



Université Senghor

Université internationale de langue française
au service du développement africain

Opérateur direct de la Francophonie

**TECHNOLOGIES SATELLITAIRES ET LUTTE CONTRE LES
MALADIES TRANSMISSIBLES
DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT**

*Elaboration d'un système d'alerte précoce en santé pour les pays de
l'espace CEDEAO*

présenté par

Bernard KADIO

pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Département : Santé

Spécialité : Santé Internationale

Le 09 avril 2009

Devant le jury composé de :

Dr Christian MESENGE Président

Chef de Département Université Senghor

Dr Lyne Klinebrel Examineur

Chercheur, Université Numérique Francophone

Audrey Berthier Examineur

Ingénieur Biomédicale, MEDES-Toulouse

Université Senghor – Opérateur direct de la Francophonie
1 Place Ahmed Orabi, BP 21111, 415 El Mancheya, Alexandrie, Egypte
www.usenghor-francophonie.org

Remerciements

Je voudrais remercier le Dieu Très-haut pour son assistance dans mes études. Il a toujours été présent. Aussi merci au Dr Christian Mesenge et à tous mes collaborateurs et collègues du Département Santé. Merci au sympathique personnel du MEDES, la « la famille spatiale ».

Dédicace

Au Dr N'Daté, mon épouse pour son amour

A Joan, mon fils « Dr Seuss » pour son impatience !

Au Dr Aïdara, pour son amitié si précieuse,

A Régine, la digne représentante du peuple Fang

A Florine Kheumeni notre chère Déléguée

A Mounir Douhibi, mon petit frère

A Hamid, mon voisin

Résumé

Les technologies spatiales et l'outil informatique investissent le secteur de la santé. De nombreux travaux et expérimentations sont en cours afin de voir leur application effective à la médecine de tous les jours, dans un souci de plus grande efficacité.

Ainsi, notre étude avait pour objectifs de montrer l'intérêt du satellite dans la lutte contre les maladies transmissibles, d'identifier les paramètres de télédétection utilisables en surveillance épidémiologique de routine et de proposer un système d'alerte précoce en santé pour les pays de l'espace CEDEAO. Nos travaux se sont basés sur une expérimentation du système d'information géographique SAFE dont le MEDES a coordonné la mise en place en 2007 dans le cadre d'un projet de l'Union Européenne. Cette approche a été complétée par une revue des travaux réalisés dans le domaine de l'utilisation des données satellitaires en médecine infectieuse tropicale. La méthodologie a consisté dans un premier temps à identifier les paramètres de télédétection utilisables dans le cadre des maladies transmissibles, ensuite nous avons proposé un projet visant leur intégration dans le système national de surveillance.

Plusieurs paramètres ont pu ainsi être mis en évidence. Ces données transversales permettent d'établir des cartes de risque et des modèles prédictifs pouvant servir dans la lutte contre les épidémies. Le projet « i-djembé » que nous proposons vise à renforcer l'existant. Il devra permettre au système national de surveillance de faire de l'alerte précoce en santé. « i-djembé » intègre 3 nouveaux pôles à la surveillance traditionnelle : l'environnement physique, l'environnement socio-démographique et les données du monde animal. Le projet définit aussi un réseau d'alerte précoce en mesure de contribuer à une réaction rapide.

Cette étude permet de formuler des recommandations à l'endroit du niveau stratégique de la lutte contre les maladies transmissibles : mieux intégrer l'approche verticale, encourager la formation dans les nouvelles technologies et initier des études coûts/efficacité à travers des projets concrets basés sur les données satellitaires. Le partenariat mondial invoqué par les OMD pourrait servir de cadre à ces projets.

Mots-cléf : Système d'information géographique – Satellite – système d'alerte précoce – maladies transmissibles – surveillance épidémiologique

Abstract

The past ten years have seen an extraordinary development of GIS. Many areas have been investigated where they can be used. Nevertheless the application of GIS in health remains poorly experimented.

Our study is based on the experimentation of the SAFE application, a European Union GIS project coordinated by MEDES the French Space Health Institute. Also we performed a literature review on GIS uses in public health especially for communicable diseases. The aims of the study were first to identify epidemiological parameters acquired by remote sense which could be used in routine outbreak survey. The second objective was to develop a Health Early Warning System (HEWS) based on the existing diseases surveillance system and on the parameters previously identified.

As results of our work, we have listed a certain number of remote sense parameters susceptible to be used in the national communicable diseases surveillance system on the short term. Those parameters served as base for risks mapping and predictive models for epidemics. "*I-djembé*" our project is an HEWS integrating 3 new poles to the traditional surveillance system: the physical environment, the social environment and the zoological environment. The system also includes a network of partners designed to implement the response in outbreak event.

This study is another pledge for the use of Space technologies in the everyday medical practice especially in developing countries. It is also time to help projects in this domain. This will allow cost/effectiveness studies and will lead to a generalized used in developing countries health systems. The partnership possibilities offered by the MGD could serve as general context for such projects.

Key-words: GIS - HEWS – communicable diseases – Satellite – epidemiological survey

Liste des acronymes et abréviations utilisés

- SIG : Système d'information géographique
- OMS : Organisation mondiale de la santé

Sommaire

Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumé	iii
Abstract.....	iv
Liste des acronymes et abréviations utilisés	v
Sommaire	1
Introduction.....	- 3 -
1 Le défi des maladies transmissibles en Afrique subsaharienne	4
1.1 Le poids des maladies transmissibles	4
1.2 Prise en charge des maladies transmissibles, prévention et prévision.....	6
2 Problématique : Limites de l'approche verticale des maladies transmissibles	9
2.1 Importance de l'environnement global	9
2.2 Les données socio-démographiques	10
2.3 La transmission des données dans le système de surveillance.....	10
2.4 Hypothèse de recherche	10
3 Technologies satellitaires et santé publique.....	12
3.1 Généralités sur l'outil	12
3.2 Intérêt en santé publique	13
3.3 Application en santé publique	14
4 Matériel et méthodes	19
5 Résultats.....	21
5.1 Paramètres de télédétection utilisables dans la surveillance des maladies transmissibles...	21
6 Le Projet « i-djembé ».....	27
6.1 Définition et objectifs.....	27
6.2 Intérêts.....	27
6.3 Maladies-cibles	27
6.4 Résultats attendus	27
6.5 Activités	28
6.6 Description fonctionnelle du projet « i-djembé »	28
6.7 Solution technique	35
7 Discussion	36

Conclusion	38
Recommandations	38
Références bibliographiques	39
Liste des illustrations.....	42
Liste des tableaux	43
Annexes.....	44

Introduction

La lutte contre les maladies infectieuses à potentiel épidémique en Afrique subsaharienne a connu deux moments. Pendant la première moitié du 20^e siècle, leur charge de morbidité et de mortalité a été considérablement réduite. Cependant, depuis le début des années 80, on assiste à la réémergence des maladies tropicales classiques, auxquelles s'ajoutent des affections nouvelles dites « émergentes », fièvre à virus Ebola, infection à VIH, grippe aviaire ... [OMS, 2000]. Ce renforcement de la menace infectieuse se fait sur fond d'incertitude avec le changement climatique, et une tendance à la propagation rapide des épidémies du fait de la mondialisation [OMS, 2005a].

Dans ce contexte, l'Assemblée Mondiale de la Santé du 23 mai 2005 a adopté le nouveau Règlement Sanitaire International (RSI 2005) dont l'esprit est de mettre en place un mécanisme global de riposte contre les urgences de santé publique de portée internationale [OMS, 2005b]. Les Etats sont donc encouragés à améliorer les systèmes nationaux de surveillance et de contrôle des maladies transmissibles afin de les rendre plus sensibles et plus alertes, gage d'une meilleure sécurité sanitaire des populations, gage aussi de développement durable.

Les pays d'Afrique subsaharienne doivent donc renforcer leurs moyens de lutte contre les maladies infectieuses. Des volets comme, la prévision, la prévention et la prise en charge rapide du risque épidémique se présentent aujourd'hui comme une urgence et une exigence dans la lutte [LeBras, 2004]. Et les instruments pour une telle approche existent désormais. L'utilisation de plus en plus fréquente des technologies résultant de la conquête spatiale dans le domaine de la santé « de tous les jours » offre de nouvelles possibilités. Télédétection, satellites, gestion de bases de données multidimensionnelles inaugurent une nouvelle ère pour la médecine en général, et pour la médecine tropicale en particulier.

Cependant, si quelques travaux visant leur utilisation concrète dans les pays en développement existent, dans l'ensemble, ces nouvelles technologies restent marginales par rapport au système de santé, et leurs avantages, méconnus.

Notre travail est donc une revue basée sur l'utilisation des technologies satellitaires dans les défis de santé en Afrique subsaharienne. L'objectif de :

1. Montrer l'intérêt du satellite dans la lutte contre les maladies transmissibles
2. Identifier les paramètres de télédétection utilisables en épidémiologie de routine
3. Proposer un système d'alerte précoce en santé pour les pays de l'espace CEDEAO : c'est le projet *i-djembé*.

1 Le défi des maladies transmissibles en Afrique subsaharienne

1.1 Le poids des maladies transmissibles

Le chapitre 1 du rapport de l’OMS sur la santé dans le monde en 2003 était consacré aux « défis actuels de la santé dans le monde ». Le rapport faisait état de la fragilité croissante des populations de l’Afrique au sud du Sahara avec un tribut élevé payé par les populations aux maladies transmissibles [OMS, 2003a]. Ce fardeau des maladies transmissibles se manifeste à travers le recul de l’espérance de vie et le nombre d’années de vie perdues en rapport avec ces dernières.

1.1.1. Recul de l’espérance de vie à la naissance

Alors que la plupart des pays du monde bénéficient d’une augmentation soutenue de l’espérance de vie à la naissance, de nombreux pays africains voient cette tendance ralentir et même s’inverser dans certains cas. La courbe d’évolution de l’espérance de vie depuis les années 50 permet d’objectiver la « cassure » dans la dynamique positive qui était alors enclenchée.

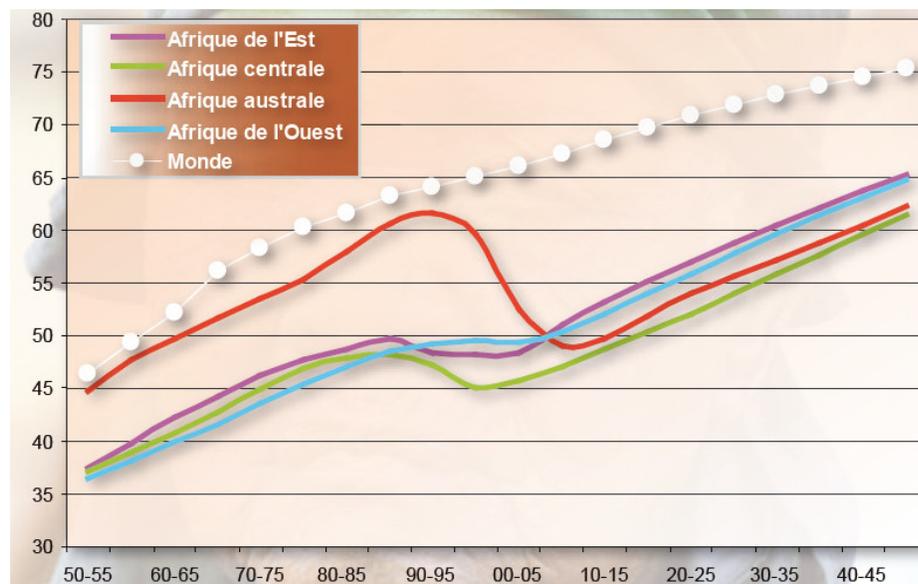


Figure 1 : Evolution de l’espérance de vie dans les différentes régions d’Afrique

(Sources, Atlas régional de l’Afrique, 2008)

Les causes de cette cassure sont identifiées. C’est d’abord la triade des « grandes tueuses » :

Paludisme, VIH et Tuberculose, auxquelles s'ajoutent les maladies respiratoires et les maladies diarrhéiques. Ces 5 affections sont responsables de 70% de la mortalité par maladie infectieuse dans le monde. [OMS, 2000a]

1.1.2. Nombre d'années de vie perdues lié aux maladies transmissibles

C'est en Afrique subsaharienne que les taux de mortalité par maladies transmissibles sont les plus élevés. Selon l'OMS, 9 décès sur 10 y surviennent. Le tableau 1 donne l'exemple de la charge de morbidité et de mortalité dans quelques pays africains.

Tableau I : Années perdues dues aux maladies transmissibles

Pays africains	Nombre d'années perdues dues aux maladies transmissibles
Angola	84 %
Burkina Faso	87 %
Cameroun	81 %
Congo	79 %
Côte d'Ivoire	78 %
Gabon	72 %
Ghana	74 %
Nigeria	83 %
Sénégal	76 %
Sierra Leone	86 %
Uganda	84 %

(Sources : Whosis, 2002)

1.2 Prise en charge des maladies transmissibles, prévention et prévision

1.2.1 Prise en charge hospitalière

La prise en charge hospitalière des maladies transmissibles pose le problème plus général du système de santé en Afrique subsaharienne et des ses insuffisances. La particularité des maladies transmissibles réside dans la nécessité d'agir vite, tout cas pouvant être le début d'une épidémie. Ceci implique une détection et une confirmation rapide en vue de lancer le « *rapid assessment* » [OMS, 2005a]. L'accessibilité géographique, l'insuffisance des infrastructures et le manque de personnel qualifié dans les zones éloignées sont les obstacles classiques qui empêchent une prise en charge rapide des épidémies. L'émergence des résistances aux antiparasitaires est une complication supplémentaire. L'anticipation (prévention et prévision) reste donc le meilleur moyen pour une prise en charge efficace et efficiente des maladies infectieuses. La surveillance épidémiologique est l'outil de choix pour cette anticipation.

1.2.2 La surveillance nationale des maladies transmissibles

« *La surveillance, c'est de l'information appelant à l'action* » Dr J. KOSTRZEWSKI [Bouvet, 2005]

En santé publique elle consiste à :

1. suivre l'évolution d'un problème de santé et connaître ses caractéristiques : *décrire*
2. détecter des épidémies ou l'émergence de nouveaux problèmes de santé : *alerter*
3. évaluer l'efficacité d'une mesure de contrôle ou de prévention : *évaluer*
4. élaborer et tester des hypothèses : *innover pour prédire*

Pour l'OMS, « des informations sanitaires de bonne qualité sont essentielles à la planification et à la mise en œuvre des politiques de santé dans tous les pays. La surveillance permet d'obtenir à temps les informations dont les pays ont besoin pour combattre les épidémies du moment, ou se préparer à affronter celles du futur. La surveillance est un outil essentiel de l'action de santé publique. » [2008]

Le système national de surveillance des maladies transmissibles (Normes OMS, 2000)

Le système de veille sanitaire s'organise 3 types d'activités : les activités de surveillance, les activités de riposte et les activités de soutien à la surveillance (Figure 2).

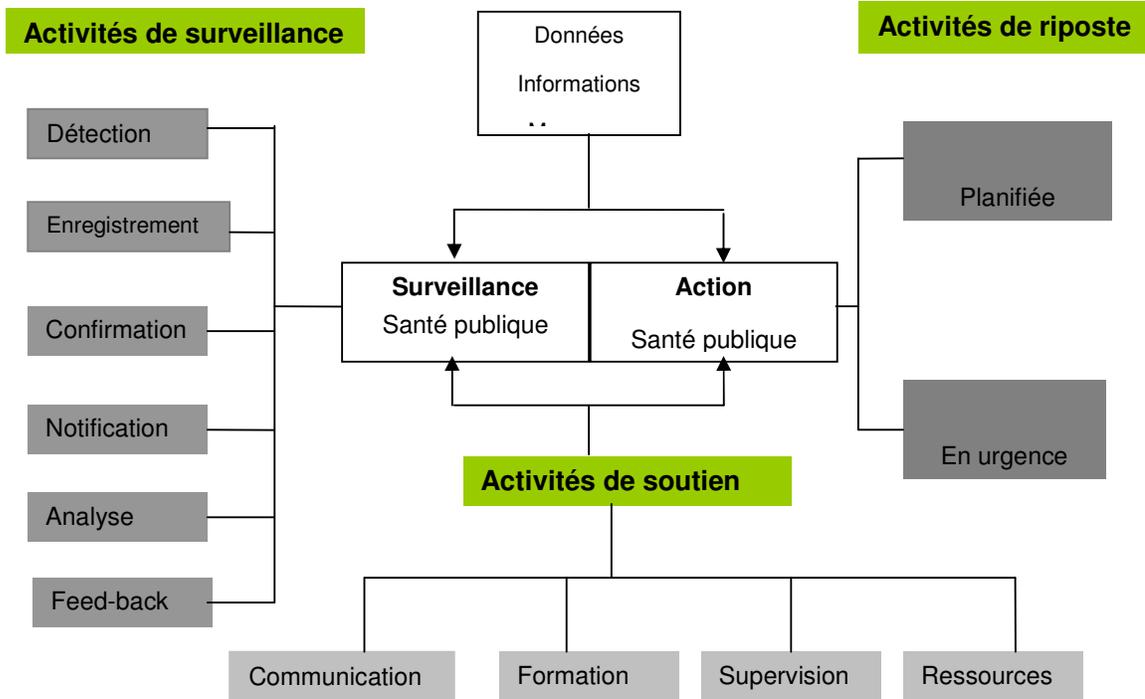


Figure 2 : Activités du système de surveillance en santé publique

(Sources : Normes OMS pour la surveillance, 2000)

Pour mener à bien ces activités le système national de surveillance dans les pays d'Afrique subsaharienne s'organise en 3 niveaux : le niveau périphérique, le niveau intermédiaire, le niveau central. Il débouche sur un niveau d'intégration à l'échelle régionale, représenté par l'OMS. C'est elle qui assure la coordination des activités de surveillance dans la région africaine. (Figure 3)

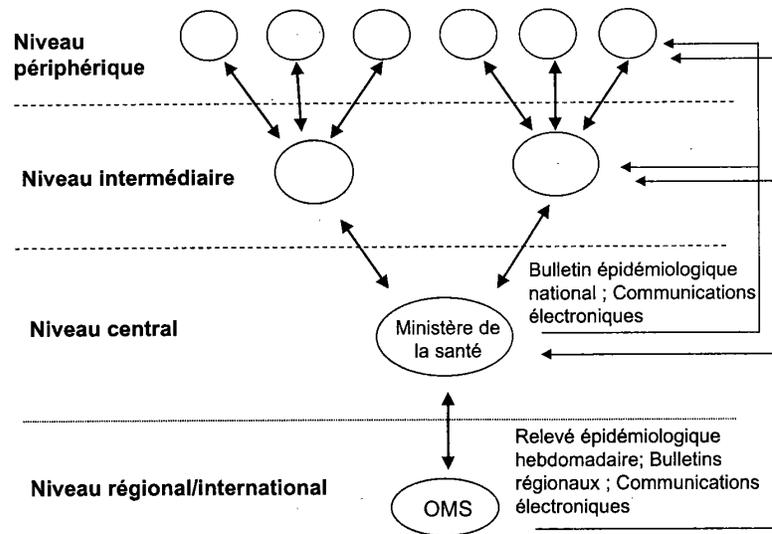


Figure 3 : Organisation du réseau national de Surveillance des maladies transmissibles

(Sources : Normes OMS pour la surveillance, 2000)

1.2.3. Vers un système de surveillance internationale : le RSI 2005

Le 23 mai 2005, la 58^e Assemblée mondiale de la santé a adopté le nouveau règlement sanitaire international (RSI 2005) en vue d'adapter les mécanismes de défense contre le péril infectieux aux réalités du 21^e siècle. Un délai de 5 ans (2005-2010) a été accordé aux Etats signataires en vue d'adapter les systèmes nationaux. (Annexe 2) Son article 2 définit clairement les objectifs du RSI 2005 : « *L'objet et la portée consistent à prévenir la propagation internationale des maladies, à s'en protéger, à la maîtriser et à y réagir par une action de santé publique proportionnée et limitée aux risques qu'elle présente pour la santé publique, en évitant de créer des entraves inutiles au trafic et au commerce internationaux* ». Pour se faire, il est demandé aux Etats partie d'évaluer et d'adapter leurs structures, en vue de la surveillance, de la notification de la communication et de l'action de santé publique en rapport avec tout évènement susceptible d'avoir une portée sur la situation sanitaire mondiale.

2 Problématique : Limites de l'approche verticale des maladies transmissibles

2.1 Importance de l'environnement global

Le système actuel de surveillance des maladies transmissibles en Afrique est fondée sur une approche verticale « hospitalo-centrique ». Il recueille uniquement « l'information sanitaire » à partir de:

- « la déclaration de cas » de maladies cibles (maladies à déclaration obligatoire) et
- l'appréciation des tendances générales de ces maladies au regard des données démographiques disponibles.

2.1.1 Le concept de « surveillance intégrée »

Initié par l'OMS en 2000, il fait allusion à une surveillance de l'ensemble des maladies prioritaires du bloc épidémiologique. Cependant, les capacités d'anticipation d'un tel système dans le contexte économique, politique et social subsaharien, restent faibles. En effet, les épidémies sont tributaires d'une dynamique globale [Gentilini, 2001], répondant à plusieurs facteurs : d'abord le « complexe pathogène », ensuite le climat, auxquels s'ajoutent les classiques difficultés techniques et organisationnelles de la transmission du flux d'informations entre acteurs du système et le déficit de mise à jour des données démographiques.

2.1.2. Le complexe pathogène

Selon SORRE et déjà dans les années 30, la maladie infectieuse est le résultat d'une rencontre entre l'homme, un agent pathogène et son vecteur éventuel, dans un environnement donné. [Sorre, 1930]. Cet environnement rend compte de la distribution spatiale et temporelle de l'agent pathogène et /ou de son vecteur à travers des paramètres physiques : température et précipitation. Des paramètres anthropiques y participent également : type d'habitat, les types d'activités humaines, la présence d'aménagements hydroagricoles, les déplacements de populations... [Gentilini, 2001].

2.1.3 Le changement climatique

Le changement climatique inaugure une ère de grande incertitude pour les maladies transmissibles. La redistribution des espèces vectorielles et l'aggravation des phénomènes naturels extrêmes exposent particulièrement les populations d'Afrique subsaharienne. La bande soudano-sahélienne qualifiée de « zone écologique fragile », mais aussi les bandes forestières et côtières sont exposées. [Atlas de l'Afrique de l'ouest, 2008] [Menne, 2007]. Cette influence du climat sur les maladies transmissibles a permis de définir les « *climate sensitive diseases* » ou pathologies environnemento-dépendantes. L'OMS a dressé une liste de 14 affections environnemento-dépendantes.

2.2 Les données socio-démographiques

L'Afrique subsaharienne connaît une urbanisation rapide. Ce fort d'urbanisation contribue à créer des « paysages pathologiques » différents à l'intérieur d'une même ville. Les zones de fortes concentrations humaines dans des quartiers précaires favorisent les maladies à transmissions interhumaines directes auxquelles s'ajoutent celles liées à un mauvais système d'assainissement. Ces données peuvent être à l'origine d'épidémies ou entretenir un foyer endémique. **[Gentilini, 2005]**

2.3 La transmission des données dans le système de surveillance

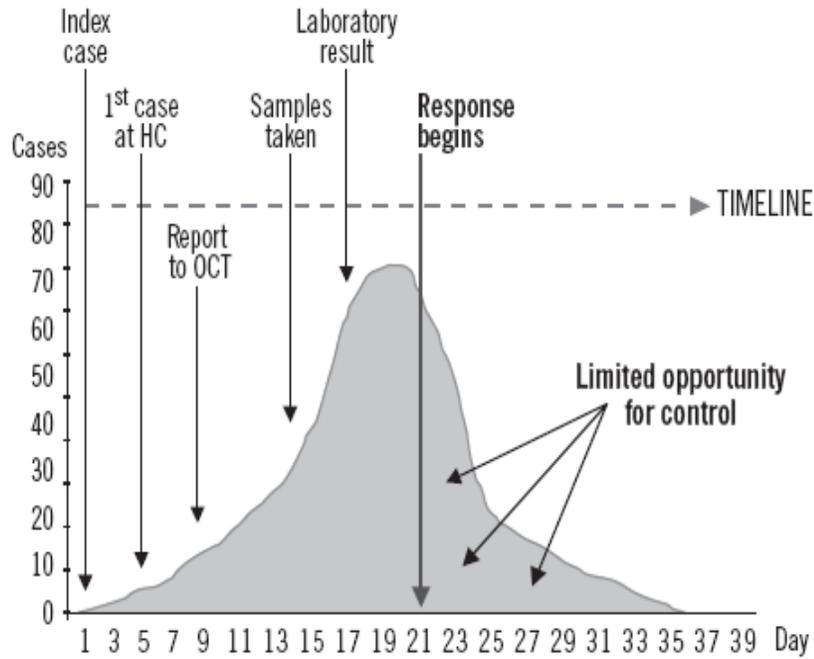
La rapidité dans la transmission des données recueillies est capitale pour la réactivité du système de surveillance. **[Ondoua, 2005]** Elle définit le système d'alerte précoce **[OMS,2000]** et conditionne la rapidité de la riposte qui reste essentielle pour le contrôle des épidémies (Figure 4).

Au total, les facteurs de l'environnement global exercent un certain déterminisme dans la dynamique des épidémies. Un système de surveillance qui ne traite que l'information émanant du « pôle sanitaire » perd en capacité de prévision et de prévention, particulièrement dans le contexte de l'Afrique subsaharienne. Cette approche jusque-là «verticale » peut expliquer l'échec relatif des programmes de lutte contre les maladies transmissibles en Afrique. **[LeBras, 2004]**

2.4 Hypothèse de recherche

L'intégration des paramètres de l'environnement global dans le système de surveillance de routine des maladies transmissibles peut offrir de meilleures possibilités de contrôle des épidémies en Afrique. La technologie satellitaire permettrait aujourd'hui l'intégration de tels paramètres.

Sequence of events in outbreak detection and confirmation: scenario 1



Sequence of events in outbreak detection and confirmation: scenario 2

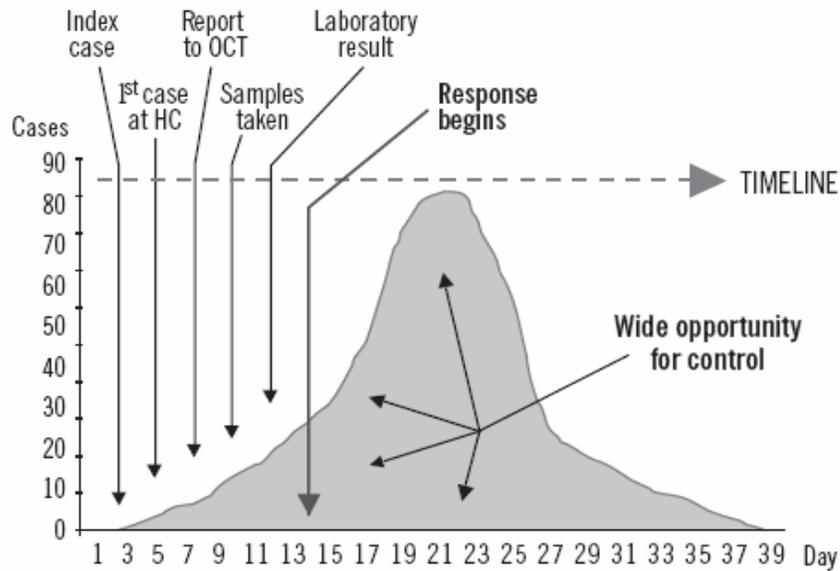


Figure 4 : Intérêt d'une détection précoce

(Sources, Communicable diseases control in emergencies, OMS 2005]

3 Technologies satellitaires et santé publique

3.1 Généralités sur l'outil

Le satellite (artificiel) est un objet fabriqué par l'homme mis en orbite autour d'un corps céleste à l'aide d'un lanceur spatial [Encyclopédie libre Wikipedia, 2008]. Son déplacement obéit aux 3 lois de Kepler. Il est utilisé dans le domaine de la télédétection, du positionnement, de la communication et de la recherche. Le satellite est composé de deux parties : la « plate-forme » à mesure de porter « les capteurs » dans les conditions d'opération souhaitées. [Bonn, 1998]. L'orbite et l'altitude du satellite sont décidées en fonction de l'intérêt qu'on en attend :

- l'orbite héliosynchrone (300 et 1500 km d'altitude) pour les capteurs de ressources : LANDSAT, SPOT et NIMBUS
- l'orbite géostationnaire (36 000 km d'altitude) : surveillance constante d'un même point terrestre : GOES ou de METEOSAT
- l'orbite circulaire quelconque : survol la terre à une même altitude : SEASAT, ERS-1 et RADARSAT.

Les satellites de communication assurent une couverture planétaire. C'est le cas du réseau Iridium composé de 66 satellites ou de *Globalstar* avec ses 48 satellites.

Dans le domaine du positionnement l'application la plus courante reste le Global Positioning System (GPS) du Département de la Défense (DoD). Il est composé de 24 satellites avec une précision remarquable variant de 50 m à quelques centimètres selon l'engin utilisé. Son accès est libre et gratuit. L'équivalent européen GALILEO est en cours de construction. D'autres systèmes de positionnement existent dont notamment le système franco-américain ARGOS basé sur les satellites NOAA avec 8500 balises terrestres permettant de suivre en temps réel les migrations d'animaux, ainsi que des données sur l'environnement physique. [Meynard, 2003]

L'observation terrestre est dévolue aux satellites du type LANDSAT (NASA) ou SPOT (CNES 1986,1990). Les différentes composantes de la surface terrestre (sol, eau, végétation,...) ont chacune une émission électromagnétique spécifique (signature spectrale) qui permet leur identification et leur suivi en télédétection. Ainsi des modifications de l'environnement physique peuvent être suivies en temps réel. [Bonn, 1998]

Les informations acquises par le satellite ne sont utilisables qu'après usage de logiciels spécifiques. Ce sont les systèmes de traitement d'image (STI) ou de « correction ». 2 types de corrections sont utilisés en télédétection : les corrections radiométriques et les corrections géométriques. Après la correction, « l'extraction » permet de disposer de l'information désirée. Le satellite permet donc de disposer d'informations sur un territoire terrestre (fauchée du satellite) acquise à différents moments selon sa fréquence de revisite. L'environnement global peut ainsi être observé, mesuré et modélisé grâce aux satellites. C'est cette propriété de l'outil qui justifie son usage potentiel en santé publique.

3.2 Intérêt en santé publique

3.2.1 La géomatique et l'information géographique

La géomatique est la rencontre de 2 domaines : la géodésie et l'informatique. Elle est définie comme une Science ayant pour objet d'observer la Terre (partiellement ou globalement), d'en mesurer certaines caractéristiques physiques et humaines, de stocker les données acquises, de traiter ces données en vue d'obtenir des informations d'aide à la décision [Bénié, 2008]. Ces informations constituent « l'information géographique ». Elle est géoréférencée c'est-à-dire rapportée à un point précis de la terre et peut s'exprimer sous la forme d'un point, d'un tableau, d'une carte ou d'une image. 4 systèmes composent les systèmes géomatiques : les systèmes de cartographie assistée par ordinateur, les systèmes de traitement d'image, les systèmes de positionnement global et les systèmes d'information géographique (SIG)

3.2.2 Les systèmes d'information géographique (SIG)

Ils sont définis comme un « système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989). Le SIG est donc un ensemble organisé globalement comprenant des éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat, la référence des données et éléments étant la Terre. 80% des informations circulant dans le monde ont une composante géographique. [Meynard, 2003]

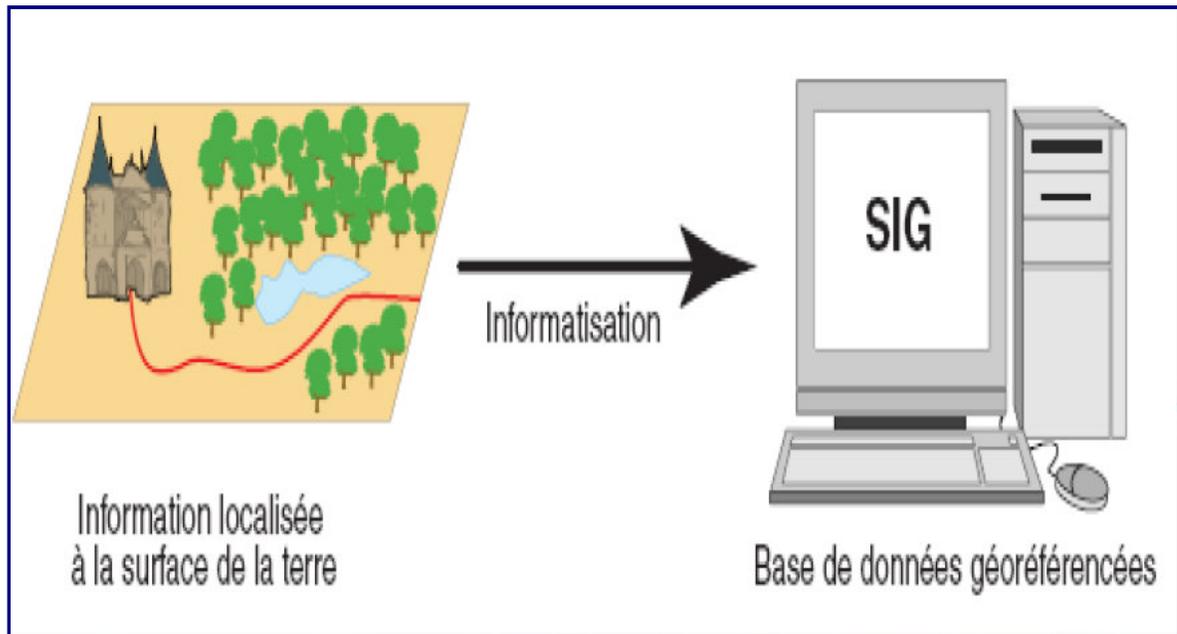


Figure 5: Eléments d'un Système d'Information Géographique (Sources : ESRI)

3.3 Application en santé publique

3.3.1 La cartographie sanitaire

Comment sont distribuées les ressources sanitaires sur l'ensemble du territoire national ? Quel est l'état de ses ressources ? Quelles sont les affections prévalant dans les différentes zones géographiques du pays? L'information sanitaire est le premier secteur à bénéficier de l'utilisation des SIG. En effet le niveau stratégique a constamment besoin d'informations en temps réel en vue d'opérer des décisions pour les niveaux tactiques et opérationnels. Les SIG de plus en plus performants permettent la mise à jour en temps réel des données sanitaires. Ces données sont visualisables sur une carte ce qui améliore la compréhension et la prise de décision. Le *HealthMapper* de l'OMS est un exemple d'application permettant de générer des informations sanitaires à partir de 3 applications [OMS, 2007] :

1. une base de données géoréférencée standardisée
2. un gestionnaire de base de données
3. une interface de cartographie

L'outil est gratuit et disponible cependant son utilisation reste encore marginal dans les différents systèmes de santé.

3.3.2 La télé-épidémiologie

C'est une application médicale des technologies de l'espace. Elle associe les données spatiales et les paramètres climatiques, entomologiques, socio-économiques et cliniques au moyen de données acquises par différents satellites pour suivre la progression de certaines épidémies fortement liées à des modifications environnementales. [Fouquet, 2007]. Le recueil des données est le premier objectif de la télé-épidémiologie. [Guel, 2003]. Deux groupes de données seront donc recueillies :

- Les données humaines à travers un réseau sentinelle sur le terrain doté de moyens de communication traditionnels ou issus des nouvelles technologies contribuant à la saisie des données là même où les infrastructures sont absentes ou insuffisantes.
- Les données environnementales recueillies grâce aux satellites

Ces informations permettent au système de santé d'assurer la surveillance spatiale des épidémies en suivant leur évolution en temps réel ce qui permet la mise à jour de l'information sanitaire et l'adaptation des moyens de lutte. On retrouve la réplique moderne du travail du Dr John Snow dans la célèbre épidémie de cholera à Londres.

3.3.3 Modélisation des maladies transmissibles

Le deuxième objectif de la télé-épidémiologie, complémentaire du premier est l'élaboration de modèles

mathématiques prédictifs. Etape plus complexe, la modélisation vise à simplifier la réalité des épidémies afin de mieux les comprendre voire de les prévoir. Pour les maladies à transmission vectorielle, des modèles dits « géographiques » sont utilisés. Leur objectif est de cartographier les zones à risque à partir de la distribution spatiale du vecteur et des probabilités de rencontre hôte-vecteur. [Tran, 2005].

Les différents types de modèles

Différents types de modèles ont été déjà élaborés et permettent des avancées importantes dans la lutte contre les endémies tropicales.

- **Le modèle compartimental ou modèle SIIR de KERMACK et MCENDRICK (1927)**

Il décrit les passages successifs d'un état à un autre du sujet sain au sujet résistant ou décédé.

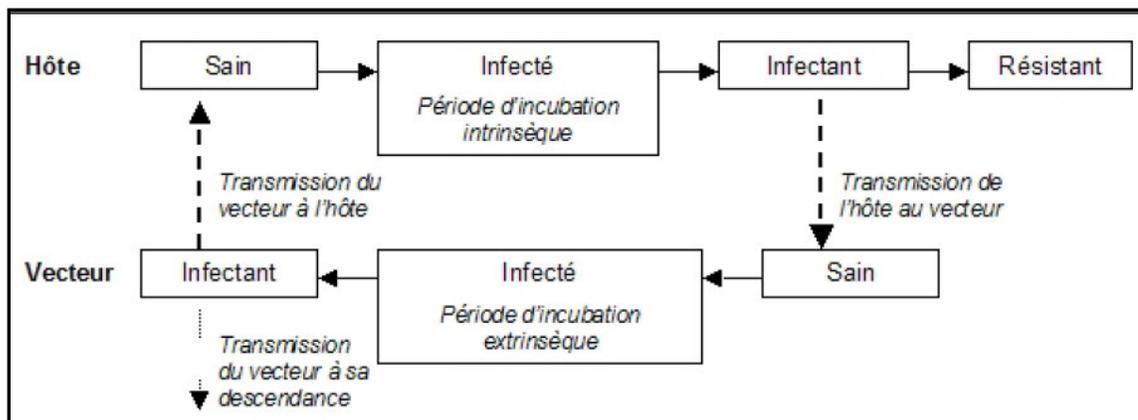


Figure 6 : Modèle SIIR

- **la capacité vectorielle du moustique dans le paludisme (Garret-Jones, 1964)**

Elle exprime le nombre de cas attendus pour 1 cas.

$$C = m.a^2.p^n / -lnp$$

Avec m le nombre de vecteur par hôte, a le taux de vecteur piquant par unité de temps p le taux de survie journalier et n la durée du cycle d'incubation extrinsèque. On peut aussi calculer la capacité vectorielle utile.

- **le taux de reproduction de base (R0) (McDonalds, 1957)**

C'est un paramètre seuil qui définit le nombre de cas secondaires générés à partir de l'introduction d'un premier cas infecté dans une population sensible. Elle est liée à la capacité vectorielle pour

les maladies à transmission vectorielle : $R_0 = C / r$

- **L'indice de végétation (INVI ou NDVI)**

Le *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) est une mesure de la quantité et de la densité de la végétation de surface de la terre. Le calcul du NDVI est le suivant :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR}-\text{R}}{\text{PIR}+\text{R}} \quad (\text{PIR} = \text{le presque infrarouge et R le rouge visible}).$$

Cet index normalisé varie entre [- 1 ; + 1].

Tableau II: Satellites et données acquises

Type de satellite	Données
Météorologique	Etude des masses nuageuses indicatrices de pluies (T° et altitude des nuages froids)
	Direction et force des vents : poussières, périmètre de vol des insectes (vecteurs)
Observation de la Terre (SPOT)	Indice de végétation (NDVI)
	Surfaces agraires : rencontre homme-vecteur
	Caractéristiques des forêts
	Caractéristiques urbaines : lieux d'habitation, terrains vagues et vulnérabilité aux catastrophes
	Détection des marres, cours d'eau, eaux stagnantes : indicateurs de biotope
Positionnement (GPS)	Suivi des troupeaux
	Déplacements des populations
« Scientifiques » (NOAA)	T° de surface des océans : zooplancton et phytoplancton
	Niveau des mers : eaux potentiellement polluées

(Sources : Fouquet, 2007)

Modèle théorique miroir simplifié de la réalité

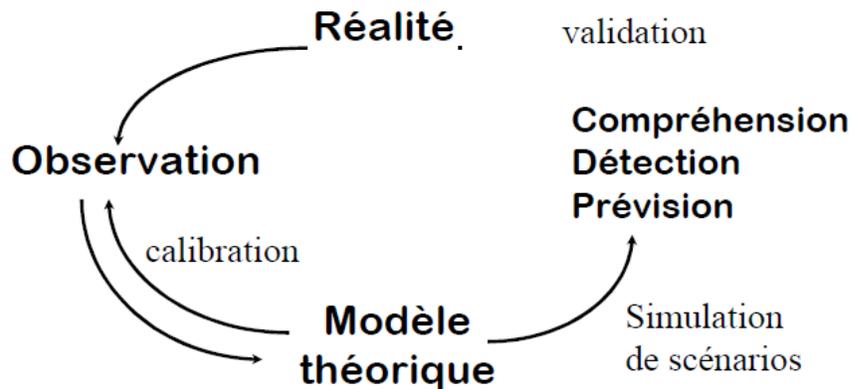


Figure 7 : Cadre conceptuel des modèles en épidémiologie [Sources : Flahaut, 2005]

3.3.4 La télémédecine et la surveillance électronique

Les applications du satellite dans le domaine de la santé peuvent être ramenées au seul malade. Le médecin étant relié à son patient via une connexion satellite. C'est la télémédecine. Cette application s'avère particulièrement appropriée pour le désenclavement des sites isolés. Ceci entre dans le contexte plus général de la télé-santé. [www.cnes.fr]. La surveillance électronique des maladies est l'utilisation des moyens satellitaires pour la transmission des données et la connexion des différents acteurs de la surveillance classique depuis le niveau périphérique jusqu'au niveau central. La confirmation de cas pouvant se faire dès le niveau périphérique par les moyens de télémédecine.

Ces applications à la santé publique permettent de mettre en place un système « en temps réel » et donc de faire de l'alerte précoce.

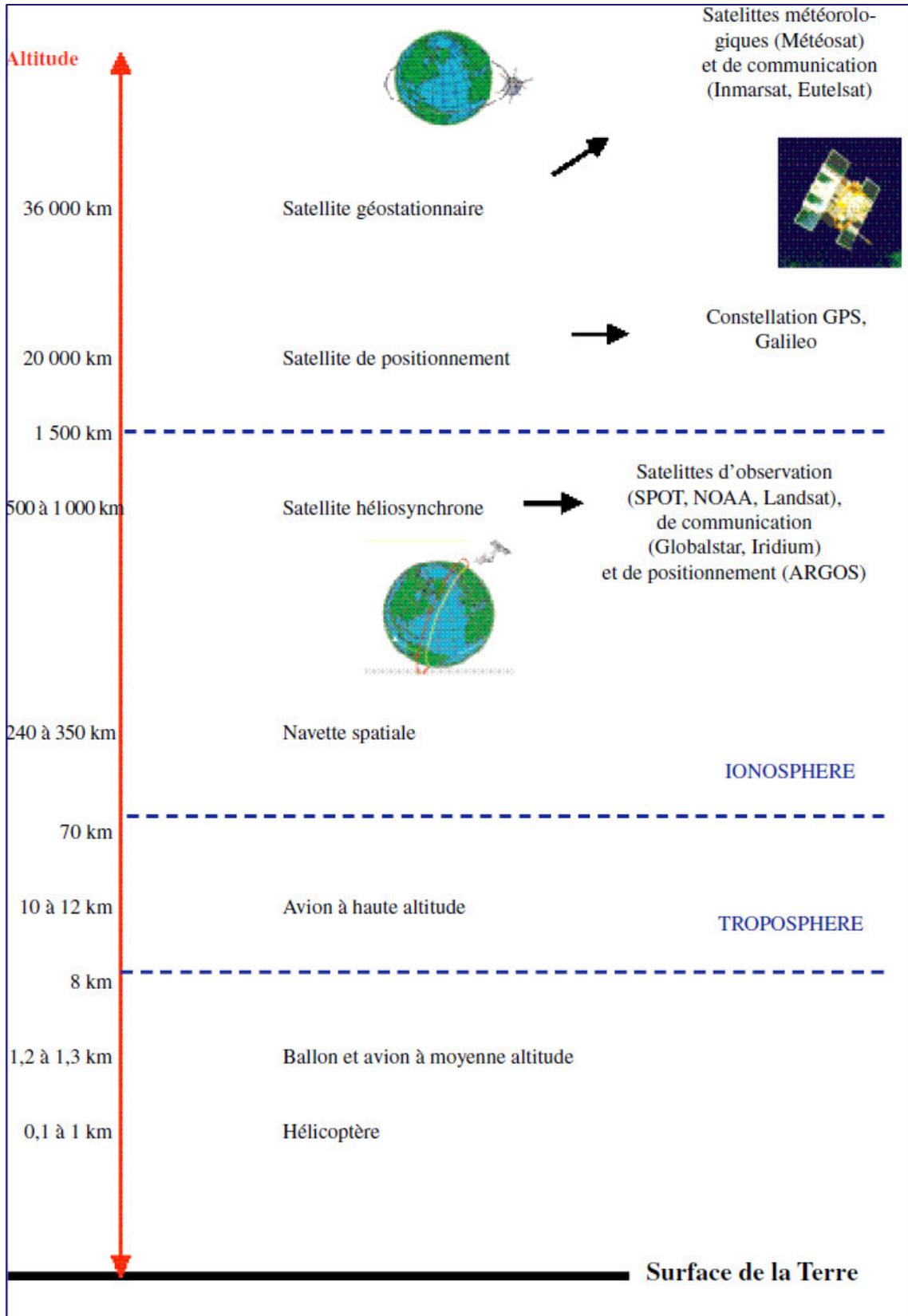


Figure 8 : Les différents types de satellites

4 Matériel et méthodes

Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons basé notre travail sur les outils suivants :

1. La démonstration du SIG du projet européen SAFE au cours de notre stage effectué à l'Institut de Médecine et de Physiologie Spatiales IMPS-MEDES, filiale du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et l'étude du rapport du projet. Ce rapport est aussi disponible sur le site du MEDES : www.medes.fr
2. une participation au colloque scientifique « santé et environnement » de l'Observatoire des Midi-Pyrénées (OMP) à Toulouse en juillet 2008
3. Une recherche bibliographique sur **PubMed** à partir des **MeSH** suivants:
 - a. "Geographic information systems" **AND** "communicable diseases"
 - b. « remote sense » **AND** "communicable diseases"

Ensuite nous avons remplacé "*communicable diseases*" par les appellations en anglais des affections majeures du milieu tropical africain :

- "malaria" pour le paludisme
- "Tuberculosis" pour la tuberculose
- « cholera »
- « shistosomiasis »
- Rift Valley fever pour la fièvre de la vallée du Rift
- Health emergencies

Nous avons également utilisé des données issues des sites spécialisés dans l'information géographique ou dans les applications des technologies spatiales dont :

1. ESRI : ESRI/France : www.esrifrance.fr et ESRI international : www.esri.com à www.gis.com
2. GeospatialHealth : www.geospatialhealth.unina.it (volumes 1, 2,3)
3. le programme "Redgems" de Medias-France : www.redgems.org
4. le site du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) : www.cnes.fr
5. le site de la (NASA) : www.nasa.gov
6. le site du CDC d'Atlanta : www.cdc.gov
7. le site de l'agence spatiale européenne (ESA) : <http://www.esa.int>

A partir des informations ainsi collectées nous avons répertorié dans un premier temps, les paramètres de télédétection qui ont été utilisés dans des travaux de santé publique dans le cadre des maladies

transmissibles. Ensuite, tenant compte des ressources et du contexte africain notre travail a consisté à proposer ceux des paramètres qu'on pourrait utiliser à court terme dans le système de surveillance de routine des maladies transmissibles: c'est la conception du projet « i-djembé »

5 Résultats

5.1 Paramètres de télédétection utilisables dans la surveillance des maladies transmissibles

Les paramètres ont été identifiés en fonction des différents groupes de pathologies infectieuses.

5.1.1 Les maladies à transmission vectorielle

- **Paludisme**

Les travaux basés sur l'utilisation des SIG dans le paludisme ont permis de différencier 2 facteurs dans la transmission et le niveau d'endémicité ou d'épidémicité du paludisme dans une région donnée [Meynard, 2003]. Les facteurs extrinsèques qui relèvent essentiellement de l'environnement physique et les facteurs intrinsèques qui sont d'ordre immunologique. [Snow, 1999], [Kalluri et al, 2007].

Paramètres de télédétection utilisables :

On distingue :

- 1) les variations de pluviométrie. L'enregistrement continu des données météorologiques montre des liens étroits entre les populations vectorielles, les pics épidémiques et les variations pluviométriques. [Roll back malaria, OMS,2002]
- 2) l'indice de végétation (NDVI). Des travaux en Gambie ont montré des liens entre les variations du NDVI et les cas de paludisme surtout chez les enfants. Cet indice apparaît aussi comme d'une bonne valeur prédictive de la prévalence et surtout de l'incidence du paludisme d'une saison à l'autre. [Omumbo, 2004] [Thomson, 1999]
- 3) les sites de reproductions larvaires. L'imagerie SPOT permet leur identification précise et leur cartographie. Ce qui permet en plus du calcul de la capacité vectorielle dans le cadre de la modélisation mais aussi la discussion de ma stratégie de lutte : élimination des gîtes [Claborn,2002]
- 4) Indices socio-démographiques: types d'habitations, regroupements et déplacements de populations, systèmes d'assainissement. Les travaux de Srivastava dans le district de Dindigul en Inde ont identifié des données socio-démographiques « modélisables » dans le cadre de la lutte antivectorielle en zone urbaine. [Srivastava, 2003]

Les techniques d'analyse spatiale croisant les données environnementales et les données

démographiques permettent d'établir des cartes de risque, faciles à mettre à jour selon les variations des paramètres. Elles vont orienter la décision stratégique, tactique et opérationnelle **[Roll back malaria, 2005]** <http://www.rollbackmalaria.org/>. Elles permettent une meilleure décision coûts/efficacité. **[Claborn, 2002]**

Différents types de cartes de risque existent :

- Celles montrant la distribution spatiale des vecteurs. Elles sont pertinentes dans la mesure où tous n'ont pas la même « capacité vectorielle » **[Coetzee, 2000]**
- D'autres cartes permettent de visualiser les populations à risques essentiellement en fonction des données climatiques. **[Snow, 1999]**

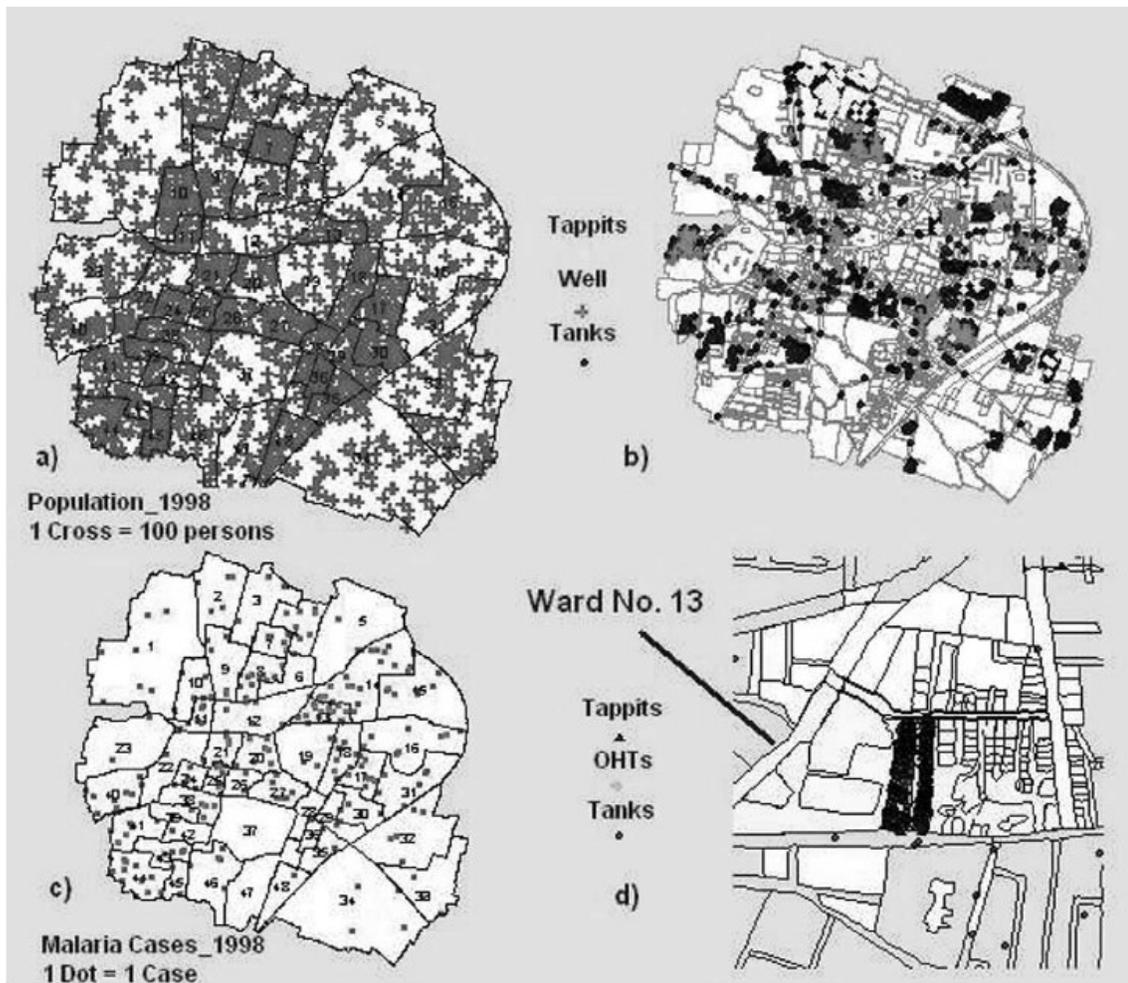


Figure 10 : SIG et paludisme en zone urbaine : cartes représentant la distribution de la population (a) les facilités domestiques : puits, sources d'eau (b) les cas de paludisme (c) et les canalisations des quartiers (d) (Sources : Srivastava, 2003)

- **La Fièvre de la Vallée du Rift (FVR)**

Les 2 extrémités est et ouest de la bande soudano-sahélienne ont été le site d'étude de la FVR basée sur les données satellitaires : le Kenya à l'est et le groupe Sénégal-mauritanien à l'ouest.

Paramètres identifiés :

- 1) les marres temporaires : Les données de LANDSAT ont permis de mettre en évidence le rôle des marres temporaires dans la transmission verticales du virus. Les œufs du vecteur (*aedes vexans*) parvenant à éclosion dès les premières pluies. D'où le rôle amplificateur des aménagements hydrauliques dans la survenue des épidémies de FVR. [Guel,2003]
- 2) Le phénomène ENSO (El Niño Southern Oscillation): Les variations de températures dans l'océan pacifique à l'origine du phénomène El niño ont démontré une forte corrélation avec la survenue des phénomènes naturels extrêmes, et d'épidémies. Dans l'est de l'Afrique, les données rétrospectives (50 ans) du système de satellites NOAA ont permis d'établir un lien entre les épisodes de phénomène ENSO et la survenue d'une épidémie de FVR. [Linthicum, 2001]. Malgré sa grande irrégularité, avec une périodicité variable de 2 à 7 ans, de nombreux moyens permettent aujourd'hui de prédire la survenue d'un épisode El niño et donc de se préparer à ses effets parfois dévastateurs.

- **Bilharziose**

Désormais maladie des aménagements hydroagricoles, l'utilisation des satellites permet les mises à jour de l'Atlas global de la distribution des schistosomiasés (Doumenge, 1987). Les données de NOAA permettent d'établir un lien entre des facteurs environnementaux et la distribution du système *shistosoma mansoni* - *Biomphalaria*. [Brooker, 2002]. Des modèles prédictifs peuvent ainsi être élaborés sur la base de ces facteurs selon des travaux menés à Bahia au Brésil, [Bavia, 2001] et ceux de Malone, dans l'est éthiopien [Malone, 2001].

Paramètres identifiés :

- 1) la température de surface des sols
- 2) l'indice de végétation (NDVI)

5.1.2 Les maladies liées à l'eau : le cholera

Paramètres identifiés :

- 1) la température de surface des océans
- 2) le niveau de la mer

Les mesures océanographiques fournies par NOAA ont permis d'identifier 2 paramètres environnementaux qui favoriseraient le développement du zooplancton réservoir du *vibrio cholerae*. Dans le Golfe du Bengale ce qui permet de prévoir le risque d'épidémie de cholera en cas d'inondation. [Guel,2003]. Aussi les modèles numériques d'altitudes (MNA) couplés aux données du capteur TM de LANDSAT-5 ont permis à SALEY et all d'élaborer une carte de risques d'inondation dans la ville pluvieuse de Man dans l'ouest de la Côte d'ivoire. [Saley, 2005]

5.1.3 La surveillance électronique des maladies

Actuellement en cours d'expérimentation pour la surveillance de routine de la tuberculose multirésistante en Géorgie l'application web SAFE développé par le MEDES est un modèle d'utilisation de SIG à la surveillance électronique. [www.medes.fr]. Une récente étude menée en Afrique du Sud, toujours dans le cadre de la tuberculose a consisté à remplacer les adresses des patients suivis par les coordonnées GPS des habitations. Ce travail expérimental s'est avéré efficace dans la limitation des perdus de vue et dans l'application effective de la méthode DOTS. [Dwolatzky, 2006]. Les coordonnées GPS constituent donc un autre paramètre utilisable dans un système de surveillance.

5.1.4 Les maladies respiratoires : les méningites épidémiques

Des études sont en cours basées sur les données des satellites météorologiques et les balises terrestres du système CLS-ARGOS pour déterminer le rôle exact des éléments environnementaux dans l'épidémie. Les observations empiriques ont permis depuis longtemps déjà de lier les épidémies de méningites à l'harmattan dans la zone soudano-sahélienne mais les facteurs précis restent encore à déterminer. [Guel,1999]

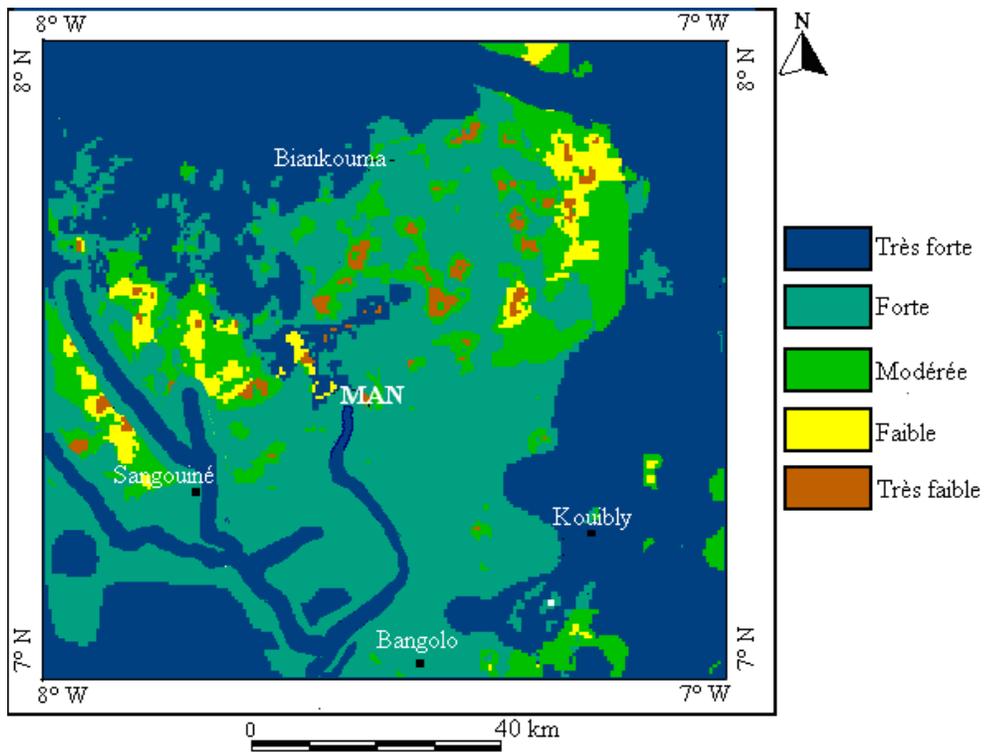


Figure 11 : Carte de risque pour les inondations dans la ville pluvieuse de Man (Côte d'Ivoire)

(Saley et al.,2005)

6 Le Projet « i-djembé »

6.1 Définition et objectifs

« *i-djembé* » est un projet de renforcement de la surveillance de routine des maladies transmissibles, basé sur l'utilisation des technologies satellitaires.

Il consiste en l'intégration des paramètres transversaux issus de l'environnement global dans le système national de surveillance des maladies transmissibles.

Il a pour objectif général d'améliorer la sensibilité, la spécificité et la réactivité du système. Le projet vise d'abord un déploiement à un échelon national, dans chaque pays de la zone CEDEAO, avant d'aboutir sur une plate-forme commune de surveillance sous-régionale des épidémies.

6.2 Intérêts

La surveillance épidémiologique « classique » ainsi renforcée pourra alors fonctionner comme un système d'alerte précoce en santé - d'où l'idée du « djembé », tam-tam annonceur en Afrique de l'ouest. Le « i » insiste sur l'outil informatique, base du système. En plus la solution « i-djembé » intègre un réseau d'acteurs permettant d'optimiser les possibilités nationales de riposte en cas d'épidémie grave.

6.3 Maladies-cibles

Ce sont celles déjà prise en compte par le système national. L'ajout de nouvelles données de surveillance et la performance des solutions techniques permettra de mettre l'accent sur des groupes particuliers :

- les maladies environnemento-dépendantes : paludisme, cholera, méningites épidémiques, fièvres hémorragiques, ...
- les maladies liées aux conditions sociales et démographiques : tuberculose, VIH,

A termes le système intégrera l'ensemble des maladies prioritaires du bloc épidémiologique telles que définies par l'OMS (OMS, 2005).

6.4 Résultats attendus

Le projet « *i-djembé* » devrait permettre, grâce à une approche transversale :

1. une surveillance épidémiologique plus performante
2. une meilleure allocation des ressources de luttés contre les maladies transmissibles
3. un meilleur contrôle des épidémies par la prévision et la prévention
4. une intégration plus grande des réseaux communautaires dans la lutte contre les épidémies
5. l'anticipation sur les risques épidémiques

6.5 Activités

Comme tout SIG, « *i-djembé* » devra générer des outils d'aide à la décision

1. Observation du lien entre les facteurs de l'environnement global et les cas de maladies
2. Elaboration de modèles prédictifs des maladies transmissibles
3. Elaboration de cartes de risque des maladies transmissibles
4. Constitution d'un réseau d'acteurs pour l'alerte
5. Elaboration de protocoles locaux de riposte en cas d'épidémie

6.6 Description fonctionnelle du projet « i-djembé »

6.6.1 Définition de modules complémentaires et des nouvelles données pour la surveillance

Le renforcement du système national de surveillance des maladies transmissibles (SMT) se fait par l'ajout de nouveaux modules au module médical classique

- Module 1 : environnement physique
- Module 2 : environnement socio-démographique
- Module 3 : environnement zoonotique (animal)

Module I : Surveillance environnementale.

Elle a pour objectif d'observer les modifications du cadre physique et des écosystèmes en vue de surveiller les facteurs pouvant favoriser l'émergence des maladies-cibles. Les données retenues sont :

- 1) Données de type météorologique: températures et précipitations, vents et qualité de l'air
- 2) Données de type hydrologique : niveau des eaux de surfaces et des océans
- 3) Données géomatiques : indice normalisé de végétation (NDVI)

Module II : Surveillance socio-démographique

Elle a pour objectif de cartographier les lieux de résidence des populations exposées aux maladies-cibles ainsi que les déplacements significatifs des populations. Cette base de données est régulièrement mise à jour en fonction des cycles des maladies-cibles.

Les données recueillies sont :

- 1) Densité démographique et répartition de la population dans la zone surveillée
- 2) Conditions d'habitat : type d'habitat - eau courante – électricité – eaux usées
- 3) Déplacements de population

Module III : Surveillance animale

C'est l'observation des comportements animaux et leur éventuel lien avec l'apparition d'épidémies humaines.

Les données recueillies sont :

- 1) migrations d'animaux en particuliers les oiseaux sauvages
- 2) épidémies chez les animaux domestiques et animaux sauvages

Tableau III : récapitulatif des nouvelles données de surveillance du projet « i-djembé »

Modules	Données
Environnement physique	Températures (atmosphère, océans, eaux de surface, sols)
	Pluviométrie
	Direction des vents / qualité de l'air
	Niveaux des eaux /océans
	Indice normalisé de végétation
Environnement social et démographique	Densité démographique /occupation des sols
	Type d'habitat – électricité – eau courante – eaux usées
	Déplacement des populations
Surveillance animale	Migrations des animaux sauvages
	Epidémies animales domestiques ou selvatiques

6.6.2 Collecte, analyse et traitement des données

- **Collecte des données**

Les 10 nouvelles données supplémentaires prévues par « i-djembé » dans le système de surveillance seront collectées à partir de structures qui seront désormais associées au système de surveillance. Le tableau ci-dessous récapitule les structures nouvelles prévues par le projet.

Tableau IV : Structures de collecte des données supplémentaires

Modules de surveillance	Données collectées	Structures de collecte
Cadre physique	Températures	1. Services météo 2. Centre de télédétection
	Pluviométrie	
	Direction des vents / qualité de l'air	
	Niveaux des eaux /océans	
	Indice de végétation	
Cadre social et démographique	Densité démographique	3. Centre National de la statistique 4. Services Municipaux
	Type d'habitat	
Cadre animal	Déplacement des populations	5. Services vétérinaires 6. Services des eaux et forêts
	Migrations des animaux	
	Epidémies animales	

- **Analyse et traitement des données**

Les informations émanant des différentes structures sont transmises vers un point unique qui sera chargé d'analyser et de croiser les différentes données avec celles issues du pôle ou module médical. Ce point d'intégration sera défini dans le cadre de l'organisation du réseau.

6.6.3 Architecture du réseau de recueil des données supplémentaires dans le projet « i-djembé »

Le système de recueil de données supplémentaires s'organise en 2 niveaux :

- Le niveau périphérique constitué par l'ensemble des structures permettant de recueillir les nouvelles données de base au niveau de chaque pôle
- Le niveau central. C'est le niveau central du système de surveillance national auquel des compétences supplémentaires sont ajoutées. Ce sont des compétences multisectorielles et interministérielles: épidémiologistes, géographes, statisticiens, informaticiens, géomaticiens, démographes, socio-anthropologues (Figure 12). Il peut être désigné comme un Centre Intégré de Surveillance des Epidémies et Catastrophes (CISEC). En plus de ses fonctions traditionnelles en tant que niveau central, de nouvelles missions lui sont confiées :
 - 1- intégrer le flux d'informations émanant des zones de surveillance
 - 2- évaluer le risque d'épidémie
 - 3- planifier, préparer, coordonner et évaluer les activités de riposte
 - 4- servir de point focal RSI conformément à l'article 4.1. du RSI 2005

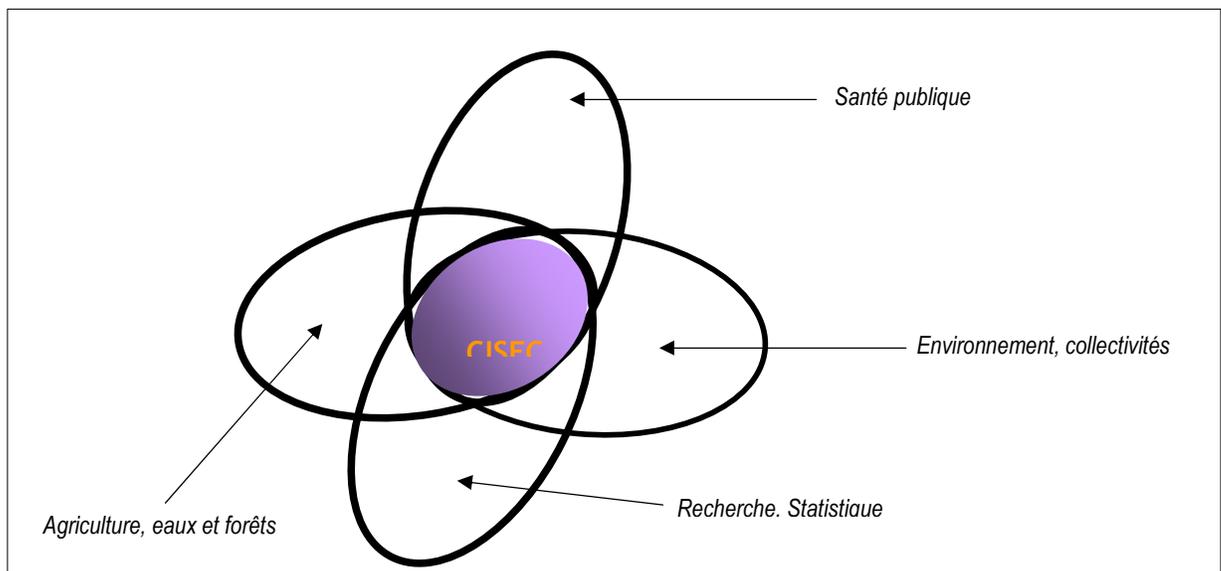
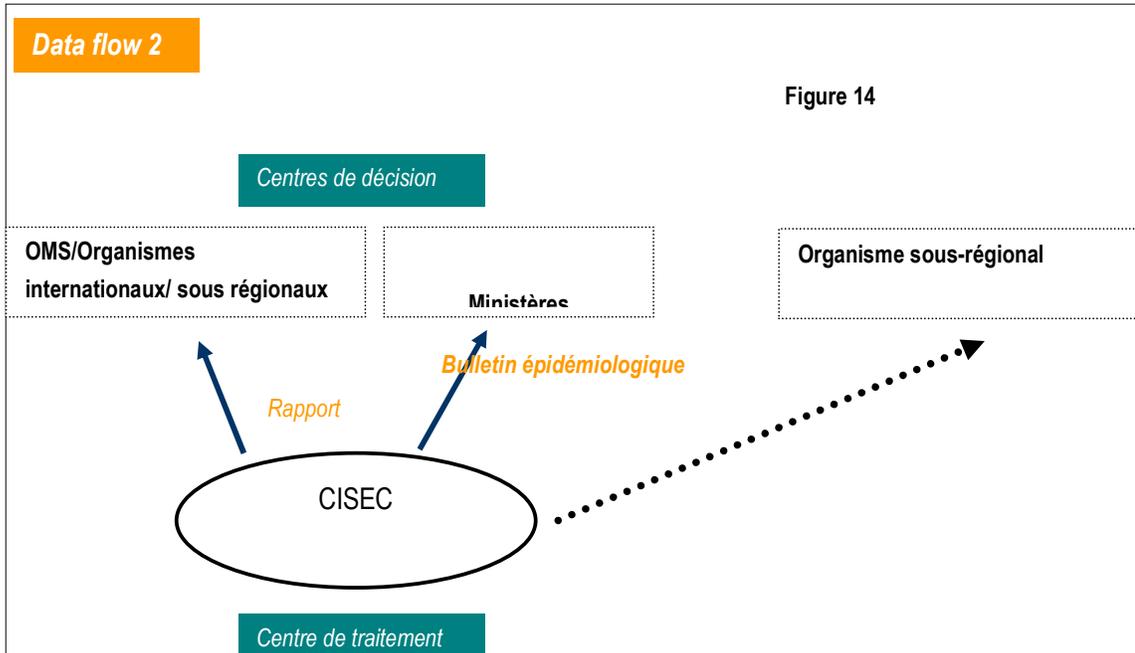
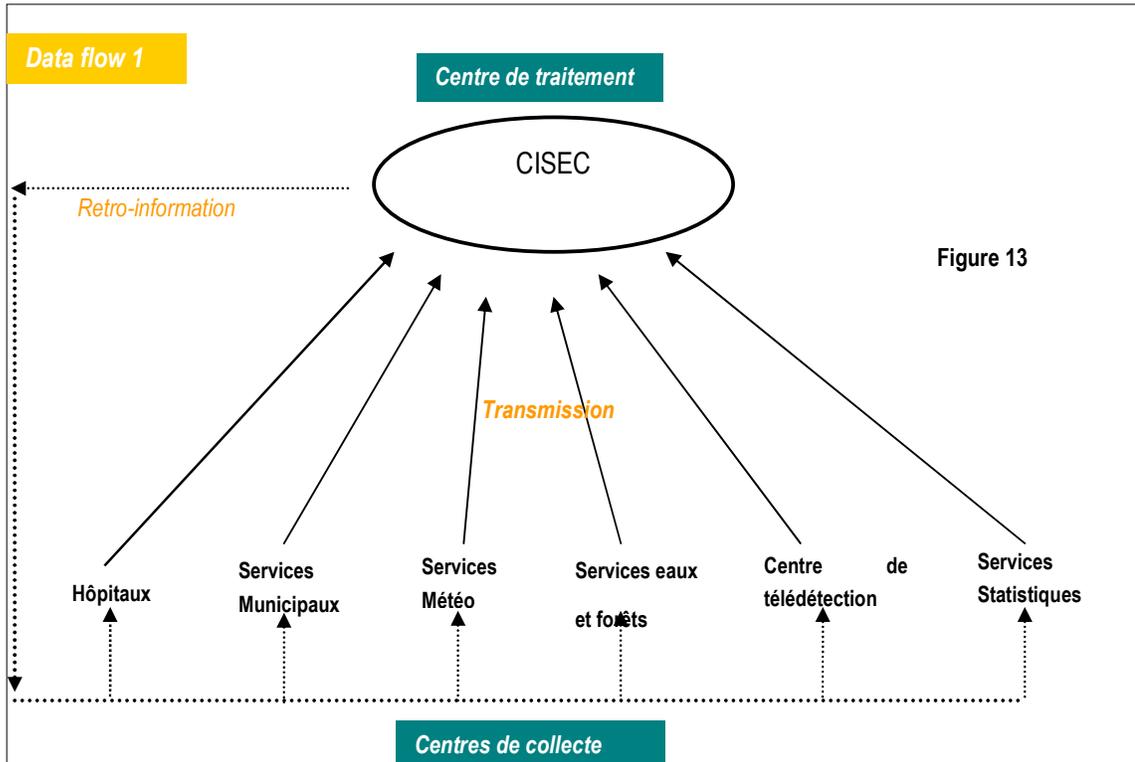


Figure 12 : Ministères d'origine des compétences supplémentaires à ajouter au niveau central

6.6.4 Les échanges d'informations entre les acteurs du système (data flow)

Le projet « i-djembé » prévoit 3 niveaux d'échange entre les acteurs du système de surveillance. Le « data flow 1 » intéresse la transmission des données de la source de collecte vers le niveau central et la retro-information. Le « data flow 2 » concerne les informations émanant du niveau central vers les centres de décision (niveau stratégique) ministères et organismes internationaux et le « data flow 3 »

concerne la transmission de l'information vers le réseau d'alerte et le grand public. (figures 13 à 15)



6.6.5 Le réseau d'alerte précoce

- **Définition des acteurs**

Le niveau central du système national de surveillance des maladies transmissibles met en place une cellule de communication « active ». Elle crée un réseau d'alerte de structure pyramidale qui se composera de 2 groupes d'acteurs :

Les acteurs traditionnels : issus des pouvoirs publics

1. les pouvoirs publics : ministères, préfets,... en zone rurale : chefferie traditionnelle
2. les organismes nationaux et internationaux partenaires
3. les structures sanitaires publiques, privées et humanitaires

Les nouveaux acteurs : issus de la société civile

1. Associations, vedettes du monde culturel et sportif
2. Ecoles et universités
3. Médias publics et privés, Internet et les panneaux d'affichage
4. Organisations d'entreprises (syndicats et mutuelles)

La cellule de communication élabore une base de données renfermant les contacts des personnes-ressources des nouveaux acteurs. Ceux-ci reçoivent aussi le bulletin épidémiologique et sont régulièrement informés des niveaux d'alerte par rapport aux maladies-cibles.

- **Définition des niveaux d'alerte et réaction générale par niveau**

4 niveaux d'alerte sont définis pour les épidémies-cibles :

Niveau d'alerte	Signification	Code couleur	CAT
Niveau 0 (N ₀)	Situation habituelle		Surveillance de routine
Niveau 1 (N ₁)	Risque suspecté	vert	Surveillance active
Niveau 2 (N ₂)	Risque probable	orange	Surveillance renforcée
Niveau 3 (N ₃)	Risque confirmé	rouge	Riposte

Au niveau (N₀)

C'est un temps capital pour le CISEC. Il comporte 4 activités de base :

- 1- surveillance nationale de routine
- 2- mise à jour de la base de données du réseau d'alerte et tests réguliers du réseau
- 3- Modélisation / Simulation des scénarios et mécanismes de riposte
- 4- Préparation de supports éducatifs grands publics (spots, images, ...) *prêts à diffuser* pour des campagnes préventives, spécifiques de chaque épidémie.

Au niveau N1 :

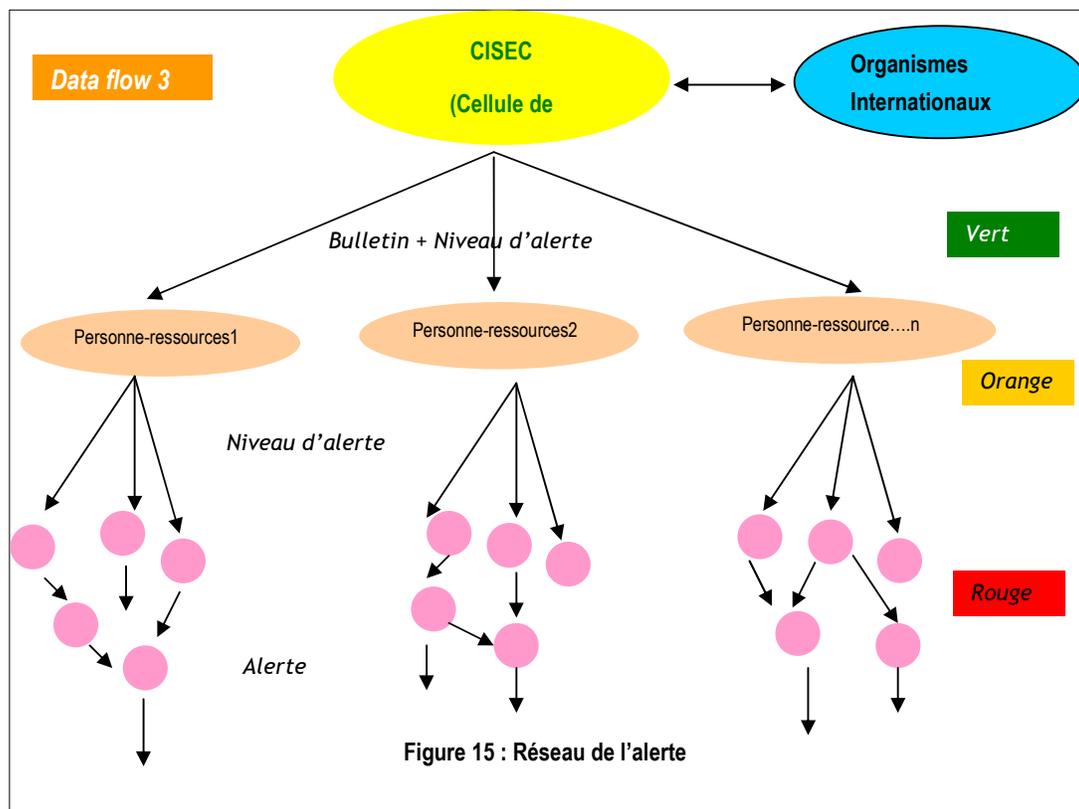
Il correspond à la détection par le système de surveillance d'une menace spécifique. Le CISEC renforce le système de surveillance en passant du mode systématique au mode de surveillance dite *active* et *renforcée* [OMS ; 2000]. Parallèlement la campagne d'éducation à la santé est lancée. Et le réseau d'alerte est activé mais l'information reste limitée aux seules personnes-ressources.

Au niveau N2 :

Risque probable (alerte orange). Confirmation de la menace et information des membres du réseau sans que ceux-ci ne relaient pour autant l'information à leur base. Initiation de la campagne d'éducation sanitaire.

Au niveau N3 :

Le CISEC déclenche l'alerte et autorise les membres du réseau à relayer l'information à leurs bases respectives.



6.7 Solution technique

L'ajout de nouvelles données au système de surveillance et le but de fonctionner comme un système d'alerte précoce exige une solution technique. Différents outils seront utilisés en fonction des besoins de la surveillance. Le tableau résume la solution technique du projet i-djembé.

Tableau V : Outils de « i-djembé »

Besoins de la surveillance	Solution technique
Collecte des données	Réseau satellite des structures de collecte
Transmission des données	Réseau Internet / Réseau GSM
Traitement et analyse des données	Applications web / SAFE / Healthmapper /Google
Communication entre acteurs	Réseau Internet /Réseau GSM
Communication grand public	Réseau GSM / Télévision/Radio

Le recueil et la transmission des paramètres de l'environnement global sur toute l'étendue du territoire pourra être ainsi assurée grâce au réseau Internet et éventuellement aux réseaux satellites ou GSM. Quant à l'information sanitaire classique elle peut être recueillie grâce aux mallettes de télémédecine dans les zones éloignées ou inaccessibles.

7 Discussion

Quoique qu'on puisse noter une grande convergence des divers travaux vers l'utilité des technologies satellitaires et des SIG dans la lutte contre les maladies transmissibles, des problèmes demeurent toutefois.

En effet si la composante environnementale des maladies transmissibles est indéniable elle n'explique pas à elle seule la survenue d'une épidémie. Le complexe pathogène se compose aussi d'éléments biologiques et immunologiques inhérents aux populations humaines [Lebras, 2004]. L'introduction de paramètres immunologiques voire génétique est en théorie possible mais contribuerait à alourdir le nombre de donnée à recueillir et renforcerait l'idée d'une « surveillance lourde du vivant » William Dab faisant craindre un phénomène de « *big brother* ». Aussi, les différents auteurs reconnaissent un certain nombre de difficultés :

- le manque de personnels qualifiés : C'est de loin la difficulté la plus grande du fait du caractère relativement nouveau de ce domaine et des coûts qu'engendrerait la formation dans les budgets de santé des pays en développement. [Sipe,2003]
- les obstacles à l'acquisition des données : Il y a d'abord le recul historique. La modélisation des maladies transmissibles s'appuie sur des données du passé pour mieux prédire l'avenir en identifiant les variables et les constantes. Les pays d'Afrique subsaharienne n'offre pas toujours ce recul historique. Ce qui implique que les données satellitaires si elles sont déployées en médecine de routine n'auront pas forcément une grande efficacité prédictive dans un premier temps. Ensuite le polymorphisme des données recueillies (mouvement de populations, températures des surfaces, niveau des marres,...) renforce la perception de complexité des SIG et peut avoir des effets démotivant. Pour Meynard et al. les SIG ont été longtemps perçus comme peu pratiques et inappropriés « trop lourds » par le personnel médical [Meynar,2003] Aussi l'absence d'unicité des formats des données permettant de passer d'un SIG à l'autre ajoute à la difficulté. Enfin le caractère stratégique de certaines données peut les rendre indisponibles. Certaines cartes ne sont pas disponibles parce qu'appartenant au domaine du renseignement.
- les implications financières pour le hardware et pour le software : Si le coût des SIG a été une préoccupation importante dans les années 1990, il faut reconnaître qu'il l'est de moins en moins. [Sipe, 2003] La plupart des logiciels existe en accès libre et le coût des outils devenant de moins en moins élevé. D'autres problèmes sont annoncés comme le fait que les décideurs ne comprennent pas toujours les applications des SIG du fait d'un langage jugé trop hermétique des techniciens du domaine, l'interprétation des résultats qui n'est pas toujours infaillible, le manque d'outils pour l'analyse spatiale ou les difficultés dans la maintenance technique.

Mais la solution à ces difficultés se trouve dans la prise en main institutionnelle de l'introduction des SIG dans les systèmes de santé en Afrique subsaharienne. Pour PINZON, 5 conditions institutionnelles sont à remplir [Pinzón, 2008] :

1. la demande en technologies satellitaires doit provenir des Etats et organismes engagés dans la lutte contre les maladies infectieuses et non des fabricants de ces technologies.
2. Les coûts de développement et de maintien des outils et de la formation devront être supportés par des structures sur lesquelles les agences nationales ont le plein contrôle même si à l'origine ils sont supportés par des donations. Il appartiendra donc aux Etats de fixer leur priorité.
3. La formation dans le domaine des SIG devra être transdisciplinaires et délivrée à travers une sélection rigoureuse d'institutions nationales ou régionales amener à se développer et à mesure de satisfaire la demande en personne spécialisée.
4. l'interface climat-santé étant une nouvelle discipline, elle demande des investissements à long terme dans des institutions multisectorielles et le développement d'une hiérarchie dans la formation et dans le matériel de formation à différent niveau du secteur de la santé. Ceci appelle la mise en place d'activités de recherche incluant les spécialistes de l'environnement, de la santé et de la statistique.
5. Une bonne opportunité de carrière doit être apparente pour attirer les personnes intéressées à travailler sur cette nouvelle interface.

Ce qui impose l'utilisation à un niveau central dans un premier temps (Ministère de la santé) et à l'initiation d'études coût-efficacité préalable. [Meynard, 2003]

De ces facteurs dépend aussi la faisabilité du projet « i-djembé ». Son caractère impose une appropriation par les autorités compétentes en matière de surveillance de routine : Ministères de la santé et OMS. Ce qui nécessite à l'origine une campagne « pédagogique » en vue de promouvoir non seulement l'approche transversale des maladies infectieuses, mais aussi les outils notamment les techniques satellitaires qui permettent cette approche.

C'est dire aussi le rôle des partenaires au développement pour amorcer l'établissement de ces technologies dans le système de santé des pays en développement. Les OMD pourraient servir de cadre à ce partenariat à travers l'objectif 8.

Conclusion

L'évolution des techniques spatiales trouve aujourd'hui une application en médecine de routine. Des paramètres identifiés dans la littérature comme fortement contributeurs à la naissance et à la propagation des épidémies peuvent aujourd'hui être intégrés dans le système national de surveillance des maladies transmissibles. Le projet « I-djembé » est une première tentative dans ce domaine. Sa réalisation pratique permettra de mieux apprécier la pertinence des nouveaux outils et l'efficacité dans la lutte contre le péril infectieux dans les pays en développement. Si les questions de coûts ne sont pas totalement résolus, la dynamique positive de baisse des coûts des nouvelles technologies peut être de bonnes augures pour le triptyque espace, santé et développement.

Recommandations

Au terme de cette étude des recommandations peuvent être formulées :

- Intégrer l'approche horizontale dans les stratégies de lutte contre les maladies transmissibles
- Encourager la formation des professionnels de la santé dans le domaine des nouvelles technologies
- Mener des études coûts/efficacité à travers des projets concrets utilisant les nouvelles technologies dans le système de santé.

Références bibliographiques

BAVIA ME, MALONE JB, HALE L et coll - Use of thermal and vegetation index data from earth observing satellites to evaluate the risk of schistosomiasis in Bahia, Brazil. *Acta Tropica* 2001 ; **79** : 79-85

BENIE GB, MULLER PC, NGO HH - La géomatique de la santé : tendances actuelles. *Université de Sherbrooke* 2000 : 15

BONN F, ROCHON G - Précis de télédétection : applications. AUPELF/ UREF 1997 Vol.2.

BROOKER S - Schistosomes, snails and satellites. *Acta Tropica* 2002; **82**: 207–214

BROOKER S, ROWLANDS M, HALLER L et coll - Towards an Atlas of Human Helminth infection in sub-Saharan Africa: The Use of Geographical Information Systems (GIS). *Parasitology Today* 2000; **16** : 303-307

CLABORN DM, MASUOKA PM, KLEIN TA et coll - A cost comparison of two malaria control methods in Kyunggi province, Republic of Korea, using remote sensing and geographic information systems. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2002; **66**: 680–685

COETZEE M, CRAIG M, LE SUEUR D- Distribution of African Malaria Mosquitoes Belonging to the *Anopheles gambiae* Complex- *Parasitology Today* 2000 ; **16** : 74-77

DE LA ROCQUE S, RIOUX JA - Influence des changements climatiques sur l'épidémiologie des maladies transmissibles. *Bull Soc Pathol Exot* 2008 ; **101** : 213-219

DUNN CE, KINGHAM SP, ROWLINGSON B, et coll - Analysing spatially referenced public health data: a comparison of three methodological approaches. *Health & Place* 2001; **7**: 1-12

DWOLATZKY B, TRENGOVE E, STRUTHERS H et coll– Linking the Global position System (GPS) to a personal digital assistant (PDA) to support tuberculosis control in South Africa: a pilot study. PMID: 16911806 [PubMed - indexed for MEDLINE]

GENTILINI M – Médecine Tropicale. *Flammarion Sciences-Médecine* 2001 ; **5** : 9-15

KALLURI S, GILRUTH P, ROGERS D et Coll - Surveillance of Arthropod Vector-Borne Infectious Diseases Using Remote Sensing Techniques: A Review. *PLoS Pathogens* 2007; **3**: 1361-1371

LE BRAS M, MALVY JD- le complexe pathogène tropical : regard nouveau sur un concept ancien. *Med Trop* 2004; **64**: 613-618

LEONARDO LR, CRISOSTOMO BA, SOLON JA et coll - Geographical information systems in health research and services delivery in the Philippines. *Geospatial Health* 2007; **2**: 147-155

LINTHICUM KJ, ANYAMBA A, TUCKER CJ et coll - Climate and Satellite Indicators to Forecast Rift Valley Fever Epidemics in Kenya. *Sciences* 1999; **285**: 397-400

MALONE JB, YILMA JM, MCCAROLL JC et coll - Satellite climatology and the environmental risk of *Schistosoma mansoni* in Ethiopia and east Africa. *Acta Tropica* 2001; **79**: 59-72

MEYNARD J-B, ORLANDI E, ROGIER C et coll - Utilisation des satellites dans le domaine de la sante publique en milieu tropical. *Med Trop* 2003; **63** : 7-16

MULLER G, GREBAUT P, GOUTEUX JP- An agent-based model of sleeping sickness: simulation trials of a forest focus in southern Cameroon. *C. R. Biologies* 2004; **327**: 1–11

NOBRE FF, BRAGA AL, PINHEIRO RS et coll - GISEpi: a simple geographical information system to support public health surveillance and epidemiological investigations. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 1997; **53**: 33-45

OMUMBO JA, HAY S, GUERRA CA et coll- The relationship between the *Plasmodium falciparum* parasite ratio in childhood and climate estimates of malaria transmission in Kenya. *Malaria Journal* 2004; **3**:17

PINZON E, WILSON JM, TUCKER CJ -Climate-based health monitoring systems for eco-climatic conditions associated with infectious diseases. PMID: 16267968 [PubMed - indexed for MEDLINE]

REY G, JACQUEZ M - Spatial analysis in epidemiology: Nascent science or a failure of GIS? *J Geograph Syst* 2000; **2**: 91-97

SALEY MB, KOUAMÉ FK, PENVEN MJ et coll - Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région semi-montagneuse à l'ouest de la Côte d'Ivoire : apports des MNA et de l'imagerie satellitaire. *Téledétection* 2005 ; **5** : 53-67

SIPE NG, DALE P- Challenges in using geographic information systems (GIS) to understand and control malaria in Indonesia. *Malaria Journal* 2003; **2**:36

SOGOBA N, VOUNATSOU P, BAGAYOKO MM et coll- The spatial distribution of *Anopheles gambiae sensu stricto* and *An. arabiensis* (Diptera: Culicidae) in Mali. *Geospatial Health* 2007; **2**:213-222

SNOW RW, CRAIG MH, DEICHMANN U. LE SUEUR D - A Preliminary Continental Risk Map for Malaria Mortality among African Children. *Parasitology Today* 1999; **15**: 99-104

SRIVASTAVA A, NAGPAL BN, SAXENA R et coll - GIS based malaria information management system for urban malaria scheme in India. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2003; **71**: 63-75

THOMSON MC, CONNOR SJ, D'ALESSANDRO U et coll - Predicting malaria infection in Gambian children from satellite data and bed net use surveys: the importance of spatial correlation in the interpretation of results. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 1999; **61**: 2–8

TRAN A, BITEAU FC, GUIH H et coll. – Modélisation des maladies vectorielles. *Epidémiol. et santé anim* 2005 ; **47** : 35-51

Documents de l'OMS :

Communicable diseases control in emergencies: A field manual. M.A. Connolly 2005 WHO/CDS/2005.27

Défense mondiale contre la menace des maladies infectieuses 2000. Mary Kay Kindhauser
WHO/CDS/2003.15

El Nino et la santé. Aide-mémoire N°192, Révisé en mars 2000.

Methods in Human-Environment Studies. Betina Menne, OMS Europe. 2005

Normes recommandées par l'OMS pour la Surveillance 2000 ; 2^e édition

Rapport sur la santé dans le monde 2007. NLM: WA 530.1

Sites web :

Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989 (juillet 2008)

CEDEAO-CSAO/OCDE - Atlas de l'intégration régionale 2006 : www.ocde.org (juillet 2008)

BOUVET E - Surveillance des maladies transmissibles en France.2005: www.invs.fr : (juillet 2008)

GUEL A - Apport du satellite au suivi des épidémies. 2003. www.cnes.fr (juillet 2008)

<http://www.rollbackmalaria.org/>. (janvier 2009)

Liste des illustrations

Figure 1 : Evolution de l'espérance de vie dans les différentes régions d'Afrique

Figure 2 : Activités du système de surveillance en santé publique

Figure 3 : Organisation du système de surveillance en santé publique

Figure 4 : Intérêt d'une détection précoce

Figure 5: Eléments d'un Système d'Information Géographique

Figure 6 : Modèle SIIR

Figure 7 : Cadre conceptuel des modèles en épidémiologie Figure 8 : Les différents types de satellites

Figure 10 : SIG et paludisme en zone urbaine

Figure 11 : Carte de risque pour les inondations dans la ville pluvieuse de Man (Côte d'Ivoire)

Figure 12 : Ministères d'origine des compétences supplémentaires à ajouter au niveau central

Liste des tableaux

Tableau I : Années perdues dues aux maladies transmissibles

Tableau II: Satellites et données acquises

Tableau III : récapitulatif des nouvelles données de surveillance du projet « i-djembé »

Tableau IV : Structures de collecte des données supplémentaires

Tableau V : Outils de « i-djembé »

Annexes

Annexe 1

Le Règlement sanitaire international (2005)

Une percée stratégique pour la santé publique mondiale

L'adoption du Règlement sanitaire international (2005) (ci-après RSI (2005)) par l'Assemblée mondiale de la Santé le 23 mai 2005 marque la fin d'une décennie de mises à jour techniques apportées à l'occasion de réunions, d'ateliers, de consultations sous-régionales et régionales et de deux sessions d'un groupe de travail intergouvernemental à composition non limitée qui ont eu lieu en novembre 2004 ainsi qu'en février et mai 2005.

Principales modifications apportées par le RSI (2005)

Le RSI (2005) aura un champ d'application sensiblement plus large que le Règlement actuel de 1969 qui se limite uniquement à la notification des cas de choléra, de peste et de fièvre jaune ainsi qu'à l'action contre ces maladies. En vertu du RSI (2005), les Etats Parties sont tenus de notifier tous les événements pouvant constituer une urgence de santé publique de portée internationale¹. Les Etats sont également tenus de notifier les données établissant l'existence de risques pour la santé publique en dehors de leur territoire pouvant être à l'origine de la propagation internationale de maladies. Les notifications et les rapports sont désormais communiqués à l'OMS par l'intermédiaire du point focal national RSI. Pour sa part, l'OMS doit désigner des points de contact RSI pour faciliter le dialogue entre les Etats Parties et l'Organisation. Sur l'avis d'un Comité d'urgence, s'il estime qu'une urgence de santé publique de portée internationale existe dans un pays déterminé, le Directeur général de l'OMS peut formuler des recommandations temporaires de manière à prévenir ou à réduire la propagation internationale des maladies en créant le minimum d'entraves au trafic international. En outre, le RSI (2005) met à jour et précise les dispositions du Règlement actuel concernant les mesures systématiques de santé publique aux points d'entrée et concernant le trafic international. Les Etats et l'OMS devront mettre sur pied, maintenir et renforcer les capacités administratives et de santé publique appropriées pour donner suite au nouveau Règlement.

Résolution concernant l'application immédiate de certaines dispositions de la RSI(2005)

Le 26 mai 2006, les Etats Membres de l'OMS ont adopté la résolution WHA59.2 qui demande l'application immédiate sur une base volontaire des dispositions de la RSI (2005) considérées comme pertinentes au regard du risque présenté par la grippe aviaire et par une pandémie potentielle de grippe humaine. Les dispositions de la RSI (2005) concernant la surveillance, la notification, l'échange d'information, le transport de substances biologiques et les mesures de santé publique applicables aux voyageurs ont été considérées comme importantes pour assurer une action forte et coordonnée de la communauté internationale face à la situation actuelle et à la possibilité d'une pandémie.

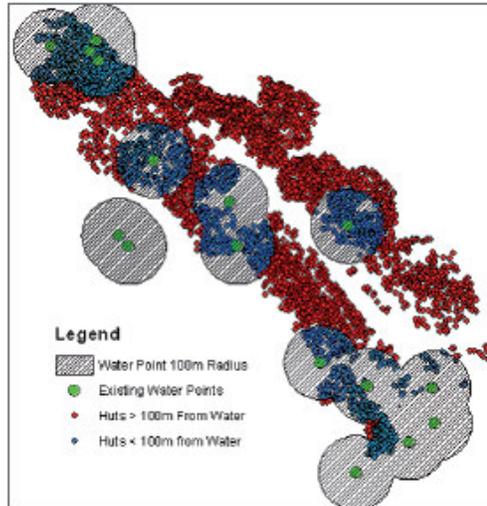
Les Etats Membres de l'OMS sont par ailleurs expressément et instamment invités à désigner un point focal RSI national en août au plus tard. Parallèlement, l'Organisation est priée de désigner des points de contact RSI à l'OMS afin de garantir un courant constant d'informations entre les pays et l'Organisation, avant, pendant et après des urgences de la santé publique - notamment une pandémie potentielle de grippe humaine. L'efficacité et la transparence des communications sont cruciales pour le dépistage précoce et la notification de cas humains de grippe, pour l'évaluation rapide des risques et pour la mise en oeuvre immédiate de mesures appropriées d'endiguement et de riposte en cas d'apparition d'une souche pandémique. Les pays sont également supposés coopérer les uns avec les autres pour renforcer leurs capacités de production de vaccins aussi bien en cas d'épidémie que de pandémie mondiale. Il incombe aux Etats Membres et à l'OMS ensemble de surveiller les ressources humaines, financières, techniques et logistiques nécessaires pour mieux préparer la planète à la possibilité d'une pandémie de grippe humaine, notamment en constituant des stocks raisonnables de médicaments essentiels.

¹ Selon la définition donnée par le Règlement, une telle urgence s'entend d'un événement de santé publique extraordinaire qui constitue un risque pour la santé publique dans d'autres Etats en raison du risque de propagation internationale de maladies et qui peut requérir une action internationale coordonnée.

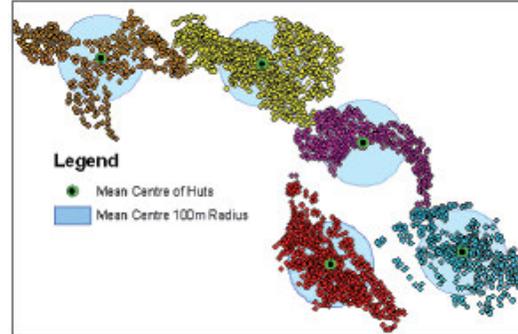
Annexe 2



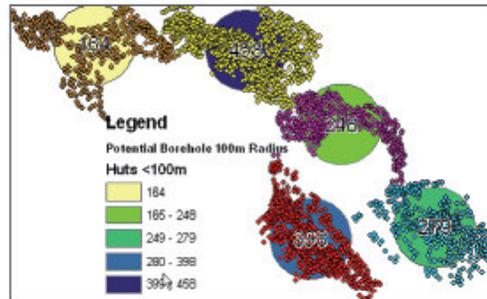
Estimer l'accès à l'eau potable dans un camp de déplacés : cas du camp de Padibe (Ouganda)



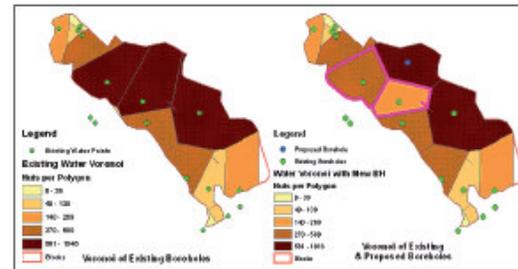
1. Les points verts symbolisent les puits, avec une zone tampon de 100 mètres. Les autres points représentent les huttes; les bleus sont à l'intérieur de la zone tampon de 100 mètres, les rouges en dehors ont donc une panne accessibilité à l'eau.



2. L'extraction des huttes en dehors de cette zone de standards, a permis la mise en oeuvre de 5 groupes de huttes. En utilisant le centre moyen de ces groupes de points, il est facile d'identifier une localisation optimale pour implanter un nouveau puits (si condition hydro-géologiques favorables).



3. En redessinant une zone tampon, il est facile de compter de nouveaux le nombre de huttes pouvant bénéficier de cet équipement ; le groupe du nord apparaît comme une priorité pour le gestionnaire de camp.



4. D'autres analyses sont aussi effectuées, notamment avec les polygones de Voronoi, pour déterminer des enveloppes de proximité, afin de répartir les puits.

Logiciels
ArcGIS 9.2 extension
MapInfo Analysis tools pour les grilles et les analyses sur les grilles
ENVI 4.4 pour l'extraction des huttes à partir de l'image satellite

CartONG utilise RP sur le terrain avec l'imprimante A3 Laserjet 5500 DTN

Source
CartONG, IRC, UNHCR

Contact
Yann Rébois
info@CartONG.org