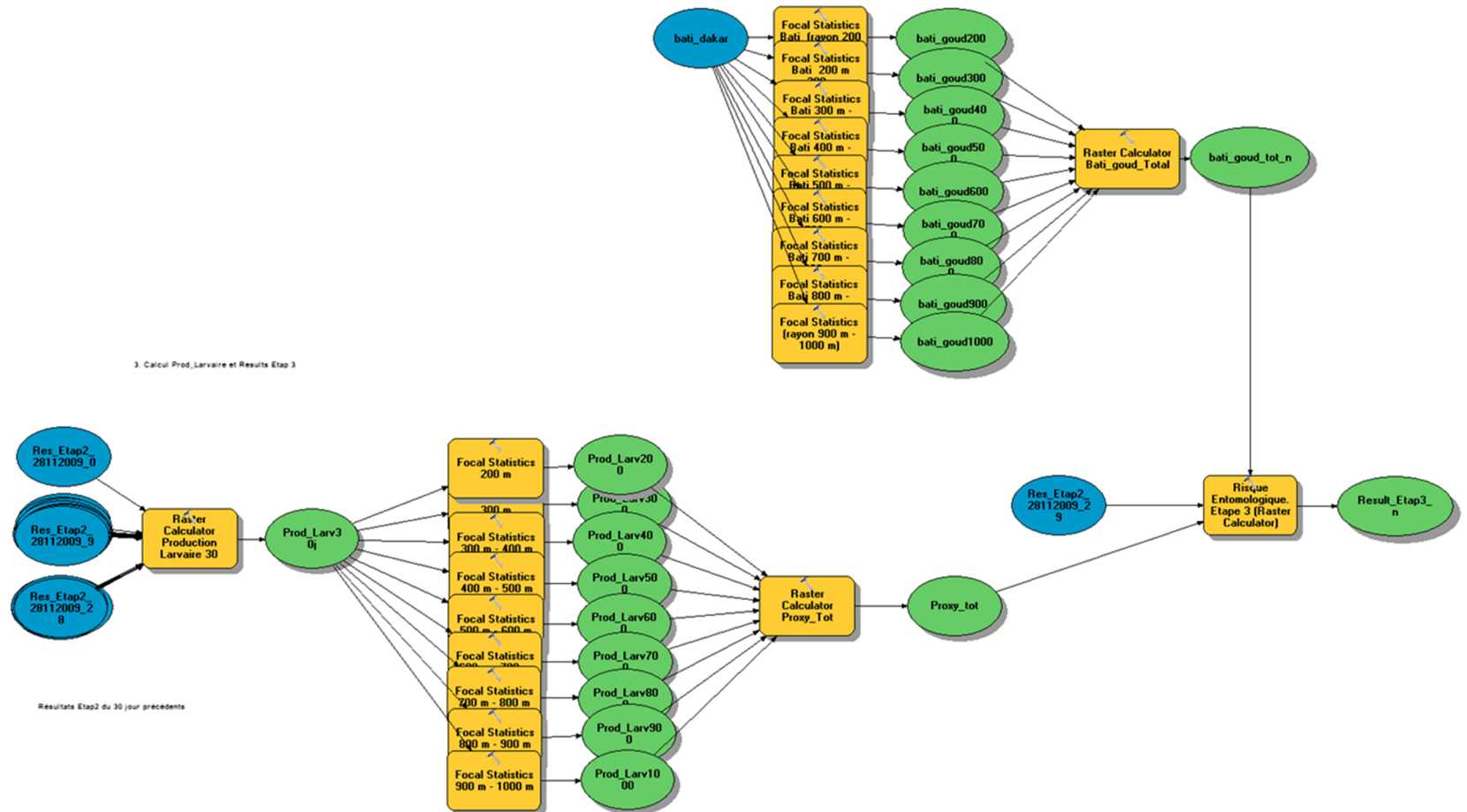


Parte D. Etapa 2. Creación de mapas de productividad larvria para el período de análisis. Proyecto EEOS Malaria

N.B. Este proceso puede ser aplicado para cualquier periodo de tiempo o cualquier número de mapas, es decir, mapas diarias, semanales, mensuales, anuales, permitiendo así un seguimiento y control de la evolución de la producción larvria de mosquitos anofeles vectores del paludismo.

- Etapa 3. Cálculo de riesgo entomológico de paludismo y producción de mapas de riesgo (agresividad anophélieenne)

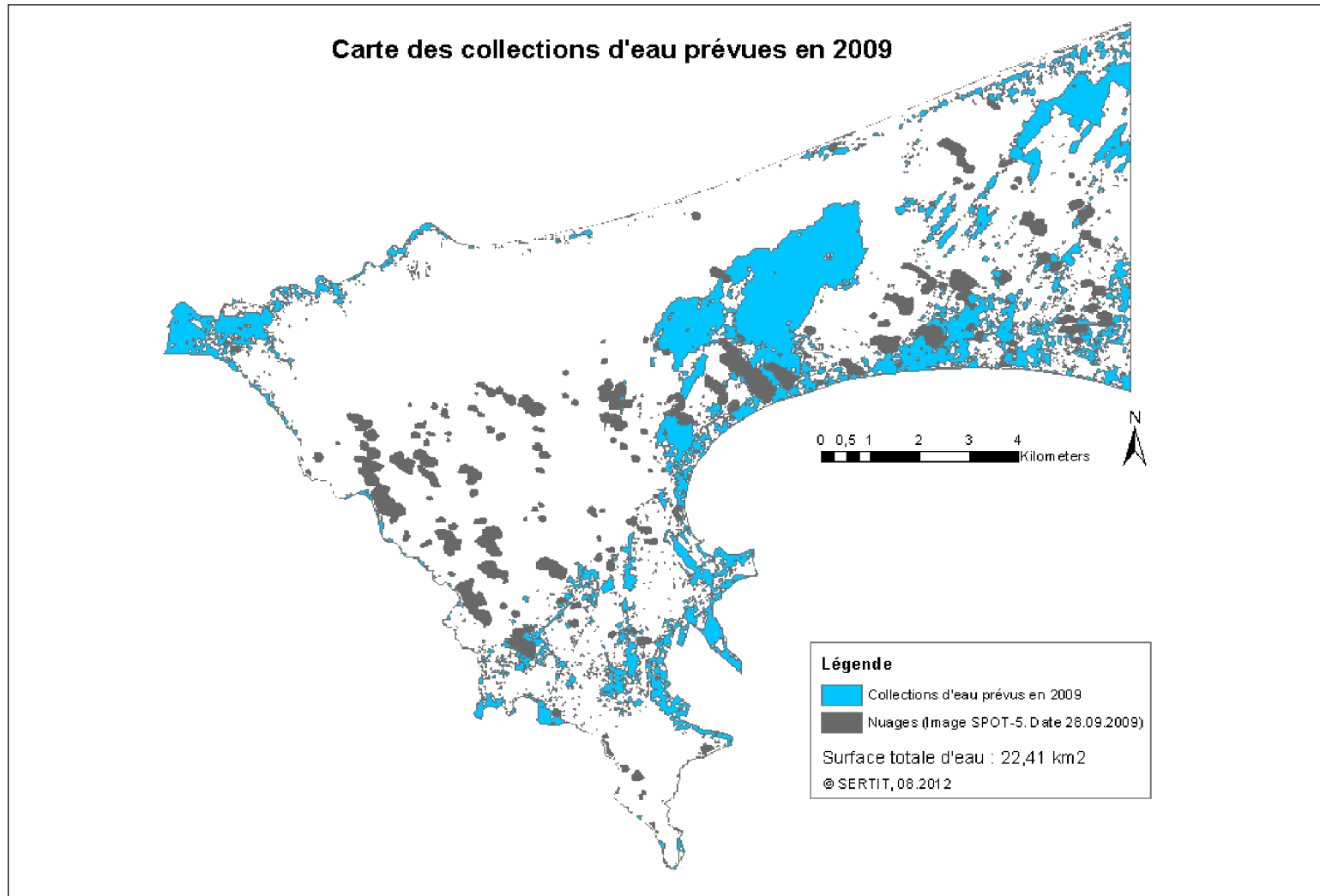
A) Parte final Etapa 3, cálculo de riesgo entomológico de paludismo urbano a Dakar. (Calcul_Results_Etape3)



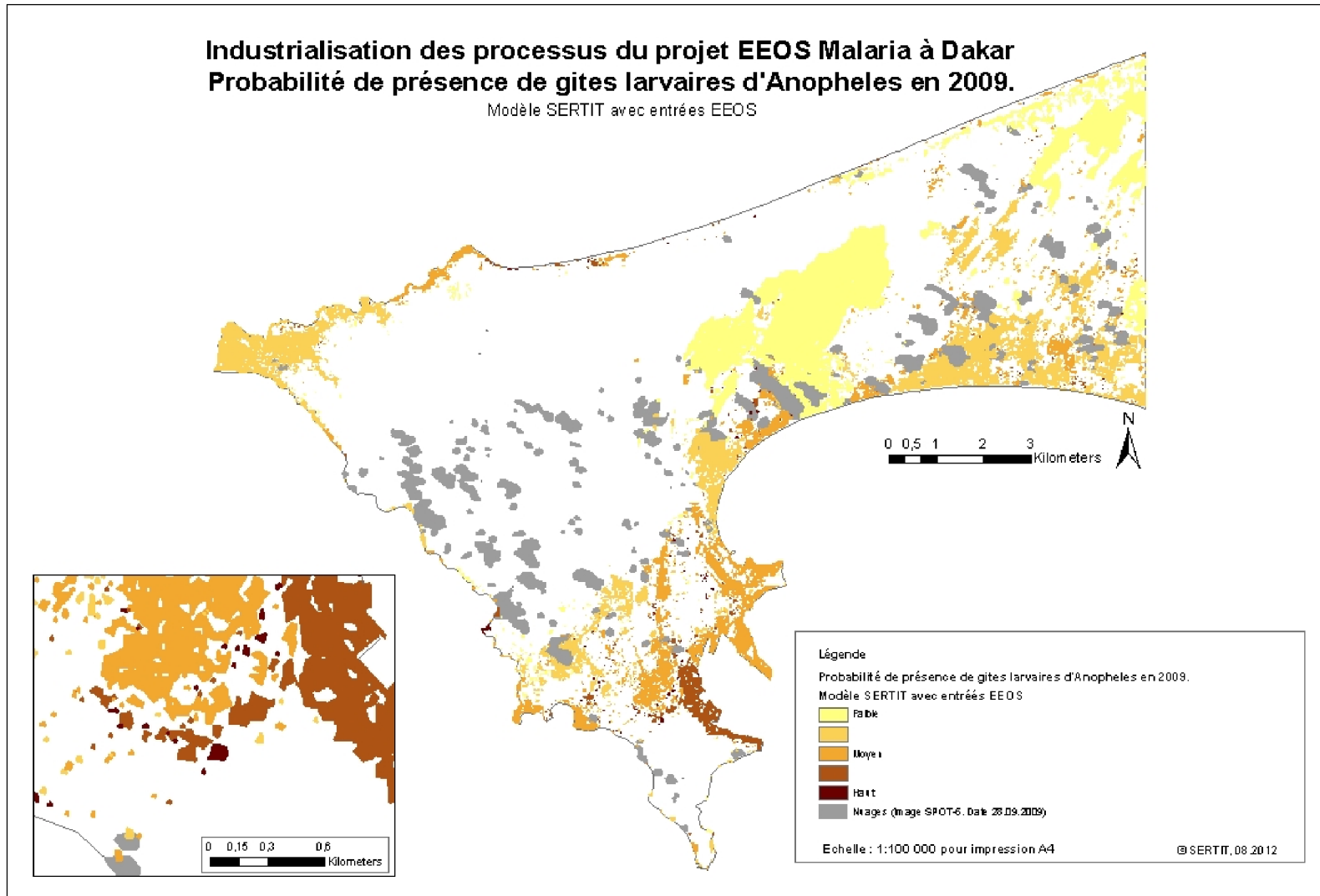
Etapa 3. Producción de mapas de riesgo entomológico para el período de análisis. Modelo industrializado EEOS Malaria.

N.B. Este proceso puede ser aplicado para cualquier periodo de tiempo o cualquier número de mapas, es decir, mapas diarias, semanales, mensuales, anuales, permitiendo así un seguimiento y control de la evolución del riesgo entomológico de paludismo urbano a Dakar.

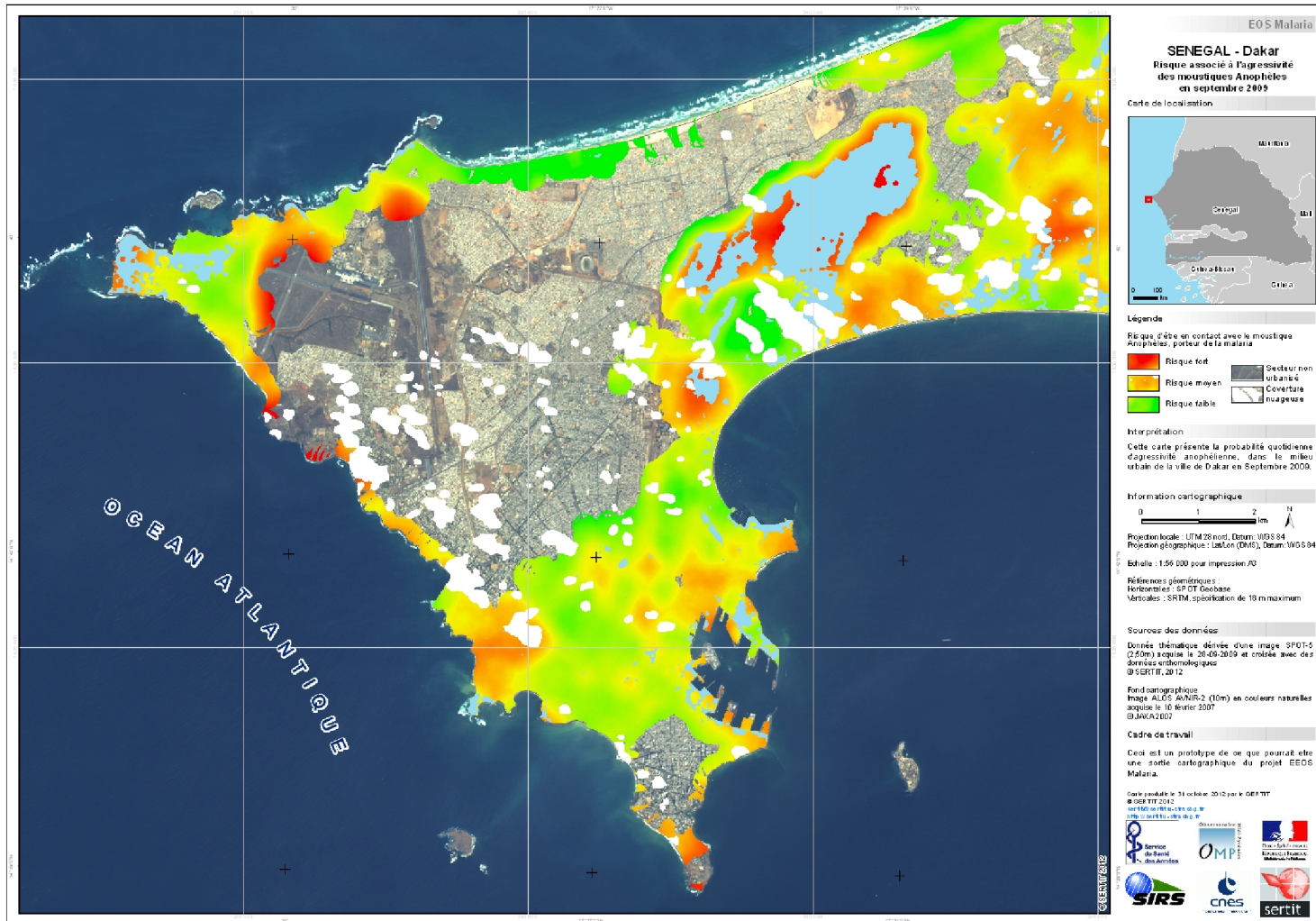
ANEXO B. MAPAS DE DAKAR (SENEGAL) Y N'DJAMENA (TCHAD) PRODUCIDOS CON EL MODELO INDUSTRIALIZADO
EEOS MALARIA



Mapa de superficies de agua previstas para el año 2009.



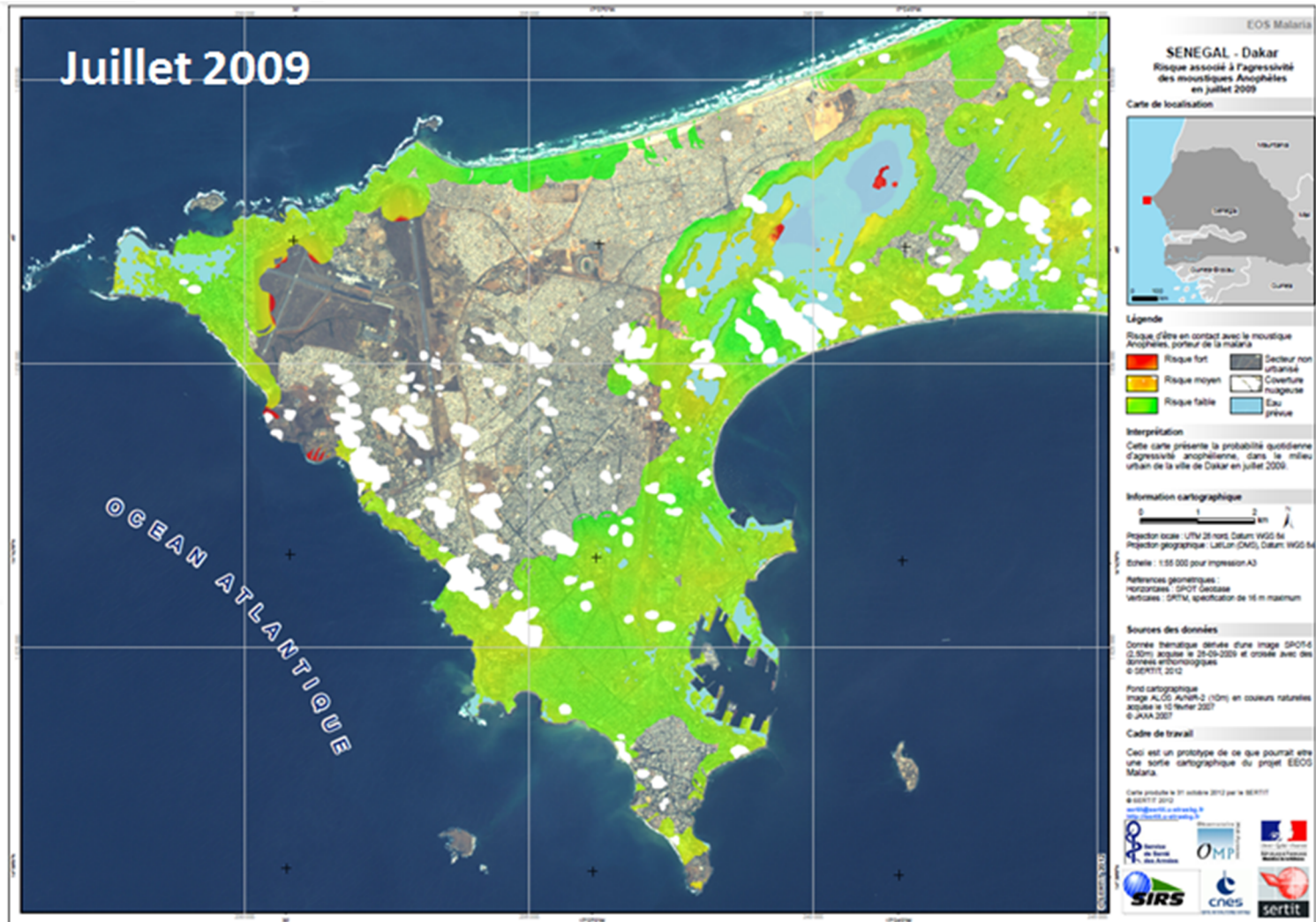
Mapa de probabilidad de producción larvaria, obtenido con el modelo industrializado EEOS Malaria. Predicción de la producción larvaria para el 28 de septiembre de 2009.



Mapa de riesgo entomológico asociado a la agresividad de los mosquitos Anofeles para el 28 de septiembre de 2009 a Dakar (Senegal). Resultado de la etapa 3, obtenido con el modelo industrializado EEOS Malaria.

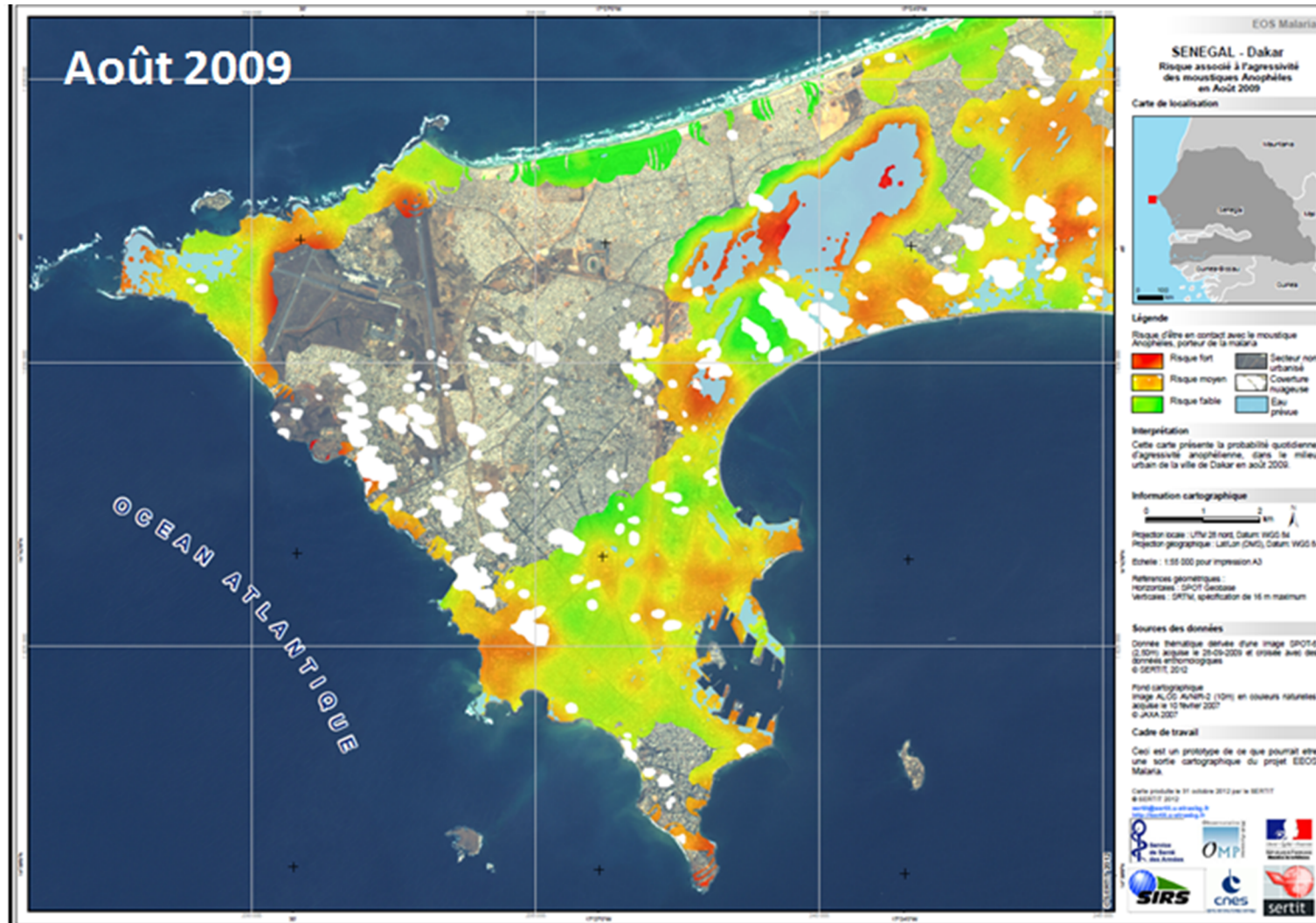
La escala de color de rojo a naranja, representa las zonas en alto riesgo, de naranja claro a amarillo, representa las zonas con riesgo medio y las zonas en verde corresponden a riesgo bajo. Los lugares donde no hay representación de color, "se presumen" como "ausencia de riesgo". Los polígonos en blanco, representan las nubes sobre la imagen de satélite original y las zonas en azul, son las colecciones de agua predichas para cada año.

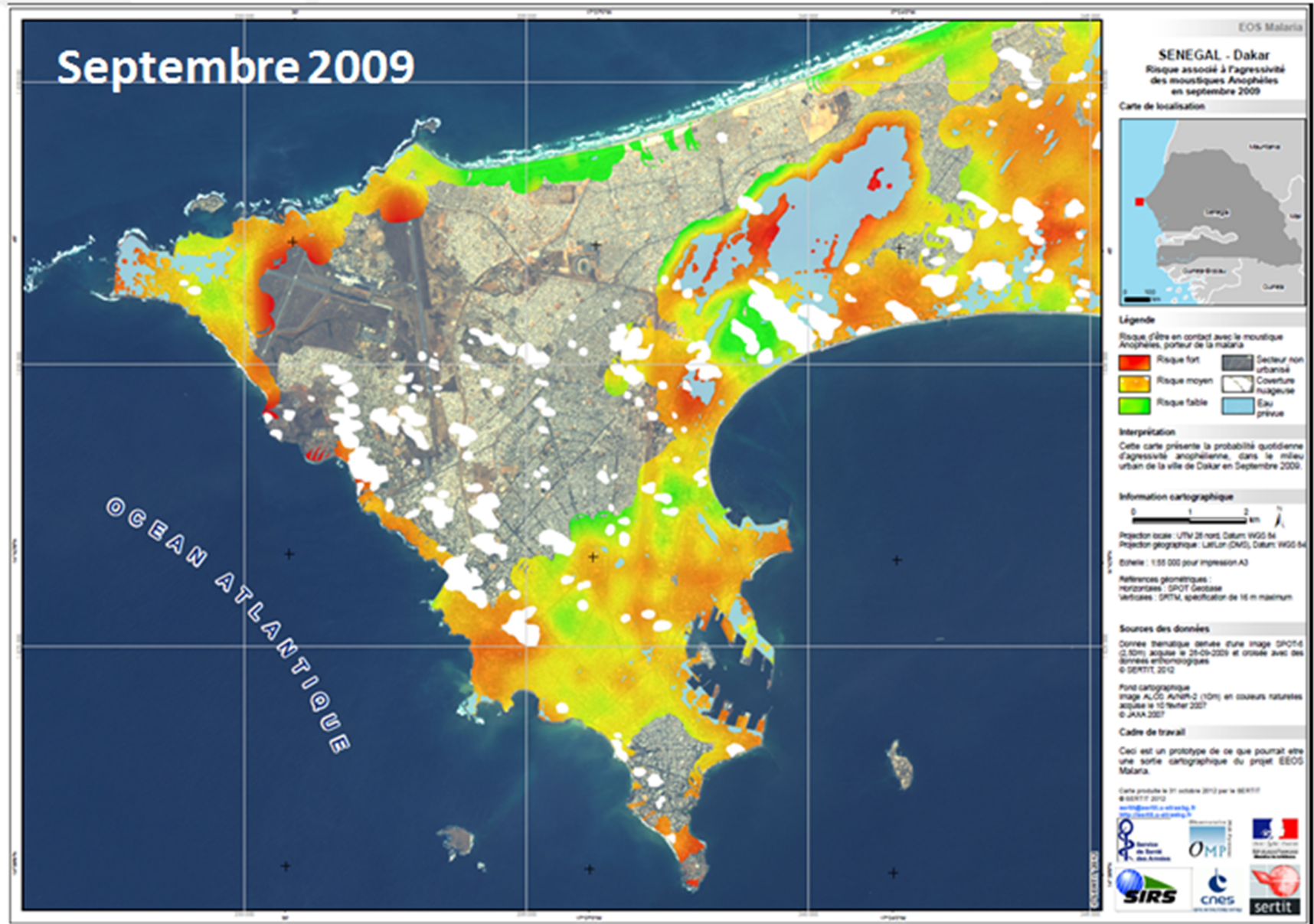
SERIE TEMPORAL PARA LA ESTACIÓN DE LLUVIAS EN EL AÑO 2009 (JULIO A NOVIEMBRE) EN DAKAR, MAPAS DE RIESGO ENTOMOLÓGICO PRODUCIDOS PARA EL 28 DÍA DE CADA MES

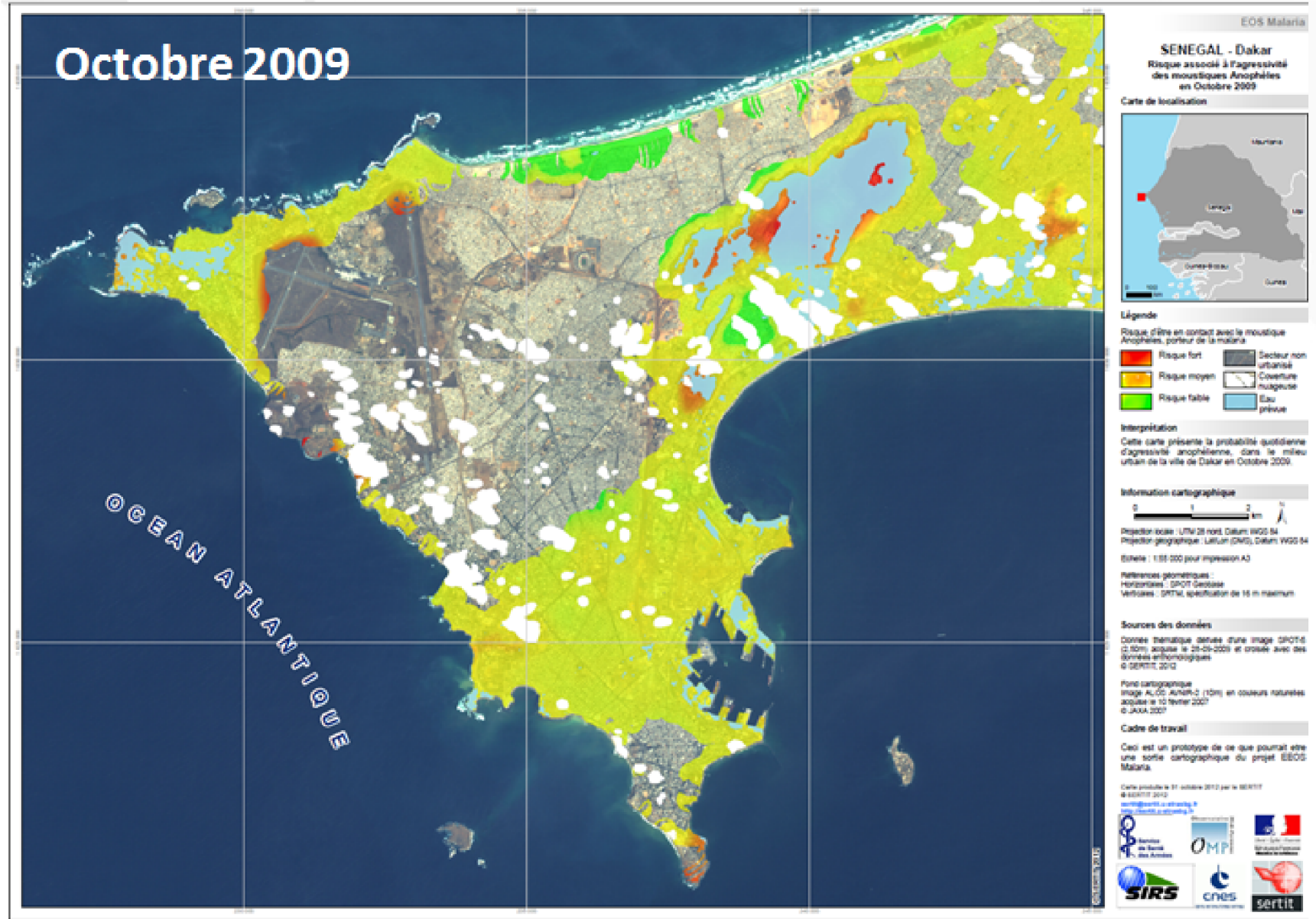


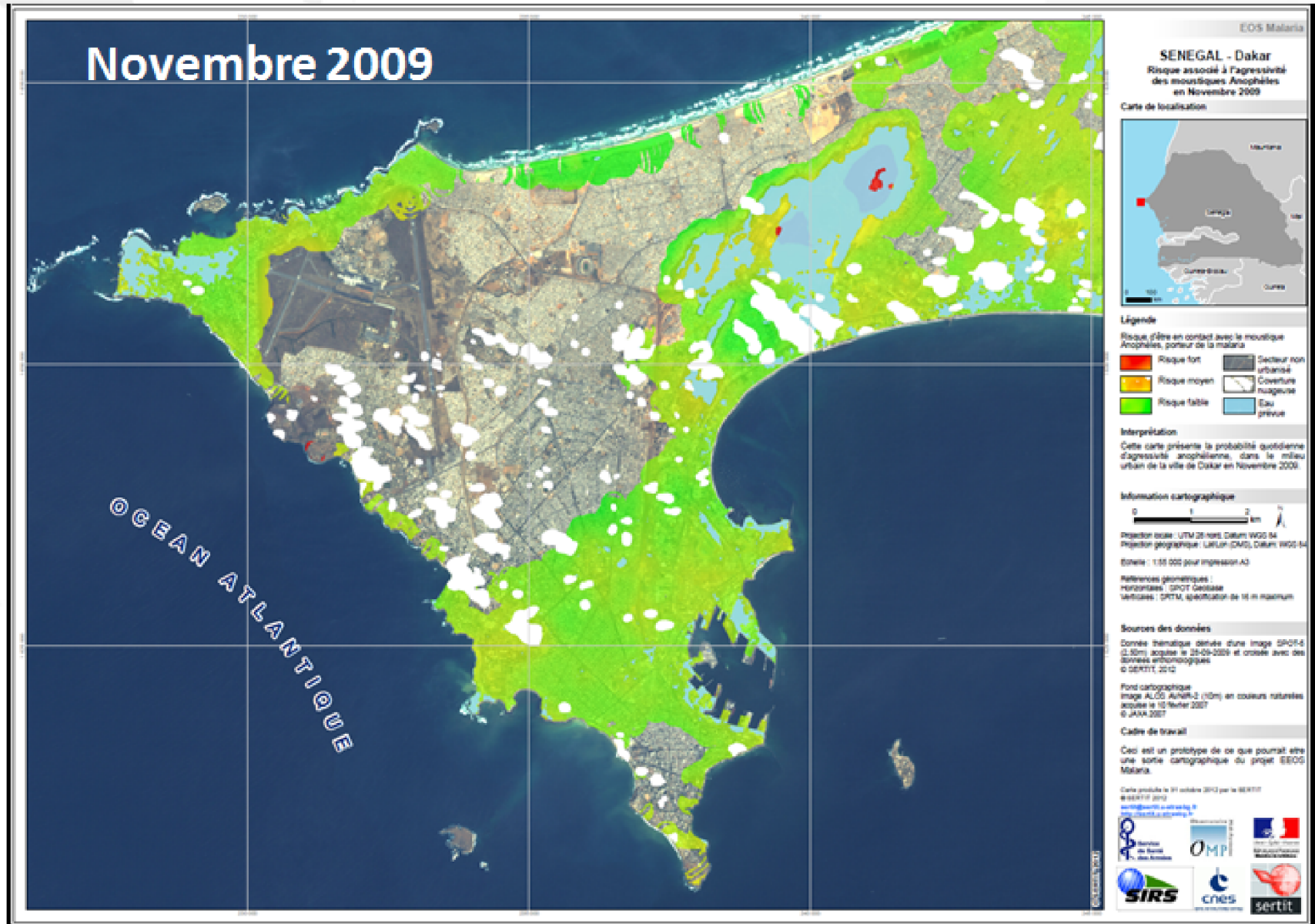
Ver explicación de la escala de color en la página siguiente.

La escala de color de rojo a naranja, representa las zonas en alto riesgo entomológico de paludismo en medio urbano, de naranja claro a amarillo, representa las zonas con riesgo medio y las zonas en verde corresponden a riesgo bajo. Los lugares donde no hay representación de color, "se presumen" como "ausencia de riesgo". Los polígonos en blanco, representan las nubes sobre la imagen de satélite original y las zonas en azul, son las colecciones de agua predichas para cada año.



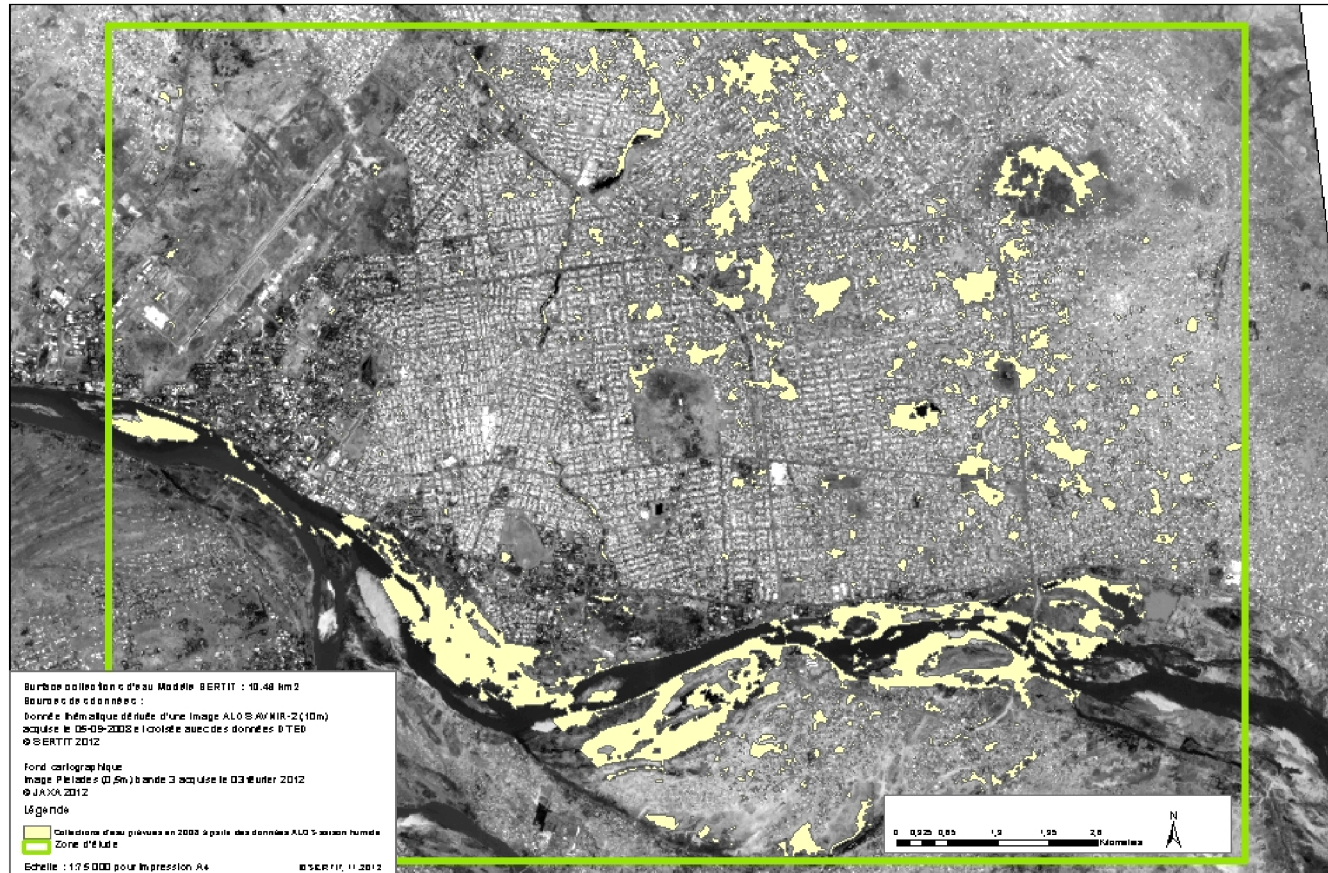






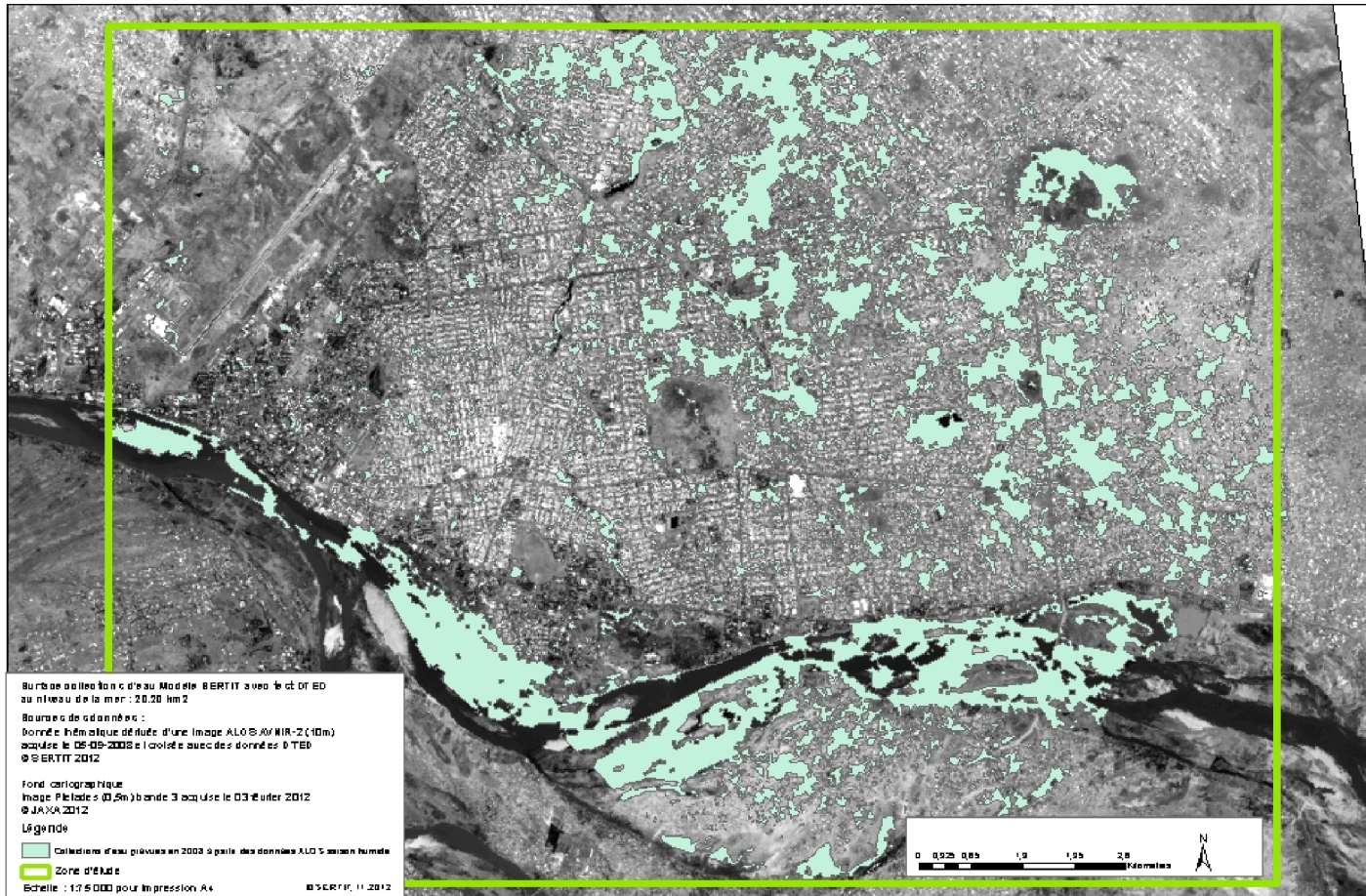
MAPAS PRODUCIDOS PARA N'DJAMENA, OBTENIDOS DE LA TRANSFERIBILIDAD DEL MODELO EEOS MALARIA A N'DJAMENA (TCHAD)

Transfert des processus du projet EEOS Malaria à Ndjamen (Tchad)
Carte des collections d'eau prévues en 2008



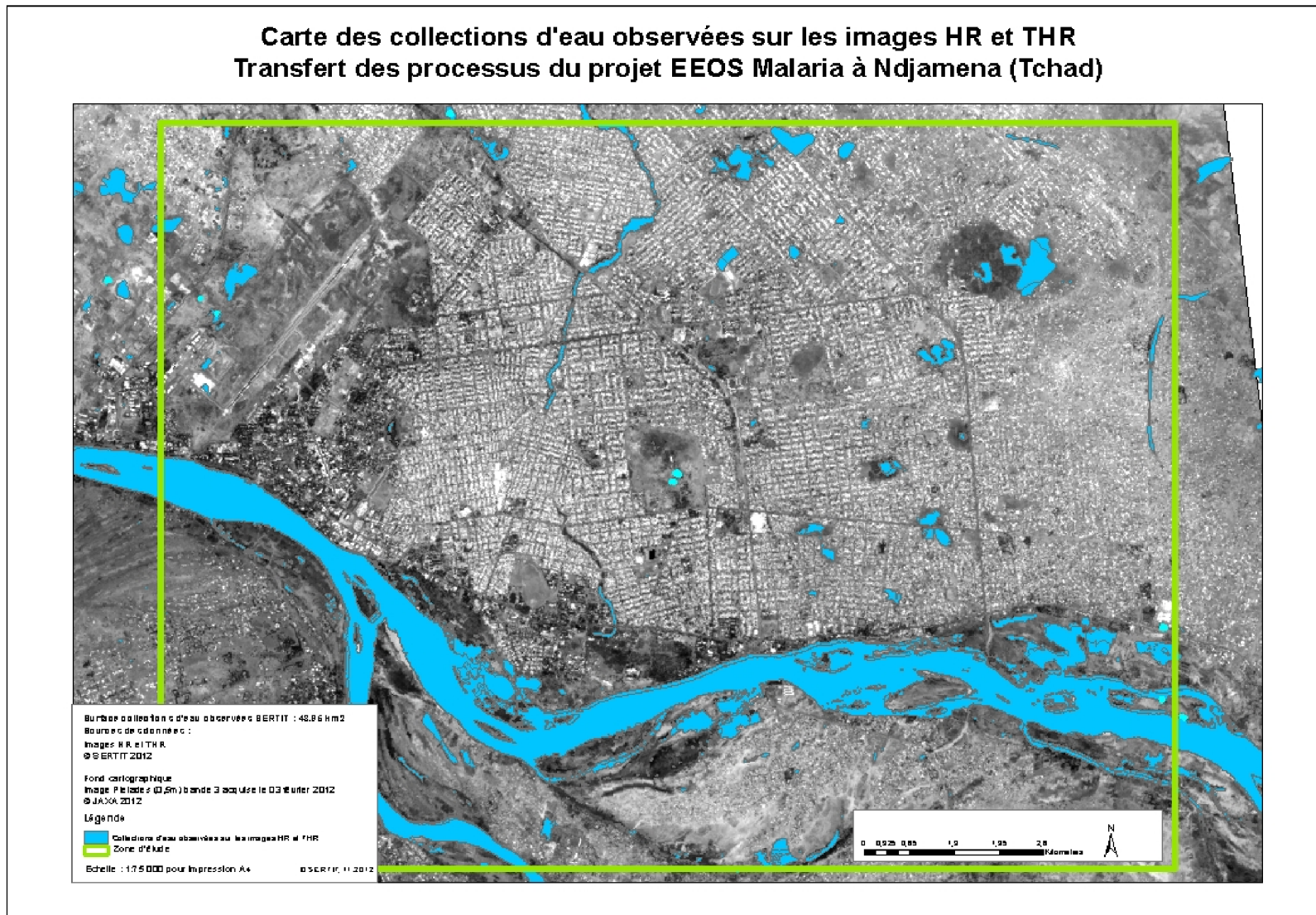
Etapa 1. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de colecciones de agua previstas para el año 2008. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar + 2 metros)

**Transfert des processus du projet EEOS Malaria à Ndjamen (Tchad)
Carte des collections d'eau prévues en 2008 (Test avec DTED au niveau de la mer)**

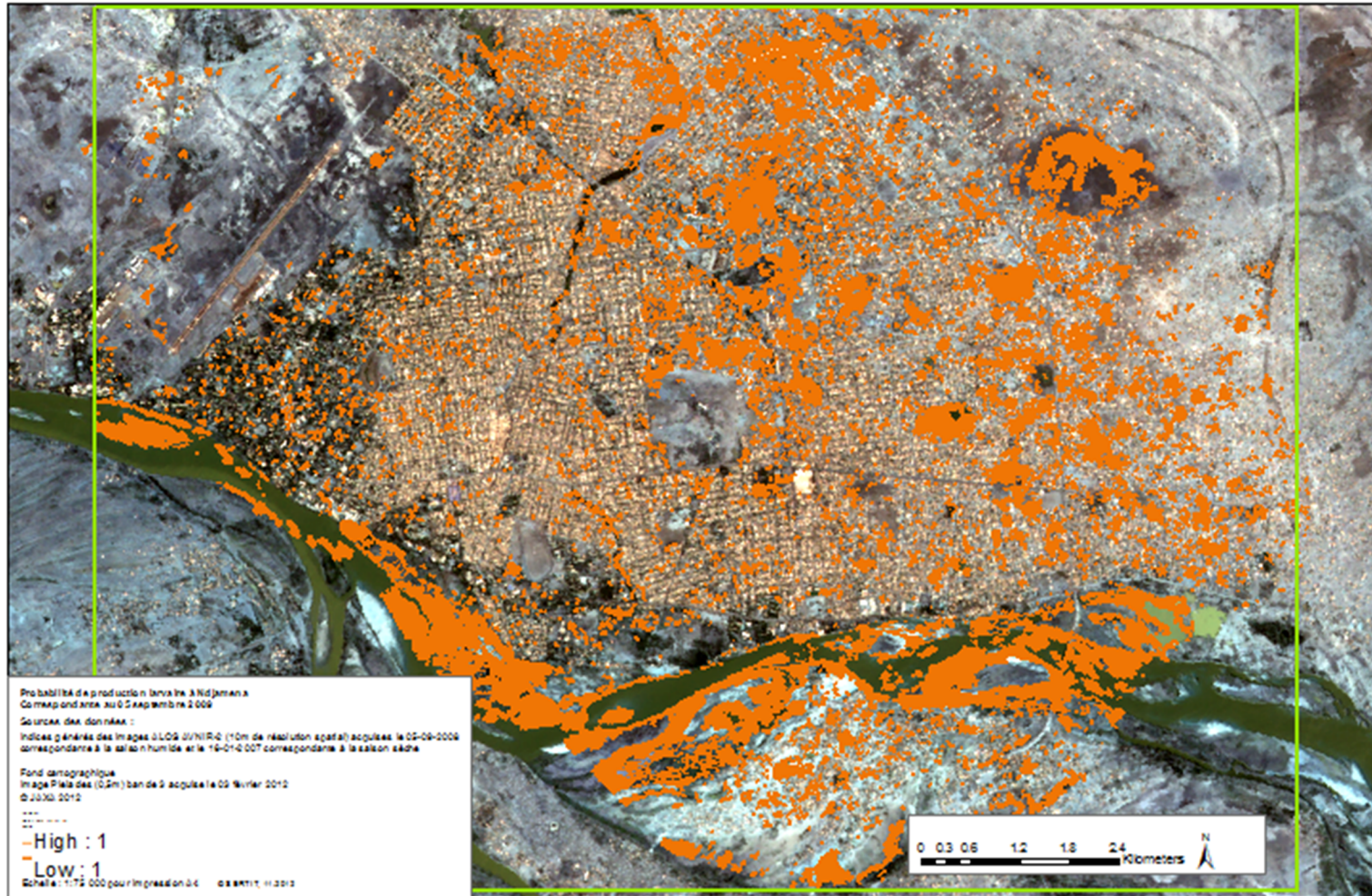


Etapa 1. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de colecciones de agua previstas para el año 2008. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar)

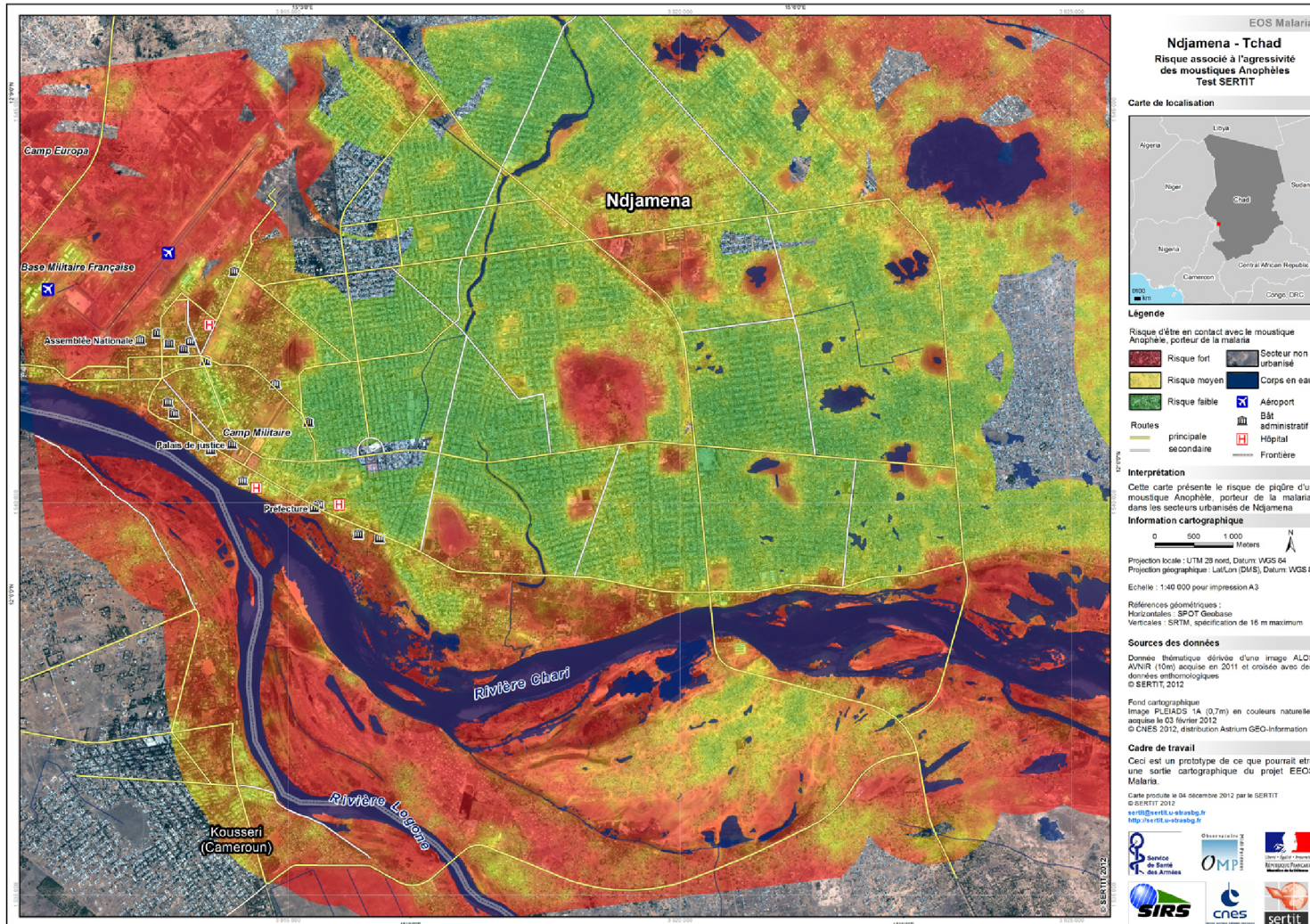
MAPA DE COLECCIONES DE AGUA OBSERVADAS SOBRE LAS IMÁGENES HR Y THR A N'DJAMENA



**Transfert des processus du projet EEOS Malaria à Ndjamena (Tchad).
Carte de production de gîtes larvaires prévues pour la date de 05 de septembre de 2009.**



Etapa 2. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de producción larvaria para el 5 de septiembre de 2009. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar)

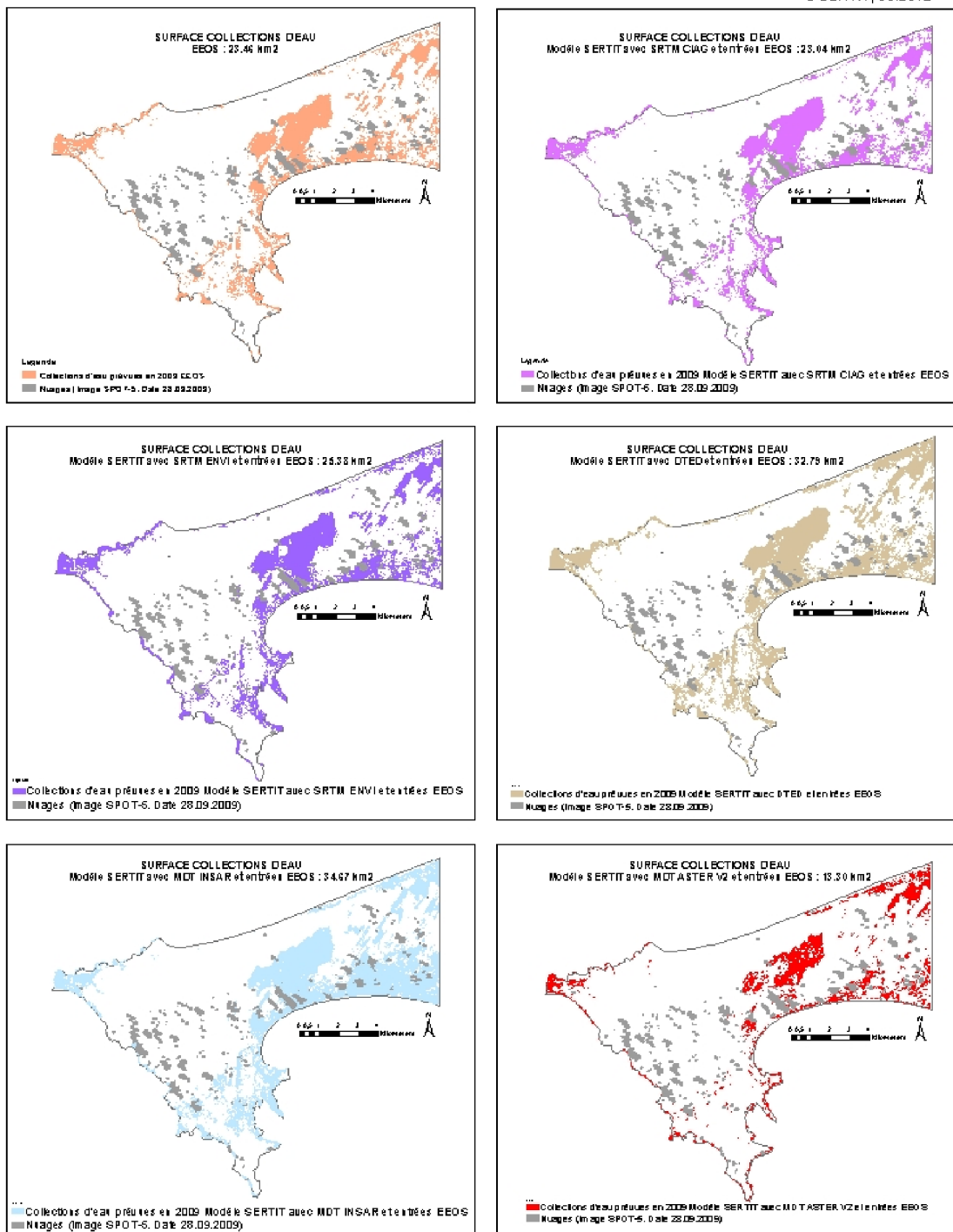


Etapa 3. Transferibilidad de procesos del proyecto industrializado EEOS Malaria a N'Djamena (Tchad). Mapa de riesgo entomológico de paludismo para el 5 de septiembre de 2009. (DEM en altitud relativa, es decir a nivel del mar)

La escala de color en rojo, representa las zonas en alto riesgo entomológico de paludismo, las zonas en amarillo, son catalogadas con riesgo medio y las zonas en verde corresponden a riesgo bajo. Los lugares donde no hay representación de color, "se presumen" como "ausencia de riesgo". Las zonas en azul, son las colecciones de agua predichas para el año 2009.

Industrialisation des processus projet EEOS Malaria à Dakar
Carte des collections d'eau prévues en 2009
Comparaison résultats EEOS et résultats modèle SERTIT avec différents MDTs

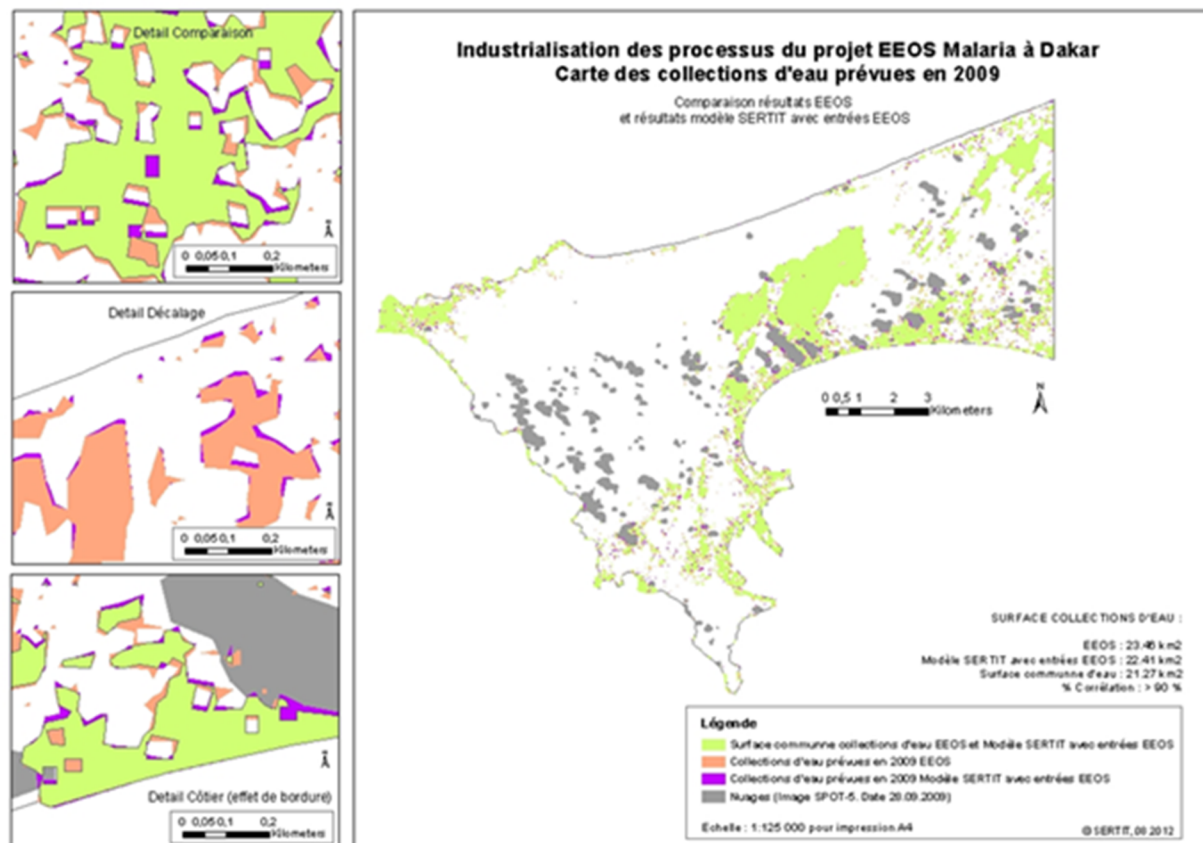
Echelle : 1:125 000 pour impression A4
 © SERTIT, 08.2012



Comparación de resultados de predicción de superficies de agua, generados a partir de diferentes MNS-DEM como entrada del modelo EEOS Malaria.

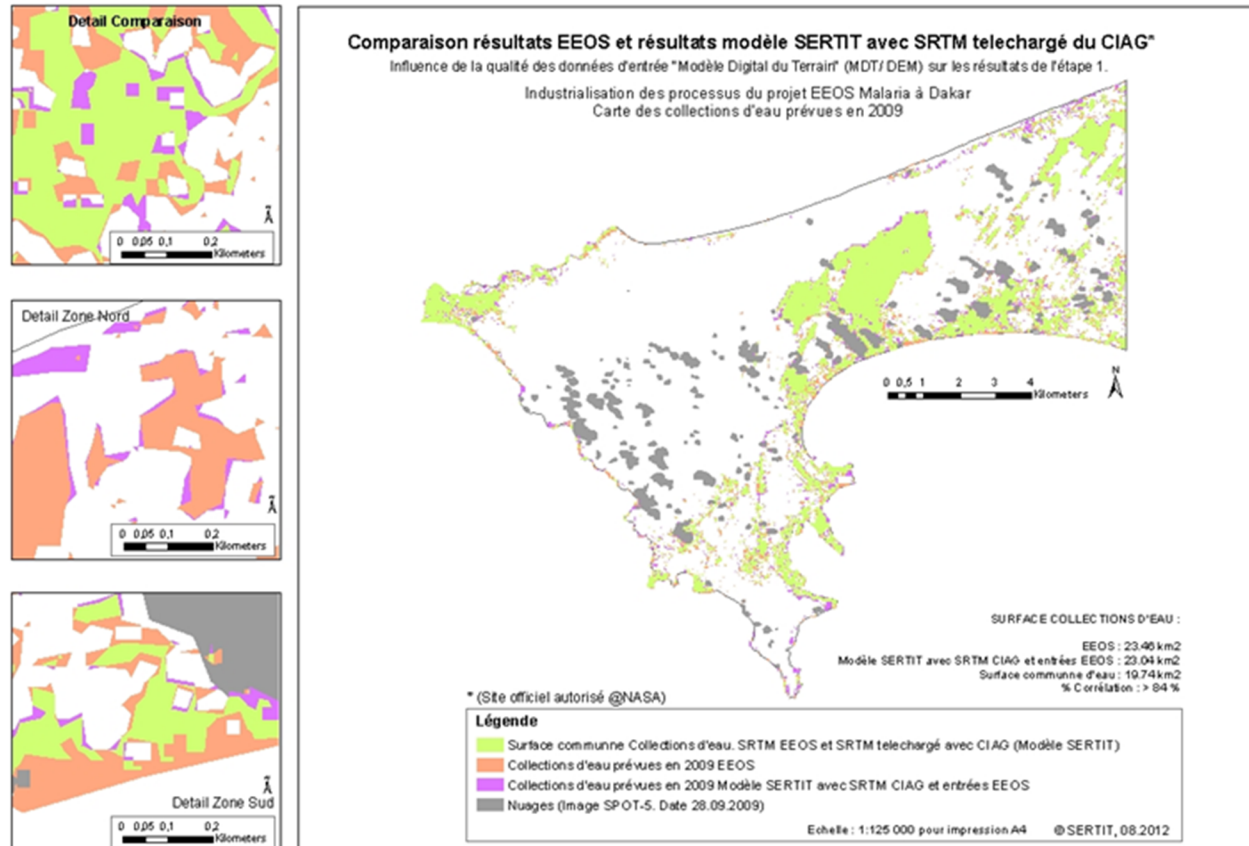
ANEXO C. COMPARACIÓN DE RESULTADOS URBAN MALARIA Y LOS RESULTADOS DEL MODELO INDUSTRIALIZADO EEOS MALARIA

Comparaison résultats EEOS et résultats modèle SERTIT avec entrées EEOS





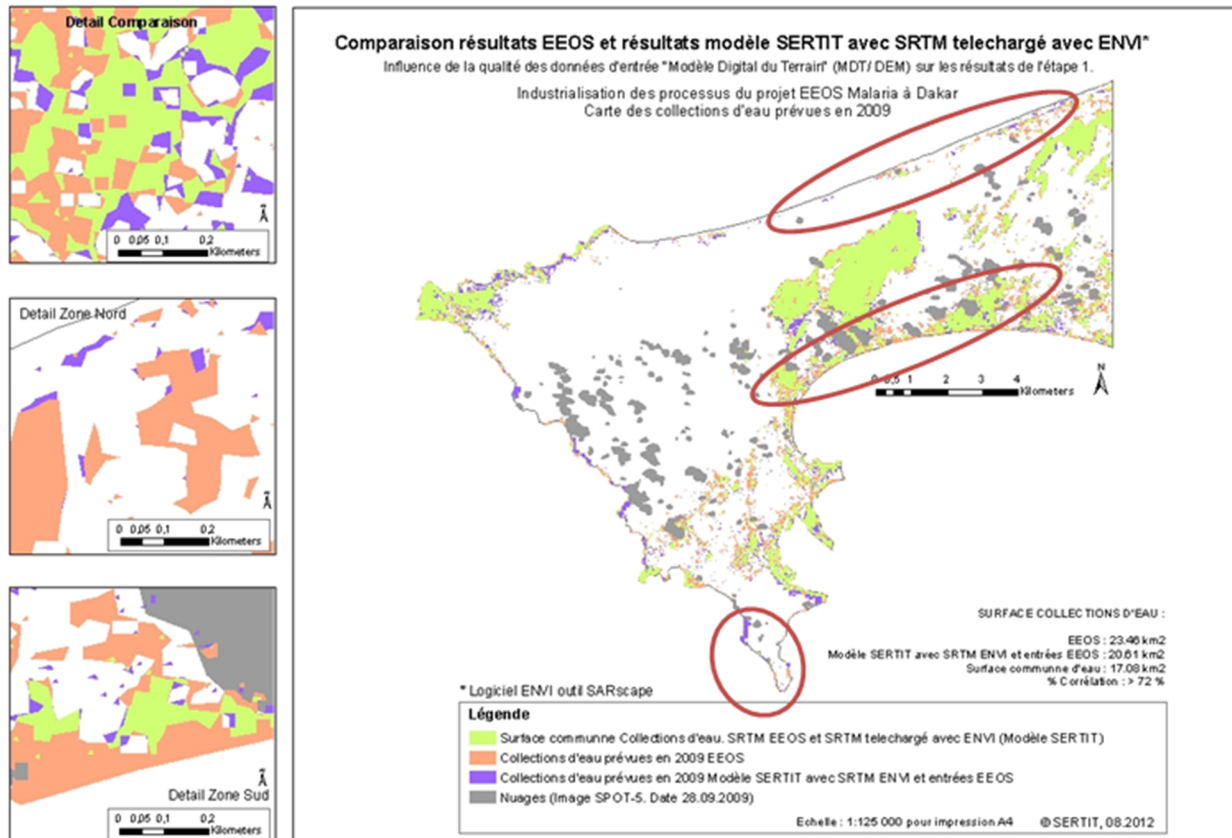
Test 1 sur Etape 1. Origine du SRTM



Comparación de resultados Urban Malaria y los resultados EEOS Malaria con datos de entrada de altitud SRTM descargado del sitio CGIAR (sitio oficial autorizado por la @NASA). Proyecto industrializado EEOS Malaria a Dakar en Senegal. Mapa de colecciones de agua predichas para el año 2009.



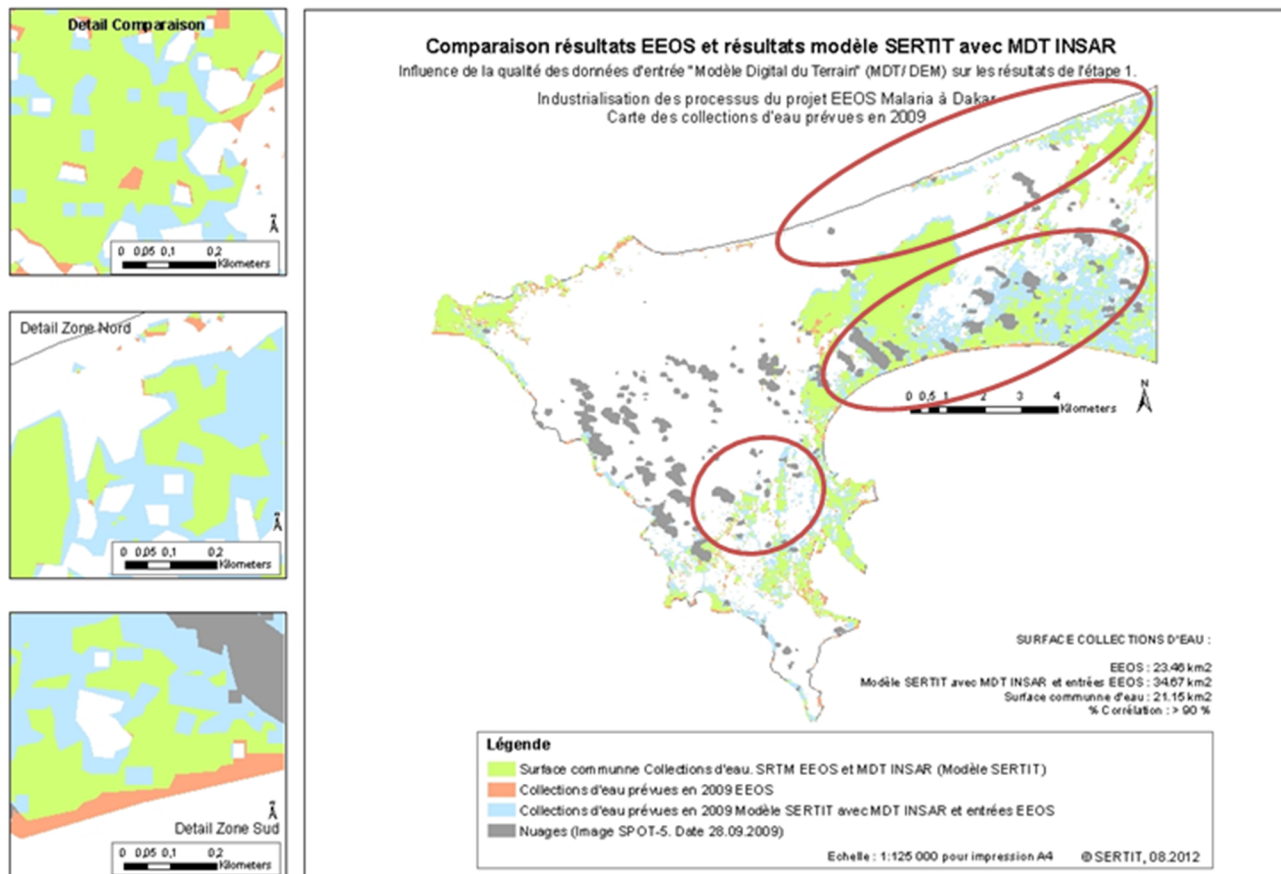
Test 2 sur Etape 1. Origine du SRTM



Comparación de resultados Urban Malaria y los resultados EEOS Malaria con datos de entrada de altitud SRTM descargado con el software ENVI. Proyecto industrializado EEOS Malaria a Dakar en Senegal. Mapa de colecciones de agua predichas para el año 2009.

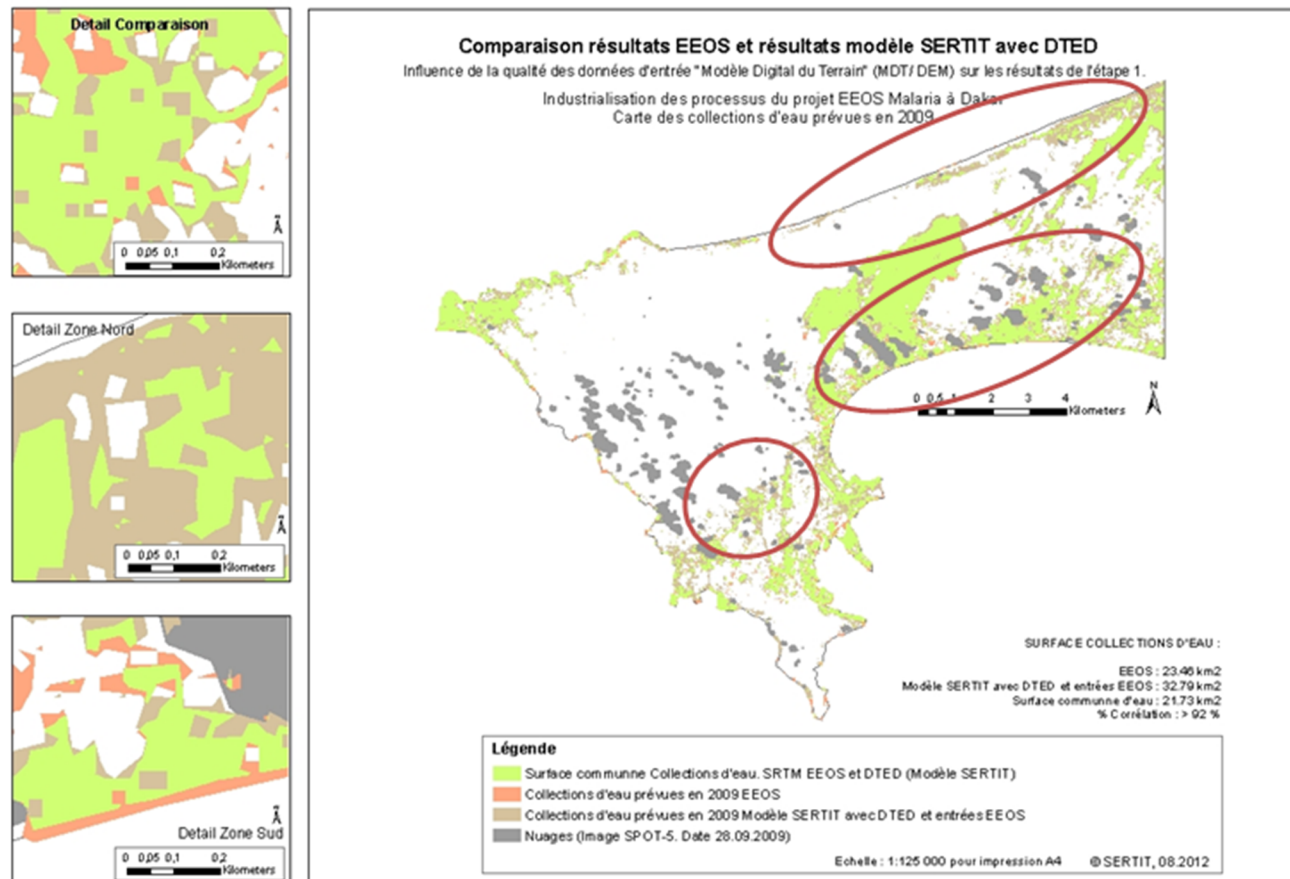


Test 3. SRTM/INSAR ENVISAT



Comparación de resultados Urban Malaria y los resultados EEOS Malaria con datos de entrada de altitud INSAR ENVISAT, datos derivados del proyecto de fin de estudios de Paul Landel, SERTIT, 2012. Proyecto industrializado EEOS Malaria a Dakar en Senegal. Mapa de colecciones de agua predichas para el año 2009.

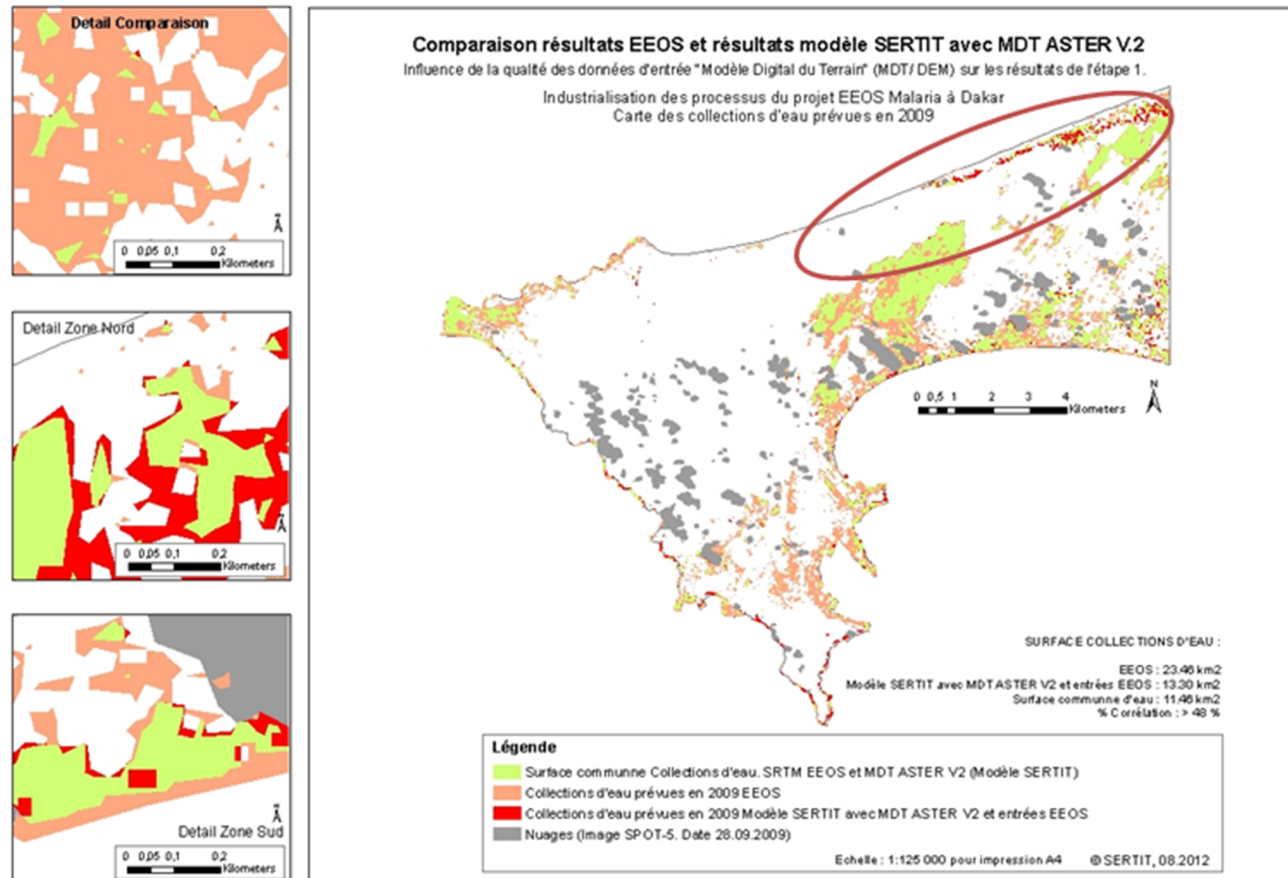
Test 4. SRTM/DTED Defense ie SAR Optique



Comparación de resultados Urban Malaria y los resultados EEOS Malaria con datos de entrada de altitud DTED Defensa ie SAR Óptico. Proyecto industrializado EEOS Malaria a Dakar en Senegal. Mapa de colecciones de agua predichas para el año 2009.



Test 5. SRTM/ ASTER2



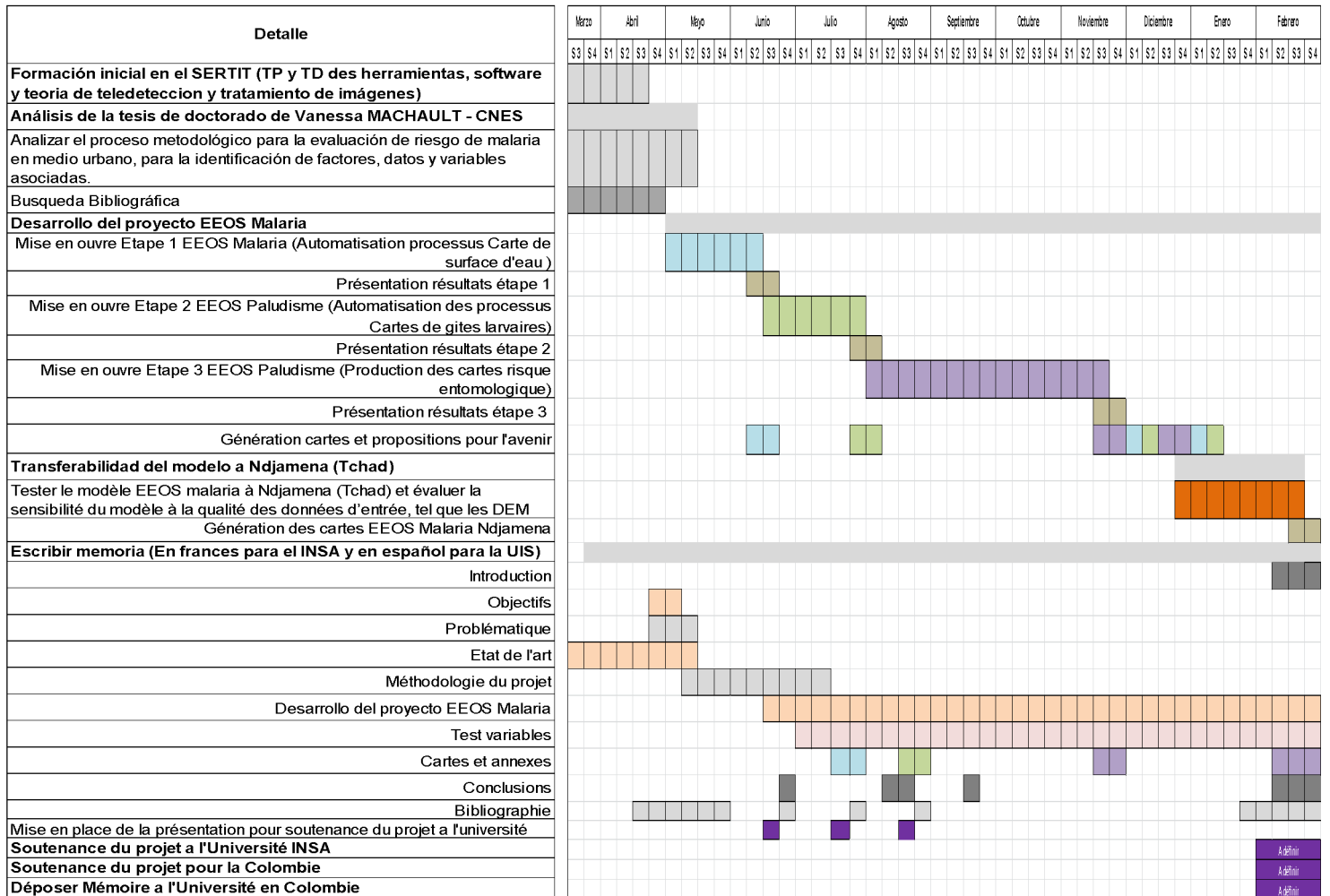
Comparación de resultados Urban Malaria y los resultados EEOS Malaria con datos de entrada de altitud ASTER V2 (Versión 2) descargado del servidor de datos de satélite de la NASA. Proyecto industrializado EEOS Malaria a Dakar en Senegal. Mapa de colecciones de agua predichas para el año 2009.

ANEXO D. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Fecha inicio: 12 de marzo 2012

Tempo de dedicación:

- Tiempo completo de Marzo 12 a Septiembre 10 2012
- Tiempo parcial * (1/3) de Septiembre 11 de 2012 a Enero 8 de 2013.
- Tiempo completo de Enero 9 a marzo 11 de 2013.



*En el periodo de septiembre 11 de 2012 a enero 8 de 2013, la dedicación al proyecto es solamente una tercera parte del tiempo, debido a la simultaneidad con el segundo año de maestría en "Observación de la tierra y geomática" en la Universidad de Strasbourg.

ANEXO E. PRESUPUESTO

El proyecto se desarrolla con el financiamiento del Centro Nacional de Estudios Espaciales - CNES, y la entidad en la que se desarrolla el proyecto es el SERTIT en Strasbourg – Francia, para ello se estipuló un monto total de 3.531 euros correspondientes a los honorarios para el estudiante que desarrolla el proyecto.

Los costos de computador, software, instalaciones, planos, impresiones, etc, son asumidos por el SERTIT.

La asesoría del profesor en el INSA de Strasbourg en Francia, es asumida por el INSA.

La asesoría del profesor en la UIS Colombia, es asumida por la UIS.

GLOSARIO

Algoritmo: Suele tratarse de un conjunto de operaciones de álgebra de mapas y/o sobre bases de datos que permiten obtener un resultado mediante combinación de información espacial y alfanumérica

Altitud: Es la distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmósfera y el nivel medio del mar.

Ambiente: El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados

Análisis de riesgo: Proceso de conocimiento gradual y analítico de un lugar o una comunidad que permite conocer y determinar los peligros a los que se está expuesto por la eventual ocurrencia de una calamidad.

Analizar: Hacer análisis de algo. Distinguir y separar las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos.

Asociación: Dependencia estadística entre dos o más eventos, características, u otras variables. Una asociación puede ser fortuita o puede ser producida por varias otras circunstancias; la presencia de una asociación necesariamente no implica una relación causal.

Atributos: Característica del fenómeno en estudio o de los elementos de un mapa descrita mediante un número de caracteres, típicamente almacenados en forma de tabla.

AVHRR, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR): Radiómetro avanzado de muy alta resolución. Sensor

principal de los satélites en órbita polar de EE.UU.

Banda espectral: Cada uno de los intervalos de longitudes de onda que es capaz de detectar un sensor.

Coefficiente de correlación: Medida de la variación concomitante de dos o más variables. Se evalúa mediante el Coeficiente r , que toma valores entre -1 y $+1$.

Coefficiente de variación: Es la desviación típica expresada como porcentaje de la media. Es independiente de las unidades de medida.

Control de enfermedades: “técnica” utilizada en la asistencia médica, proceso que abarca la prestación y administración de los servicios de salud, o la responsabilidad asumida en cuanto a la prestación de los mismos, a fin de controlar o influir en la calidad, la disponibilidad, la utilización, los costos o los resultados de los servicios prestados a un conjunto de pacientes (American Medical Association (AMA, Asociación Médica de EE.UU).

Control vectorial: Medidas tomadas para disminuir el número de organismos portadores de enfermedades (vector) y disminuir el riesgo de la propagación de enfermedades infecciosas.

Criadero: Lugar donde el vector hembra pone sus huevos para que se desarrollen posteriormente los estados inmaduros o juveniles, esto es, ninfas en los insectos terrestres como chinches o garrapatas y larvas y pupas en los insectos con una fase acuática en su ciclo de vida, como los mosquitos.

Criaderos permanentes: Aquellos receptáculos que se encuentren durante todo el año con agua y permitan el desarrollo de larvas de mosquito de manera continua.

Distribución: en epidemiología es la frecuencia y el patrón de los hechos y las características relativos a la salud en una población. En estadística es la frecuencia

teórica u observada de valores de una variable.

Endemia: Situación en la que la enfermedad siempre está presente en una comunidad.

Epidemiología El estudio de los modelos de determinantes y antecedentes de enfermedad en poblaciones humanas. La epidemiología utiliza la biología, medicina clínica, y estadísticas en un esfuerzo entender la etiología (causas) de enfermedad. La meta del epidemiólogo no es meramente identificar causas subyacentes de una enfermedad sino también, aplicar los hallazgos para la prevención de enfermedades y promoción de la salud.

Escala: Relación entre las dimensiones de las entidades de un mapa y los mismos objetos geográficos que se representan en la Tierra, normalmente expresada como una fracción o una proporción.

Enfermedades transmitidas por vectores: A los padecimientos en los que el agente causal o infeccioso requiere la participación de un artrópodo, como hospedero o transmisor para completar su ciclo de vida y para mantener su población en hospederos vertebrados susceptibles. Se incluyen " paludismo, dengue, leishmaniosis, tripanosomiasis, virus del Oeste del Nilo y otras arbovirosis.

Factor de riesgo: Característica o factor que se ha observado que está asociado con un aumento de la probabilidad de que aparezca una enfermedad. Un factor de riesgo no implica necesariamente la existencia de una relación de causa-efecto; implica que al menos se ha establecido una asociación a nivel individual.

Filtro: Operador local mediante el cual se obtiene una nueva imagen cuyos ND son función de los ND originales y de los de las celdas contiguas. Dependiendo del tipo, se utilizan para suavizar y eliminar ruido, o bien para realzar los rasgos lineales de una imagen.

Filtro de paso alto: Filtros destinados a reforzar los componentes de alta frecuencia de una imagen digital. El resultado de ello es el énfasis de los contrastes entre áreas adyacentes, por cuya razón tienden a realzar los rasgos lineales de la imagen.

Filtro de paso bajo: Filtros destinados a suavizar la imagen mediante la eliminación de los componentes de alta frecuencia de ésta

Formato raster: Forma de tratamiento y representación espacial de las entidades mediante la disposición de celdas o **pixeles** en forma de matriz numérica de ND.

Formato vectorial: Forma de tratamiento y representación espacial de las entidades mediante la asignación de un par de datos para cada punto, cuyo valor es el de sus propias coordenadas espaciales (tres, en el caso de incluir la cota).

Georreferenciación: Procedimiento mediante el cual se dota de validez cartográfica a una imagen digital corrigiendo geoméricamente la posición de las celdas y atribuyéndoles coordenadas en algún sistema de referencia.

Hábitat. Al área o espacio con todos sus componentes físicos, químicos, biológicos y sociales, en donde los seres vivos encuentran condiciones propicias para vivir y reproducirse.

Imagen multiespectral (MS): Imagen captada mediante un sensor que mide la energía simultáneamente en dos o más bandas espectrales.

Imagen de satélite: representación gráfica de un objeto mediante una matriz regular que recoge valores de reflectancia los valores de reflectancia suelen medirse mediante sensores sensibles a ciertos rangos de longitudes de onda de la luz.

Índice Normalizado de Vegetación: Combinando los valores de los diferentes canales de una imagen, se obtienen nuevas informaciones. Uno de ellos es el índice de

vegetación o NDVI del inglés "Normalized Difference Vegetation Index" que es un indicador de la actividad fotosintética. ('verdor' de la cubierta vegetal).

Modelo: Representación simplificada de un objeto o proceso en la que se representan algunas de sus propiedades. Es decir, un sistema original que queda, por tanto, representado por otro objeto o sistema de menor complejidad; los modelos se construyen para conocer o predecir propiedades del objeto real

Modelo Digital de Terreno (MDT): También llamado Modelo digital de elevaciones (MDE) es una estructura digital de datos que representa la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno. La unidad básica de información de un MDT es un valor de elevación Z, al que acompañan los valores correspondientes de X e Y, que expresados en un sistema de proyección geográfica permiten una precisa referenciación espacial.

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): Instrumento de Teledetección a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA. Dispone de 36 bandas espectrales y recoge imágenes de toda la Tierra cada 1-2 días.

ND: Abreviatura de nivel digital. Se trata del valor numérico discreto asignado por el sistema formador de imágenes a cada celda en respuesta a la irradiancia recibida sobre el plano focal del sensor. Se le conoce asimismo como nivel de gris, luminancia, número digital, valor de pixel, etc. Existe una relación lineal entre el ND grabado y la radiancia correspondiente a cada celda de terreno.

Paludismo: El paludismo es causado por un parásito denominado Plasmodium que se transmite a través de la picadura de mosquitos infectados. En el organismo humano, los parásitos se multiplican en el hígado y después infectan los glóbulos rojos.

Entre los síntomas del paludismo destacan la fiebre, las cefaleas y los vómitos, que generalmente aparecen 10 a 15 días después de la picadura del mosquito. Si no se trata, el paludismo puede poner en peligro la vida del paciente en poco tiempo, pues altera el aporte de sangre a órganos vitales. En muchas zonas del mundo los parásitos se han vuelto resistentes a varios antipalúdicos.

Quickbird: satélite que circunda la tierra en órbita polar a 450 kilómetros de altura. Es un satélite único en su tipo permitiendo obtener imágenes con una resolución (comparable a una fotografía aérea 1:4.000) de 70 cm, pancromático (blanco/negro)-la más alta del mundo- y 2.8 m multiespectral (color), colocando a disposición de la comunidad mundial abundante información acerca de las siempre cambiantes características naturales de la Tierra; siendo una gran contribución para la consolidación final de la industria (de satélites operacionales) de alta resolución.

Resolución: La resolución de un sensor es su habilidad para registrar información en detalle de las distintas cubiertas. La resolución depende de la capacidad de los sensores para distinguir variaciones de la energía electromagnética, del detalle espacial que captura y del número y ancho de las bandas que alberga.

Resolución espacial: Es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene determinada por el tamaño que representa un píxel en la superficie terrestre.

Resolución espectral: Define el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar un sensor.

Resolución radiométrica: Hace referencia a la cantidad mínima de energía que es capaz de detectar un sensor para variar el valor de un píxel en un nivel digital.

RGB: Sigla de rojo-verde-azul. Se trata de un sistema de especificación del color

basado en la propiedad aditiva de los tonos primarios que es el comúnmente utilizado en los sistemas informáticos y en la composición en verdadero o en falso color de las imágenes espaciales.

Satélite: Cualquier objeto que recorre una órbita alrededor de un cuerpo celeste como la luna. El término se usa normalmente para designar las plataformas artificiales que orbitan la Tierra, ya sea de manera geoestacionaria o polar.

Serie multitemporal: La comparación de imágenes satélite obtenidas a determinados intervalos de tiempo, permite estudiar fenómenos que implican una variación temporal, como por ejemplo el proceso de deforestación amazónica.

Shape: Formato vectorial de almacenamiento y representación de datos espaciales donde se guarda la localización de los elementos representados y los atributos asociados a ellos.

SIG: Sistema de gestión de bases de datos (SGBD) con herramientas específicas para el manejo de información espacial y sus propiedades métricas, topológicas y atributivas.

Teledetección: Proceso de captura de información a distancia, sin contacto entre el aparato de medida y el objeto. Se aplica habitualmente en un sentido más restringido a las imágenes o datos captados mediante sensores transportados por aviones o satélites; es común la extensión del concepto al análisis y la interpretación de la información, y no sólo a su captura

Trabajo de campo: Consiste en identificar y describir las zonas caracterizadas previamente por los métodos de procesamiento digital y fotointerpretación. La observación en el campo de características de detalle no observables en las imágenes de satélite ni en las fotografías aéreas, permite verificar la información obtenida y acabar de delimitar y caracterizar estas zonas de acuerdo a los requerimientos técnicos de los estudios. Las descripciones de paisaje y de los elementos característicos

se consignan en un formulario para luego ser utilizadas en la corroboración de la información y posterior incorporación a una Base de datos.

Transmisión: Mecanismo por medio del cual el vector (artrópodos, moluscos, y otros), transfieren agentes patógenos de hospedador a otro hospedador.

Variación temporal: Determinados procesos de la cubierta vegetal de la Tierra, como por ejemplo la variación estacional de los árboles caducifolios o niveles elevados de sequía, determinan cambios en su respuesta espectral que quedan reflejados por los cambios en las firmas espectrales de las cubiertas vegetales.

Vector (en epidemiología): Un agente que transmite el patógeno de un anfitrión a otro. Usualmente un animal o un insecto, implica la participación de un invertebrado que propaga la enfermedad entre dos vertebrados.

Nella mia vita, non mi ero mai considerato di poche parole, tanto meno silenziose, Io pubblico il pensiero di un amico italiano perché voglio condividere questo lo trovo esatto. "Penso che una buona parte della felicità sia l'averne al tuo fianco tanti amici che ti vogliono bene. Io mi ritengo fortunata perché credo di averne tanti e a loro voglio un mondo di bene. Sono ormai parte della mia vita. Non fa differenza se sono nuovi o vecchi amici, se li ho visti ieri sera o magari venti anni fa. Loro sono sempre lì e l'affetto e l'amicizia rimangono in eterno. Con loro ho condiviso magari i momenti belli dell'infanzia o gli anni dell'università o gli otto anni passati all'estero, o più semplicemente una bistecca e un bocale di birra. Non fa differenza. Quelli veri li riconosci sempre"

En mi vida, no me he considerado de pocas palabras, ni silenciosa. Publico aquí el pensamiento de un amigo italiano porque quiero compartir esto que lo encuentro exacto. "Pienso que una buena parte de la felicidad es la de tener a tu lado tantos amigos que te quieren. Me siento afortunada porque creo que tengo muchos y que todos ellos anhelan un mundo de bien. En este momento de la vida, no hay diferencia si son nuevos o viejos amigos, si los he visto anoche o a lo mejor hace veinte años. Ellos siempre son ellos! y el cariño y la amistad quedan para siempre. Con ellos he compartido los mejores momentos de mi infancia o los años de la universidad o los dos años pasados en el extranjero, o más sencillamente una caminata, una balada en bicicleta, un paseo, un sancocho, un asado, una pizza o unas cuantas rondas de cerveza. No hay diferencia. Aquellos verdaderos siempre los reconoces"

Gracias por estar aquí, junto a mí... sin importar la distancia, siempre estamos bajo el mismo cielo...

Luz María Pérez Saavedra,
luz.perez.saavedra@hotmail.com
Toulouse, Francia. Agosto de 2013

