



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA

Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires et Biologiques

Département de Biologie

Mémoire de projet de Fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de

Master II en biologie

Option : Entomologie Médicale

THEME

**APPORT DU SYSTEME D'INFORMATION
GEOGRAPHIQUE ET DE LA TELEDECTION
DANS LA SURVEILLANCE DU PALUDISME A
OUARGLA**

Présenté par M^{me} :

BENCHERIFA Ep. ALLOUCHE SOUAD

Soutenu le 16//12/2013

Membres du jury :

Présidente :	M ^{me} Inal Dalila.	Maître assistante A, USDB
Examinatrices :	M ^{me} Kara Toumi F.Z.	Maître de Conférences A, USDB
	M ^{me} Rouaki F	Maître assistante A, USDB
Promoteur :	M ^r Harra t Z.	Directeur de Recherche, IPA
Co-Promotrice:	M ^{me} Tail G.	Maître de Conférences A, USDB
Invité d'honneur :	M ^r Garni R.	Attaché d'Etudes, IPA

Promotion: 2012-2013

Dédicace

A mon père qui n'est plus parmi nous.

A ma mère.

A mon mari et mes enfants Hanane et Hichem.

A mes frères et leurs épouses.

A mes sœurs et leurs époux.

A VOUS TOUS JE DEDIE CE MEMOIRE

Remerciements

En préambule de ce mémoire, je souhaite adresser tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Tout d'abord à Monsieur Harrat Zoubir, responsable du centre national de référence de Leishmania et chef de service d'Eco épidémiologie parasitaire et génétique de population de l'institut Pasteur d'Algérie, pour avoir accepté de diriger ce mémoire et pour l'aide précieuse et le temps qu'il a bien voulu me consacrer

Je tiens à remercier Madame INAL D, maitre assistante A, qui m'a fait l'honneur de présider le Jury de cette étude.

Mes remerciements vont également à madame KARA TOUMI F-Z, maitre de conférences et Madame Rouaki F, maitre assistante A, qui ont accepté d'examiner ce texte et de participer à cette soutenance.

Je remercie vivement Madame TAIL G, maitre de conférences du département de biologie université Saad Dahleb de Blida, pour m'avoir accueillie dans la spécialité d'entomologie médicale ainsi que pour ses enseignements et ses conseils.

Pour leurs encouragements et leur assistance morale qui m'ont permis de réaliser ce mémoire dans de bonnes conditions, je remercie chaudement : Rafik, Kamel, Razika, Ghania, Ihcène, Lezhari et Sihem et Adlane.

Résumé

Le paludisme cause un problème de santé publique en Algérie et plus particulièrement dans les oasis du Sahara à l'exemple de Ouargla où plusieurs épidémies ont été enregistrées durant les années cinquante. La remontée des eaux de la nappe phréatique pose un sérieux problème écologique et sanitaire. Ce phénomène a engendré la multiplication des mares, constituant autant de gîtes de reproduction pour les moustiques, notamment pour les anophèles.

Dans le but d'une meilleure gestion du contrôle du paludisme dans la vallée de Ouargla, nous avons établi une carte de risque de la transmission de cette maladie sur la base d'une image satellite Quickbird et de la dispersion spatiale du vecteur du paludisme *A. multicolor*, seule espèce rencontrée durant notre travail.

Le modèle construit a révélé une aire de distribution importante de l'anophèle où existent les zones à risque prédite et qui a été validé par les données épidémiologiques et entomologiques recueillies sur le terrain.

Mots-clés : Paludisme, GIS, Télédétection, *Anophèles multicolor*, Ouargla, Algérie

Summary

Malaria is a health public problem in Algeria and more particularly in the Sahara oases as example Ouargla, where several outbreaks have been recorded since the fifties. Upwelling groundwater has led proliferation of ponds, giving many breeding sites for mosquitoes, including Anopheles which poses a serious environmental and health problem.

For a better management of malaria control in the valley of Ouargla we have established a map risk of the disease transmission on the basis of a Quickbird satellite image and spatial spread of *A. multicolor*, the only malaria vector specie found during our work.

The constructed model revealed a large distribution area of anopheles which corresponds to the risk areas which was validated by epidemiological and entomological data collected in field.

Keywords : Malaria, GIS, Remote Sensing, *Anopheles multicolor*, Ouargla, Algeria.

المالريا مرض يسبب مشكلة صحية عامة في الجزائر خاصة في واحات الصحراء، كورقلة، حيث تم تسجيل العديد من الأوبئة خلال الخمسينات. تقلب موجات المياه الجوفية يشكل مشكلة بيئية و صحية خطيرة، وقد أدى ذلك إلى انتشار البرك، وتشكل العديد من مواقع تكاثر البعوض، بما في ذلك الأنوفيل

من أجل إدارة أفضل لمكافحة المالريا في وادي ورقلة، وضعنا خريطة إختطار لإنتقال هذا المرض على أساس صورة القمر الصناعي كويك بيرد والإنتشار المكاني لناقلات المالريا، أين وجدنا نوع واحد و هو أنوفيل ملتيكولور

تم التحقق، بواسطة هذه الدراسة، من صحة النموذج المشيد مم كشف عن إنتشار مساحة الأنوفيل و تنبؤ المناطق المعرضة للخطر و التي تم التصديق عليها من قبل البيانات الحشرية و الوبائية

الكلمات الرئيسية : المالريا ، نظم المعلومات الجغرافية ، الاستشعار عن بعد، أنوفيل مولتيكولور ، ورقلة، الجزائر

Liste des figures

Figure 1 : distribution du paludisme dans le monde.....	4
Figure 2 : cycle de transmission du Plasmodium.....	10
Figure 3: Œufs d'Anophèles	11
Figure 4 : Larve d'Anophèles.....	12
Figure 5: nymphe d'Anophèles	12
Figure 6: Aile et Tête d'Anophèle adulte.....	13
Figure 7 : Têtes de d'Anophelinae mâle et femelle.....	14
Figure 8 : cycle biologique d'Anophèles	15
Figure 9 : Structure d'un SIG.....	17
Figure 10 : Les différentes composantes du SIG.....	17
Figure 11 : Principe de la télédétection.....	18
Figure 12: Exemples de signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible et du proche infrarouge.....	20
Figure 13 :Situation géographique de la zone de Ouargla	21
Figure 14: les techniques de captures	22
Figure 15 : Données entomologiques et épidémiologique.....	23
Figure 16: image Quick bird de Ouargla.....	24
Figure 17: Montage d'Anophèles.....	25
Figure 18 : Méthodologie et chaîne de traitement de l'image Quik Bird	27
Figure 19 Image du MSAVI2:	29
Figure 20 : Image de la brillance de la zone d'étude	33
Figure 23 : Modèle de construction de l'aire de distribution d'Anophèles (Arc GIS Model builder).....	34
Figure 24: Aléa, vulnérabilité et risque de la maladie.....	35
Figure 25: Critères de base de l'identification d' <i>Anophèles multicolor</i>	36
Figure 26 : Courbe de ROC.....	38
Figure 27 : Classification globale de la région d'étude.....	39
Figure 28 : Carte de distribution d'Anophèles à Ouargla	41
Figure 29: carte d'Aléa de la zone d'étude	42
Figure 30 : Zone d'Aléa et de risque à Ouargla	43
Figure 31: Zone à risque du paludisme à Ouargla	44

Sommaire

I.	Introduction	5
II.	Généralités.....	Erreur ! Signet non défini.
A.	Le paludisme	8
B.	Les Anophèles et transmission du Paludisme	11
C.	Système d'Information Géographique et Télédétection	20
III.	Matériels et méthodes	23
A.	Matériels	24
B.	Méthodes	28
IV.	Résultats	Erreur ! Signet non défini.
A.	Identification des Anophèles	40
B.	Indices dérivés de l'image Quickbird	41
C.	Classification de la zone d'étude.....	42
D.	Aires de distribution des anophèles, alea et risque	44
V.	Discussion.	Erreur ! Signet non défini.
VI.	Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
	Bibliographie.....	
	50

I. INTRODUCTION

Les maladies à transmission vectorielle ont connu récemment une forte recrudescence (Morens *et al.*, 2004) et sont nettement plus fréquentes depuis les années 1980 (Cailly., 2011).

En effet

t, ces maladies sont particulièrement sensibles aux changements globaux susceptibles de modifier l'aire de répartition de certains pathogènes et/ou vecteurs et favoriser la propagation de la maladie. (Tran *et al.*, 2005).

Parmi les maladies à transmission vectorielle, le paludisme qui représente un problème de santé publique dans le monde et une charge économique énorme pour les populations.

En Algérie, l'histoire du paludisme est marquée par des épidémies meurtrières. Mais grâce à la campagne d'Élimination du paludisme lancée en Algérie en 1968, le nombre de cas a chuté de manière considérable (Hammadi *et al.*, 2009). Cependant, plusieurs données ont modifié la situation de cette pathologie en Algérie notamment dans certains anciens foyers tels qu'Ouargla et Ghardaïa récemment. Cette réémergence est la conséquence des :

- Relâchements, ces dernières années, des campagnes de lutte contre les maladies à transmission vectorielle (assainissement, lutte anti vectorielle, contrôle et dépistage des cas)
- Changements climatiques que subit la planète, ont fait que les zones de présence du vecteur sont redevenues plus importantes qu'elles l'en étaient
- Développements des activités agropastorales et industrielles ainsi que l'extension de la ville ont fait que le contact homme-vecteur est devenu plus important.
- Mouvements incontrôlés des populations (réfugiés, clandestins) des pays du Sahel, facilités par l'ouverture de la route transsaharienne et leur installation dans des zones d'aléa de façon temporaire ou définitive complétant ainsi le cycle de transmission du paludisme aux alentours.

Actuellement, le paludisme sévit, en Algérie, de manière instable particulièrement dans les oasis sahariennes. Sa transmission demeure active dans cinq foyers principaux : Ouargla, Tamanrasset, Adrar, Illizi et Ghardaïa. (Hammadi *et al.*, 2009).

L'oasis de Ouargla, zone d'étude, a été, jusqu'à un passé récent, une région d'endémie palustre. L'épidémie de 1883 à 1885 a fait plus de 800 victimes. Entre 2000-2009, 40 cas de paludisme autochtones ont été signalés. (Hammadi *et al.*, 2009).

Malgré les efforts nationaux et internationaux, le paludisme reste un fardeau et les avancées dans la lutte contre la maladie se heurtent à différents types d'obstacles (Hay *et al.*, 2000). D'une part, la disponibilité des données de terrain est souvent ponctuelle et parcellaire donnent une image localisée et généralement instantanée de la situation. D'autre part, Dans certaines régions, les informations épidémiologiques peuvent être insuffisantes, voire inexistantes, lorsque les systèmes de santé et d'information sanitaire sont déficients.

Ainsi, pour toute action raisonnée, il est nécessaire d'identifier les zones à risque nécessitant une intervention prioritaire aussi bien pour les populations que pour les décideurs politiques. Pour ce faire, l'utilisation d'outils modernes de gestion de l'information spatiale comme le Système d'Information Géographique (SIG) et la Télédétection peut être d'un grand apport pour une spatialisation du risque palustre dans la région d'Ouargla.

Ce travail est structuré en 2 parties : la première consiste à l'identification des anophèles dans la région d'Ouargla. La seconde partie est consacrée à l'application du SIG et de la télédétection à la surveillance épidémiologique du paludisme dans la région d'Ouargla.

Nos objectifs sont les suivants :

1. L'utilisation du SIG dans la prédiction des risques d'épidémie de paludisme dans la wilaya d'Ouargla.
2. Établir une carte de risque du paludisme dans la région d'Ouargla par l'analyse d'images satellites QUICK BIRD.

A. Le paludisme

1. Le paludisme dans le monde

Le paludisme, est l'une des maladies à transmission vectorielle qui représente un problème de santé publique important. Selon OMS, En 2009, le paludisme reste la première endémie parasitaire mondiale. On estime que près de la moitié de la population mondiale est aujourd'hui exposée au risque de paludisme (Anonyme, 2012). Le nombre d'accès palustres survenant chaque année à travers le monde est estimé de 300 à 500 millions, entraînant la mort de 1 à 3 millions de personnes.

Le paludisme est rencontré en Asie, en Europe, en Amérique, mais surtout en Afrique (Figure 1).

(Carnevale., 2009). C'est de loin le continent le plus concerné avec plus de 80% de décès dont 18% d'enfants de moins de cinq ans. (Caillié., 2011). On estime qu'un enfant meurt chaque 30 seconde.



Figure 1 : distribution du paludisme dans le monde (Anonyme., 2012)

2. Le paludisme en Algérie

Historique

Le paludisme a toujours existé en Algérie où il a été déjà signalé au 12^{ème} siècle. Avant les années 50, les ravages étaient considérables ; Tout le nord de l'Algérie était concerné par l'endémie parasitaire ; les victimes se comptaient par milliers (Sergent et Sergent., 1928).

Le niveau d'endémie était tel que la recherche sur le terrain a pu avancer ; ainsi, des noms de chercheurs sont entrés dans l'histoire :

- 1902: Expérimentation de la lutte antipaludique grâce aux frères Sergent qui développèrent les techniques modernes de la paludologie.
- 1950: Niveaux d'endémicité de 50000 à 70000 cas /an. (Andarelli., 1952).
- 1960: La maladie a connu des pics atteignant les 100.000 cas /an en raison d'une baisse de la lutte antipaludique. Mais celle-ci a continué grâce aux travaux du Docteur Andarelli, médecin chef du service antipaludique en Algérie (Andarelli., 1963)
- 1963: Lancement du programme d'éradication du Paludisme en Algérie (Anonyme, 1957). Il s'est déroulée en 3 phases :

1. Une phase d'attaque: 1968

Son objectif était l'arrêt de la transmission en 03 ans. Elle consistait en l'épandage d'insecticide à effet rémanent (DDT) de l'Est vers l'Ouest, la lutte anti larvaire et le traitement des malades.

2. Une phase de consolidation : 1978 - 1986

Durant cette phase, le nombre de cas est passé de 12630 (incidence 100/100000) à 30 cas. Cette phase n'a pris fin que lorsqu'aucun cas autochtone n'a été notifié pendant trois années consécutives.

3. Une phase d'entretien: à partir de 1986

A cette phase, l'éradication du paludisme est considérée comme atteinte. Elle devra durer aussi longtemps que le danger d'introduction du paludisme existe. (Anonyme, 1957)

Grâce à cette campagne d'éradication, le nombre de cas a chuté de manière considérable, passant de **95 424** cas en 1960 à **30** en 1978. (Anonyme, 2000).

A cette époque, le sud de l'Algérie, non concerné par cette campagne, commençait à présenter un profil épidémiologique inquiétant. Cette situation coïncidait avec

l'accroissement des échanges commerciaux et les mouvements de populations avec les états africains frontaliers.

Durant les années 1978 et 1979 ont été notifiés respectivement 42 et 14 cas de paludisme autochtone à *P. vivax*. Les campagnes massives d'aspersions intra domiciliaires au D.D.T entreprises durant trois années successives (1980, 1981, 1982) et couvrant environ 80% de la population, ont eu pour résultat l'arrêt de la transmission de la maladie. Malheureusement, le paludisme est réapparu de façon brutale causant un sérieux problème de santé publique. En automne 2000, une épidémie de paludisme a éclaté dans la localité de Sokra dans la wilaya d'Ouargla où 28 cas de paludisme autochtone à *Plasmodium vivax* ont été diagnostiqués.

Dans le Sahara algérien, la transmission du paludisme demeure active dans cinq foyers principaux : Ouargla, Tamanrasset, Adrar, Illizi et Ghardaïa.

La faune anophélienne:

De nombreuses espèces appartenant à plusieurs genres et sous-genres colonisent de vastes régions du territoire algérien. Les principales espèces observées sont :

- Au Nord : *A. Labbranchiae*, *A. claviger*, *A. marteri*.
- Au Sud : *A. sergenti*, *A. d'thali*, *A. multicolor* et *A. hispaniola*. (Tchicha *et al.*, 2005).
En 2007, *Anophèles gambiae* a été retrouvé dans la région de Tinzaouatine (Tamanrasset). Il s'agit d'une espèce tropicale, vectrice du paludisme à *Plasmodium falciparum*, témoignant d'un risque paludogène lié à l'introduction de nouvelles souches d'anophèles qui peuvent trouver dans certaines oasis du sud le biotope adéquat pour leur développement (Boubidi *et al.*, 2008).

3. Le paludisme à Ouargla

Ancien foyer de paludisme, la région de Ouargla est classée comme zone réceptive à transmission saisonnière courte, estivo-automnale, avec possibilité de recrudescence épidémique lorsque les conditions météorologiques sont favorables (Hammadi *et al.*, 2009). Cette ville a connu dans le passé plusieurs épidémies de paludisme particulièrement meurtrières, telle l'épidémie de 1883-85 qui a fait plus de 800 victimes. (Passager., 1957)

Les premières mesures de lutte antipaludique ont été entreprises, entre 1930 et 1945, par le drainage des eaux de la palmeraie vers le Chott d'Ain Beida. En 1941, le poisson *Gambusia* (gambusie) a été introduit dans la région comme moyen de lutte biologique (Mandoul et Jacquemin., 1951). La situation du paludisme est restée stable à Ouargla jusqu'en 1977, année au cours de laquelle éclata une épidémie dans la ville faisant 43 victimes.

Les enquêtes épidémiologiques réalisées par la suite (1983 à 1985) ont permis de confirmer l'absence de transmission, mais ont mis en évidence une vulnérabilité particulière de cette région à la réémergence de la maladie (Benzerroug et Janssens., 1985). L'analyse des données couvrant la période 1990 à 1999, permet de retrouver 21 cas de paludisme à *P. falciparum*, tous importés des zones subsahariennes.

Au mois de novembre de l'année 2000, une autre épidémie de paludisme, cette fois due à *P. vivax*, a éclaté dans la cité populaire de Sokra (commune de Rouissat), où 28 cas ont été diagnostiqués. Les enquêtes entomologiques réalisées à cette époque dans les habitations et les gîtes larvaires ont mis en évidence la présence d'une seule espèce de vecteur : *Anopheles multicolor*.

Suite à l'épidémie, une campagne de lutte a été menée avec la Deltaméthrin, drainage des eaux de la palmeraie, remblayage des mares et autres collections d'eau et ensemencement des collections résiduelles par des gambusies. Malgré toutes ces mesures, la wilaya de Ouargla a enregistré, en 2002, 8 nouveaux cas autochtones de paludisme dû à *P. vivax*. (Anonyme, 2002).

Depuis 2003 aucun autre cas autochtone n'a été signalé. Par contre, 9 cas à *P. falciparum* importés du Mali ont été déclarés.

Les espèces anophéliennes rencontrées à Ouargla sont : *A. sergenti*, *A. rufipes broussesi*, *A. hispaniola*, *A. dthali*, et *A. muticolor*, l'espèce la plus répandue.

B. Les Anophèles et transmission du Paludisme

Le paludisme est une parasitose due à un parasite du genre *plasmodium*, transmis par un moustique vecteur : anophèle femelle.

Les manifestations cliniques du paludisme sont très diverses. Elles débutent par une fièvre de 8 à 30 jours après l'infection, qui peut s'accompagner - ou non - de maux de tête, de douleurs musculaires, d'un affaiblissement, de vomissements, de diarrhées, de toux. Des cycles

typiques alternant fièvre, tremblements avec sueurs froides et transpiration intense, peuvent alors survenir : c'est " l'accès palustre".

Le diagnostic est assuré essentiellement par un frottis sanguins et /ou goutte épaisse

Plusieurs molécules anti-paludiques qui peuvent être utilisées en prophylaxie (prévention lors d'un voyage en zone endémique) ou en thérapeutique. Les plus connues sont la chloroquine ou la quinine.

1. Le parasite

Le paludisme est transmis par un protozoaire appartenant au genre *Plasmodium*. Il existe de très nombreuses espèces de *Plasmodium* (plus de 140), touchant diverses espèces animales mais seulement cinq sont retrouvées en pathologie humaine. *Plasmodium falciparum*, est de loin, la plus importante espèce car elle peut causer des accès aigus mortels en l'absence de traitement médical. *P. vivax* n'entraîne que rarement la mort, mais provoque une morbidité importante avec des répercussions économiques sérieuses. *P. malariae*, moins fréquent, peut engendrer de troubles rénaux. *P. ovale* est beaucoup plus rare. (Mouchet *et al.*, 1993) et, plus récemment, *Plasmodium knowlesi* limité en Asie du Sud -Est. (Singh *et al.*, 2004).

a) Systématique

Domaine*Eukaryota*
Règne*Chromalveolata*
Division*Alveolata*
Embranchement*Apicomplexa*
Classe*Aconoidasidae*
Ordre*Haemosporidae*
Famille.....*Plasmodidae*
Genre.....*Plasmodium*

Cycle de transmission du parasite

Au cours de son repas sanguin, la femelle anophèle inocule à l'homme la forme infectante du parasite : les sporozoïtes (Figure 2). Ces sporozoïtes passent dans le sang puis migrent vers le foie via les vaisseaux sanguins. La phase exo érythrocytaire se met en place. Les sporozoïtes envahissent alors les hépatocytes et s'y multiplient. Ils évoluent en schizontes contenant plusieurs milliers de jeunes parasites appelés mérozoïtes. Puis la cellule éclate, libérant ainsi les mérozoïtes qui pénètrent alors les hématies par endocytose pour poursuivre leur développement. La phase suivante est dite érythrocytaire. Les mérozoïtes peuvent évoluer en trophozoïtes puis en schizontes qui libèrent à nouveau des mérozoïtes (étape cyclique), ou bien évoluer en gamétocytes (Figure 2). Ces derniers se différencient en gamétocytes mâles et femelles et sont ingérés par un anophèle femelle au cours du repas sanguin. La première phase au sein du moustique est dite sporogonique (Fouetto ., 2010).

Les gamétocytes parviennent dans l'estomac du moustique où ils se transforment en gamètes. Les gamètes femelles sont fécondés et il en résulte un zygote qui évolue en ookinète. Ce dernier s'implante au niveau de la paroi stomacale et évolue en oocyste. Une division méiotique et plusieurs mitoses conduisent au développement de sporozoïtes. L'éclatement de l'oocyste libère ces éléments mobiles dans l'hémolymph. Ils gagnent ensuite les glandes salivaires du moustique, qui est alors infectant, et pourront être inoculés à l'homme avec la salive lors d'une prochaine piqûre (Figure 2). Il faut environ 10 à 18 jours, selon les conditions environnementales, pour permettre au parasite de finir son cycle sporogonique au sein du moustique. (Fouetto., 2010).

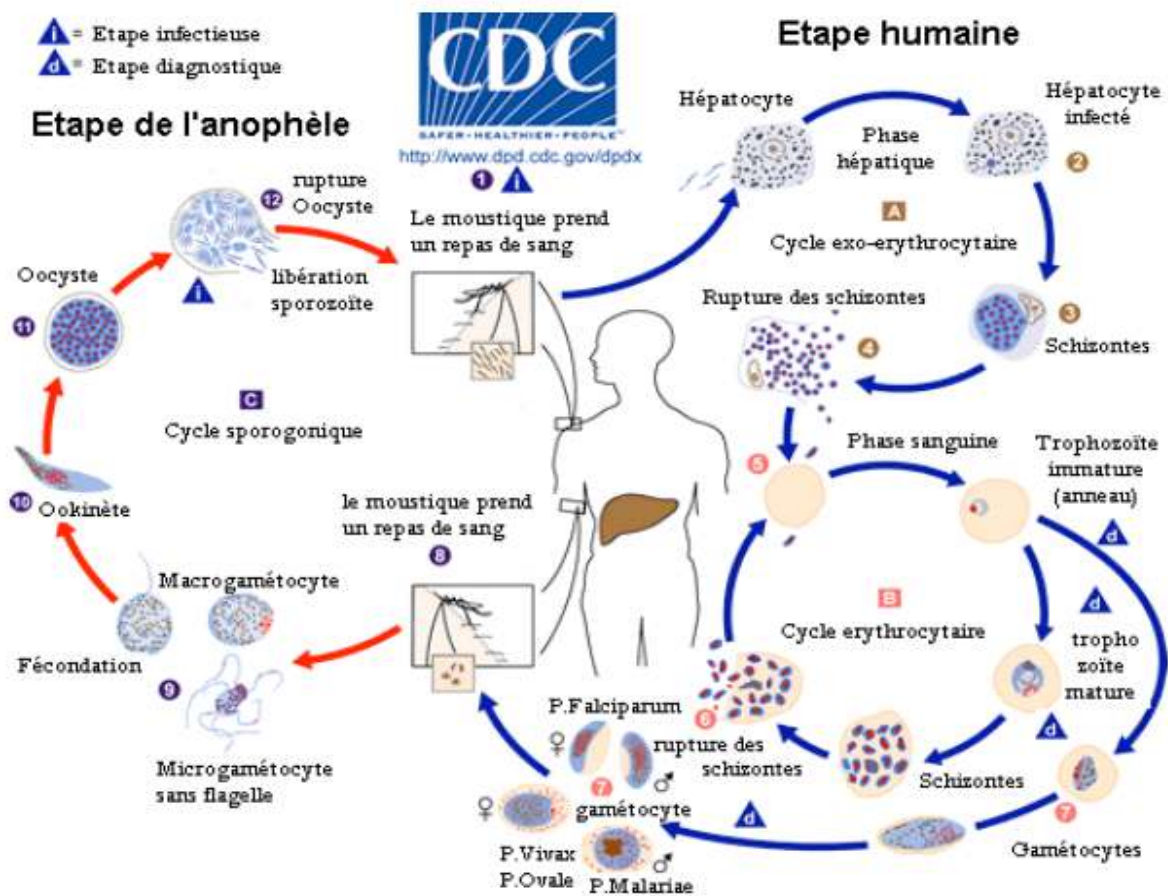


Figure 2: cycle de transmission du Plasmodium (Source CDC)

2. Le vecteur

Le genre *Anopheles* regroupe des moustiques de l'ordre des Diptera, de la famille des Culicidae, sous-famille des Anophelinae. 464 espèces d'anophèles sont actuellement identifiées, mais seules 68 d'entre elles transmettent le parasite *Plasmodium* à l'être humain telles qu'*Anopheles gambiae*, *An. funestus*, *An. sergenti*, *An. arabiensis* (Carneval *et al.*, 2010). Seules les femelles sont hématophages et peuvent être parasitées lors d'un repas sanguin.

a) **Systématique (d'après Knight et Stone, 1977)**

Ambranchement.....	<i>Arthropoda</i>	(= pattes articulées)
Classe.....	<i>Insecta</i>	(=corps segmenté en 3 parties)
S/Classe	<i>Pterogyna</i>	(=avec ailes)
Ordre.....	<i>Diptera</i>	(= avec 2 ailes)
S/ordre.....	<i>Nematocera</i>	(=avec antennes rondes et longues)
Famille.....	<i>Culicida</i>	(= Moustiques)
s/famille.....	<i>Anophelinae</i>	(= anphéle)
Genre.....	Anopheles	

b) **Morphologie**

Œufs

Les moustiques femelles pondent entre 30 et 300 œufs à chaque ponte (Figure 3). Ils sont habituellement en forme de canoë, avec des flotteurs latéraux caractéristiques, remplis d'air.

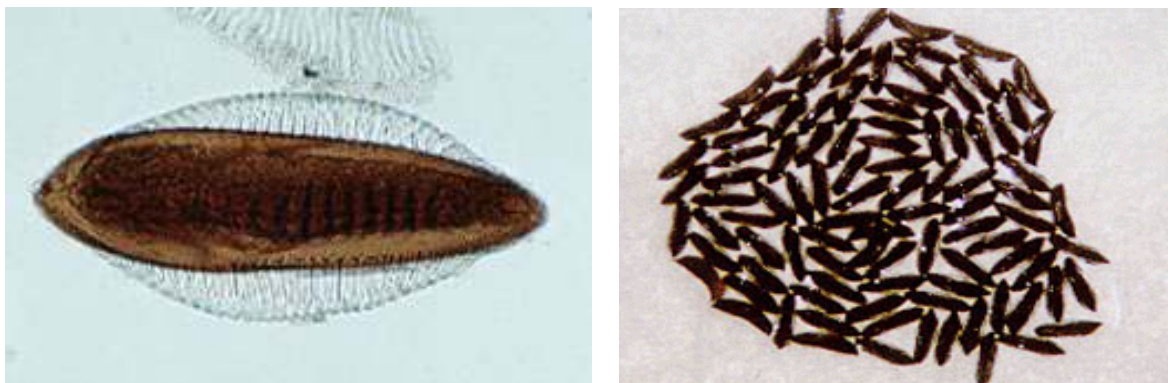


Figure 3 : Œufs d'Anophèles (Anonyme., 2000)

Larves

En contraste avec les larves d'autres genres de moustiques, les larves d'anophèle respire en surface car elles ne possèdent pas de siphon respiratoire (figure 4). De façon générale Les larves des anophèles doivent se développer dans l'eau relativement propre (Carnevale. 2009). Certaines espèces toléreraient un degré de salinité telle qu'*Anophèle multicolor* (Chauvet., 1983).



Figure 4 : Larve d'Anophèles (Anonyme., 2000)

Nymphes

A la fin de la vie larvaire survient une métamorphose complète qui permet la transformation en adulte ailé (Figure 5).

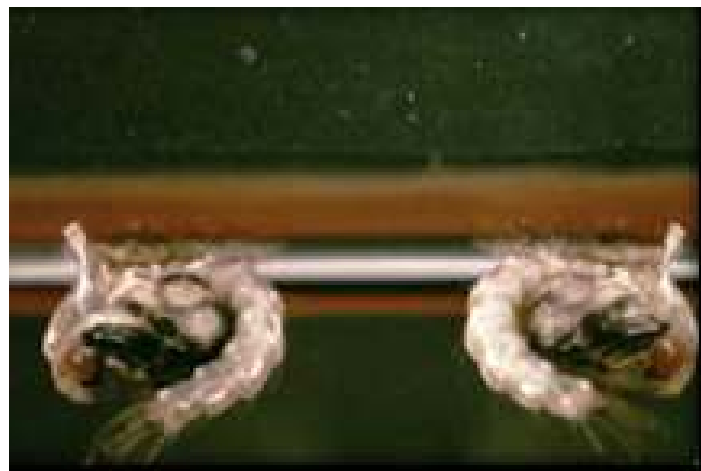


Figure 5 : nymphe d'Anophèles (Anonyme., 2000)

Adultes

L'adulte ou imago d'anophèle a une morphologie particulière qui le rend facilement reconnaissable. Au repos, les anophèles adoptent généralement une position oblique par rapport au support.

Deux caractéristiques sont utilisées pour décrire l'adulte d'anophèles (Figure 6) :

- ✓ Les palpes sont aussi longs que le proboscis.
- ✓ Les ailes sont tachetées.

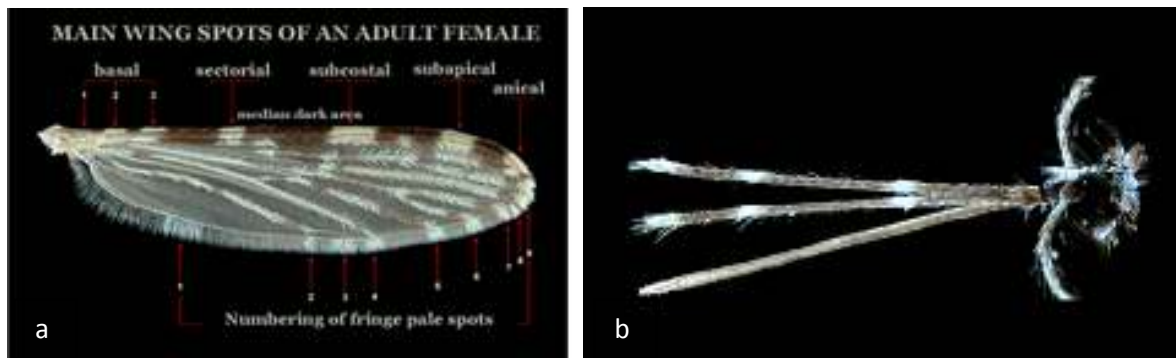


Figure 6 : a : Aile d'Anophèle, b: Tête d'Anophèle adulte (Anonyme., 2000).

L'adulte comporte trois parties bien distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen :

La tête : Elle porte 2 antennes (de 15 articles) avec un fort dimorphisme sexuel car chez le male, les antennes ont des soies longues et plumeuses (antennes plumeuses) comprenant les organes récepteurs de l'olfaction pour la perception des phéromones et de l'audition. Chez la femelle, les antennes ont des soies verticillées, courtes et moins fournies que celles des males (antennes glabres). elles portent de nombreux chémorécepteurs olfactifs qui servent pour le repérage et la localisation de l'hôte pour le repas de sang (Figure 7). L'appareil buccal est de type suceur chez le male. Chez la femelle, il est de type vulnérant. (Carnevale., 2009).

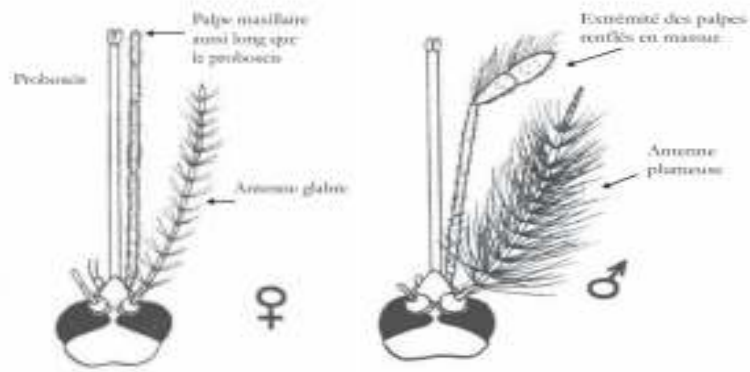


Figure 7 : Têtes de d'Anophelinae mâle et femelle (Holstein., 1949).

Le thorax : il est segmenté en 3 parties visibles (pro, méso et méta-thorax) de tailles inégales. Le 2ème segment du thorax est le plus développé, c'est le segment alaire. Il comprend les muscles du vol et porte 1 paire d'ailes membraneuse d'apparence tachetée. Cette ornementation alaire caractéristique permet de reconnaître rapidement les anophèles des autres Culicinae.

L'abdomen : il comprend 10 segments. Les 7 premiers segments sont composés par 2 plaques : une dorsale (tergite) et une ventrale (sternite) maintenues par une membrane pleurale.

Chez la femelle, le 9eme segment porte l'appareil génital, cerque. Chez le mâle on l'appelle génitalia.

c) Cycle biologique

Les œufs, les larves ainsi que les nymphes se développent dans le milieu aquatique. Dans le milieu aérien, peut y avoir : accouplement et prise du repas sanguin pour les femelles (figure 8).

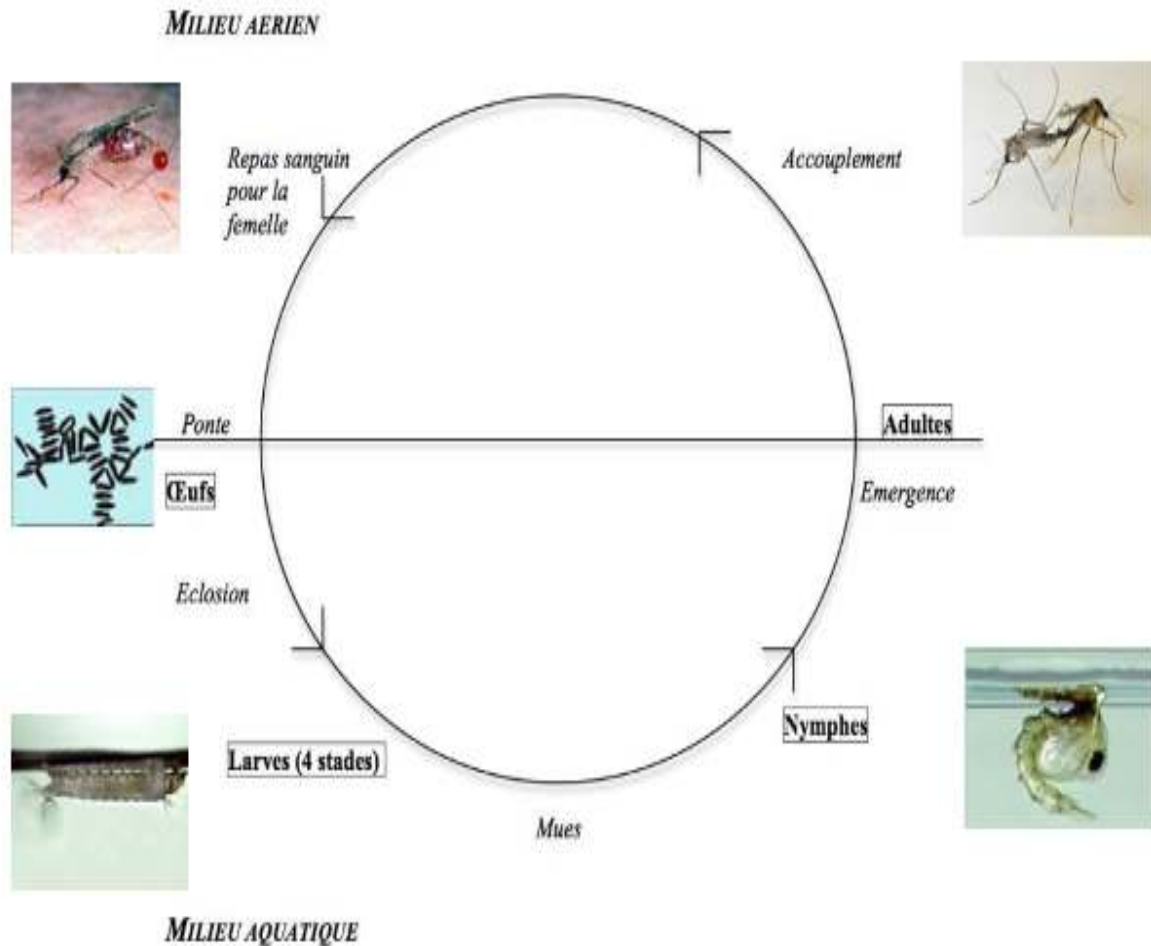


Figure 8 : cycle biologique d'Anophèles.

3. Lutte anti vectorielle contre le paludisme

La lutte anti vectorielle est un outil complémentaire à la prise en charge des accès palustres, pour réduire la morbidité et la mortalité. Elle permet la prévention et la lutte contre les épidémies, l'élimination de nouveaux foyers dans les zones indemnes de paludisme, le contrôle de la transmission dans les zones à risques élevés, la réduction de la transmission

dans les zones de fortes résistances aux antipaludiques et la lutte contre le paludisme en zone endémique.

Les moyens utilisés dans la lutte anti vectorielle sont fonction de l'effet recherché :

- réduction du contact hôte/vecteur.
- réduction de la densité de vecteurs.
- réduction de la longévité des vecteurs.

Etant donné les problèmes de résistance que l'on rencontre avec l'utilisation des insecticides, les modifications génétiques constituent un nouvel espoir dans la lutte anti vectorielle contre le paludisme, en dépit du coût souvent élevé de ces techniques. (Fouet., 2012).

C. Système d'Information Géographique et Télédétection

Le système d'information géographique (SIG) étant un système informatique permettant de rassembler, d'organiser, d'analyser, de combiner, et de présenter des informations localisées géographiquement (Figure 8). Il permet de manipuler des objets provenant de sources et de natures diverses (image satellite, photos aériennes, images scannées, données épidémiologiques, données entomologiques,...etc..). Les SIG - parfois conjointement aux analyses statistiques - peuvent être utilisés pour fournir des informations sur la localisation et les relations spatiales entre les objets géographiques, (Tischendorf., 1997). Les SIG sont utilisés dans des domaines très divers et notamment en biologie, ils sont ainsi couramment utilisés pour des études sur la distribution des vecteurs, des réservoirs de pathogènes ou des cas de maladies afin d'expliquer ou prédire la distribution future de maladies, et ce, à différentes échelles spatiales (Ostfeld et *al.*, 2005). Le SIG permet d'utiliser les résultats des modèles statistiques ou dynamiques dans un outil de surveillance ou de prédiction, afin par exemple d'évaluer différentes stratégies de contrôle ou l'influence de modifications de l'environnement et de localiser des zones à risque (Kitron., 2000). En effet, ils permettent l'étude des relations entre l'environnement et la distribution géographique des populations et la création par exemple de cartes de présence/absence d'une espèce (Ryttonen., 2004).

SIG

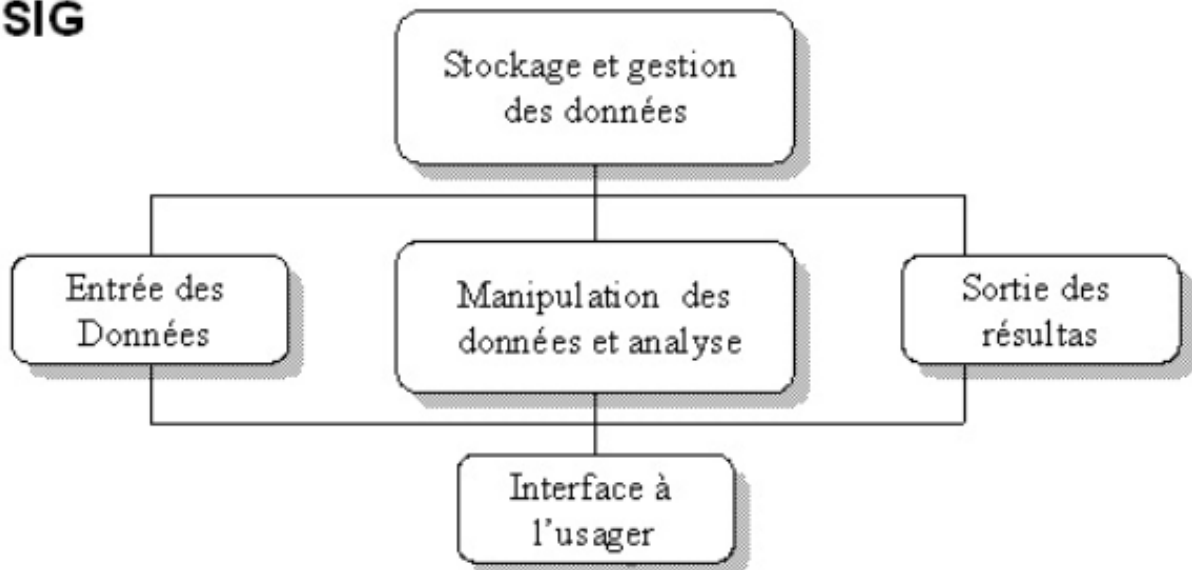


Figure 9 : Structure d'un SIG (Malczewski., 1999)

Les composantes du SIG sont représentées dans la figure suivante :

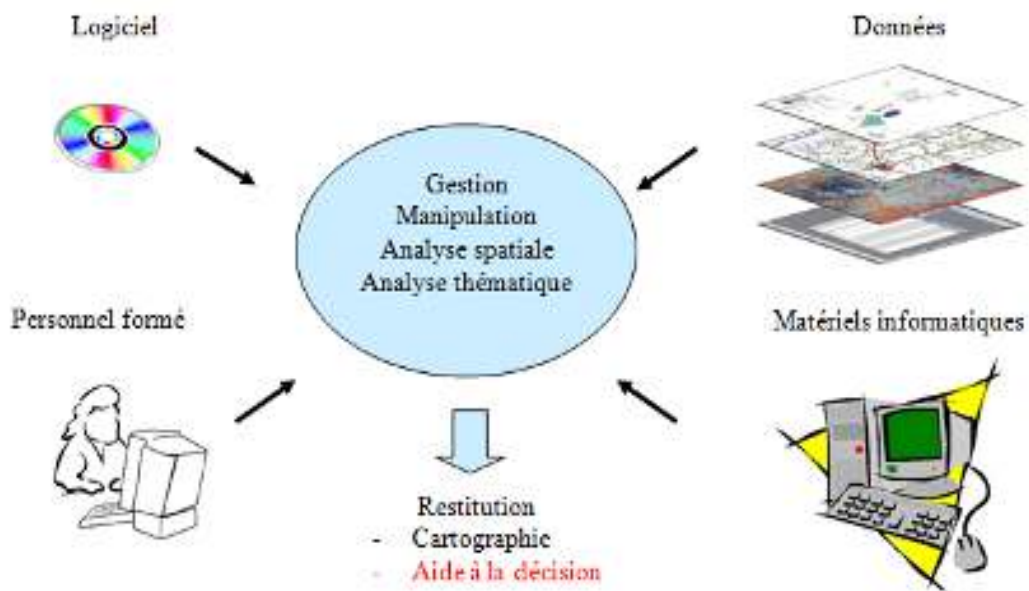


Figure 10: Les différentes composantes du SIG (Anonyme 2009)

Téledétection

La télédétection, quant à elle c'est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, sans contact direct avec celle-ci (Figure 11). La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information (anonyme, 2009). Les images satellites offrent la possibilité d'extraire des informations variées (végétation, humidité etc.) (Soti., 2009). Chaque type d'occupation du sol possède une signature spectrale propre (permettant sa détection, par exemple à partir d'un calcul d'indice. (Figure 12). Le spectre électromagnétique est composé des bandes :

- Rouge : 0,63 - 0,69 μm
- Vert : 0,52 - 0,62 μm
- Bleu : 0,44 - 0,50 μm
- Proche infra rouge : 0,78 - 0,86

Le calcul des indices permet la connaissance et la prise en compte des différentes caractéristiques spectrales des objets permettant d'envisager des méthodes d'analyse basées sur l'emploi simultané de plusieurs canaux d'acquisition, sous forme de combinaison linéaires ou de rapport. Ces valeurs synthétisent l'intensité d'un phénomène trop complexe pour être décrit par des paramètres simples et connus. Les indices à calculer sont choisis selon la thématique. (indice de végétation, indice d'humidité, indice de texture, etc)

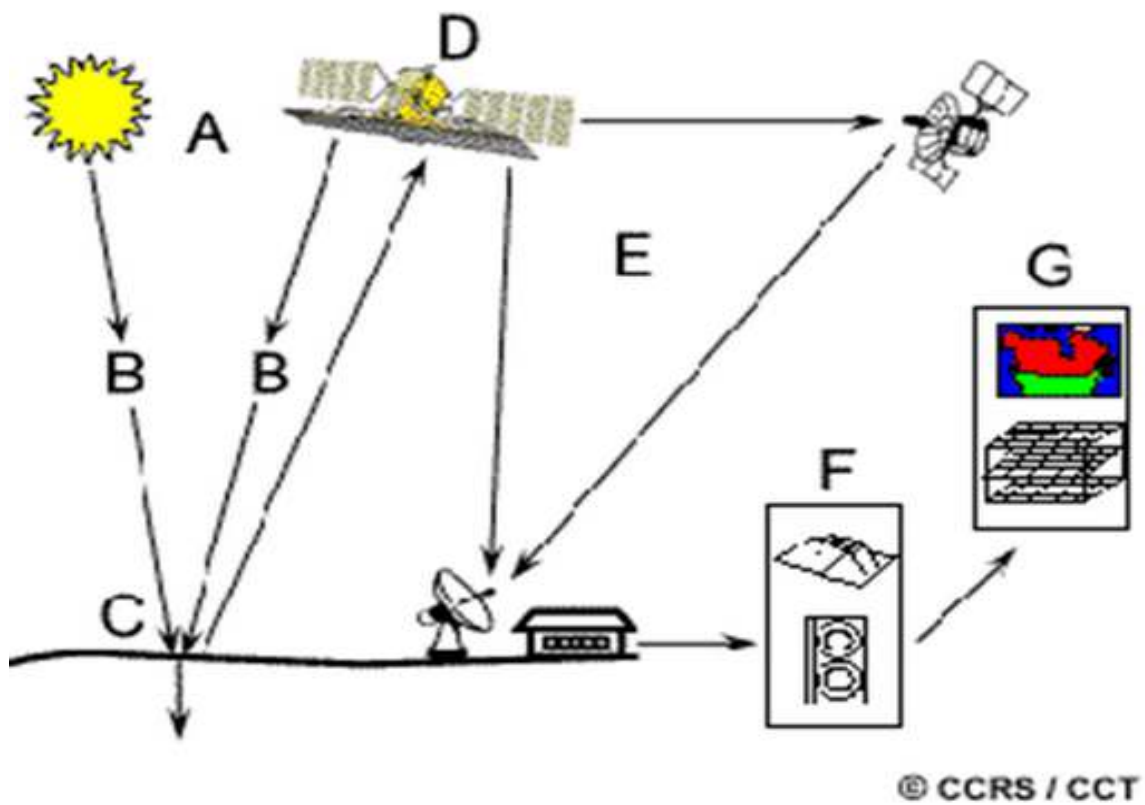


Figure 11: Principe de la télédétection (anonyme. 2009).

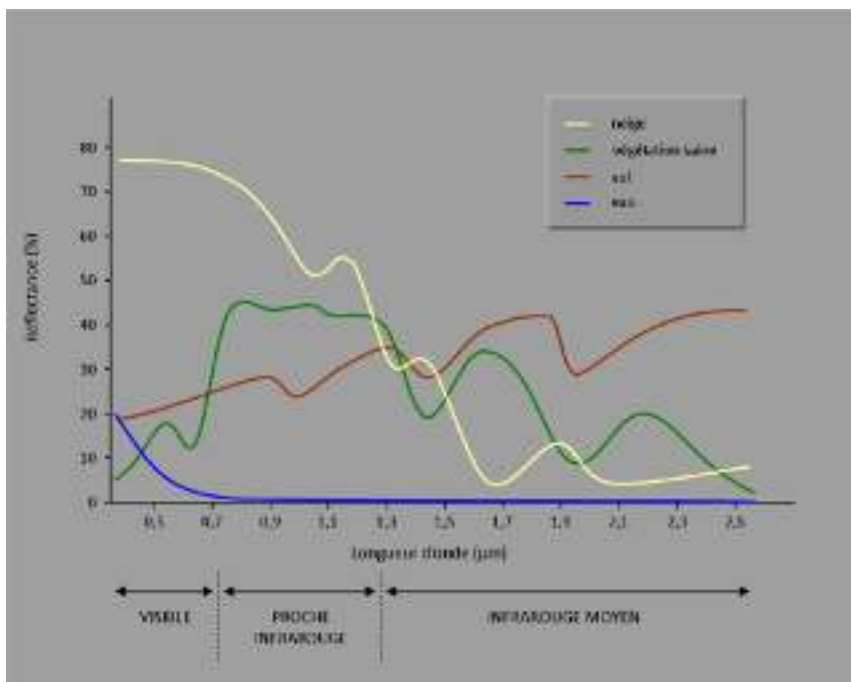


Figure 12: Exemples de signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible et du proche infrarouge

A- Matériels

1. Matériel biologique

Durant ce travail, nous avons étudié et identifié 200 Anophèles capturés en 2005 dans la vallée de Ouargla. Ces spécimens ont été conservés à -80°C au niveau du Service d'Eco-épidémiologie Parasitaires et Génétiques des Populations de l'Institut Pasteur d'Algérie.

2. Présentation de la zone d'étude

Ouargla est l'une des principales oasis du sud Algérien. Elle s'étend sur une superficie de 163 233 Km² et se trouve à 157 m d'altitude, à 800 Km au sud est d'Alger, à 5°20' E de longitude et 31°58' N de latitude. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Djelfa et El Oued, à l'est par la Tunisie, au sud par la wilaya de Tamanrasset et Illizi, et à l'ouest par la wilaya de Ghardaïa. (Figure 13).

La cuvette d'Ouargla est le lieu de transit obligatoire de toute l'activité du Sahara oriental vers l'axe transsaharien. Elle est caractérisée par un climat de type saharien avec une très faible pluviométrie (4mm/an), des températures très élevées oscillant entre 34.2°C et 11.2°C et une forte évaporation d'eau ; La gestion de l'eau est problématique du fait de la remontée des eaux de la nappe phréatique qui pose un sérieux problème écologique et sanitaire. D'ailleurs, la ville d'Ouargla fut nommée « L'oasis malade de trop d'eau ». (Côte ., 1998).Ce phénomène a engendré la multiplication des mares, constituant autant de gîtes de reproduction pour les moustiques, notamment pour les anophèles. (Hammadi *et al.*, 2009).

Ouargla appartient à l'étage bioclimatique saharien et est caractérisée par une aridité nettement marquée et une sécheresse quasi permanente. Le paysage pédologique de la cuvette est dominé principalement par le caractère salin. (Idder., 2007).

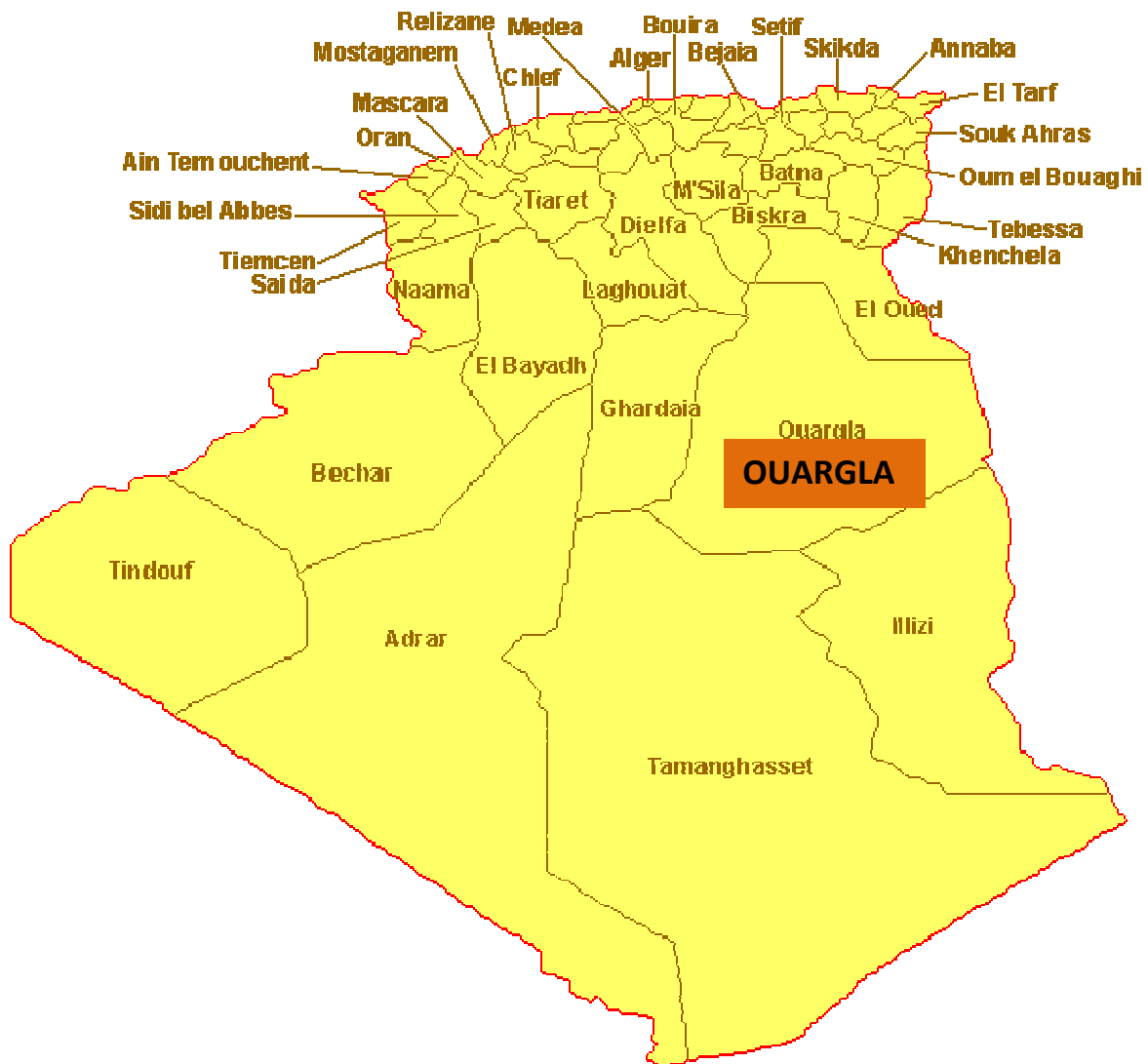


Figure 13 : Situation géographique de la wilaya d’Ouargla.(Anonyme 2011)

3. Données disponibles

a) Données entomologiques

Les captures nocturnes (de 19h00H à 07h00H) des anophèles ont été effectuées par l’équipe de l’unité d’entomologies du service d’éco épidémiologie parasitaire et génétique de population, du mois de juin au mois de décembre 2005 au niveau de la végétation, des maisons et des abris des animaux. 20 points de captures ont été réalisées. (Figure 12).

Les techniques de capture utilisées sont:

- Capture sur appât humain (Coffinet *et al.*, 2009). : ont été effectuées toutes les 2 semaines pendant 2 nuits avec un captureur dans chaque maison. (Figure 14)

- Capture aux pièges lumineux CDC (Coffinet et al. 2009). : placés de 19h00 à 01h00 et de 01h00 à 07h00 pendant 2 nuits, toutes les 2 semaines. (Figure 14)
- Capture de larves par deeping.



Figure 14 : les techniques de captures (a : Piège lumineux CDC, b : Piège sur appât humain (Photos, IPA).

b) Données épidémiologiques

Les données épidémiologiques ont été obtenues à partir de l'enquête sur les patients, en consultant les registres des malades à l'hôpital de Ouargla service des maladies infectieuses, et les immigrés subsahariens. Leurs positions géographiques ont été reportées à l'aide du GPS (Global Positionning System). (Figure 15).

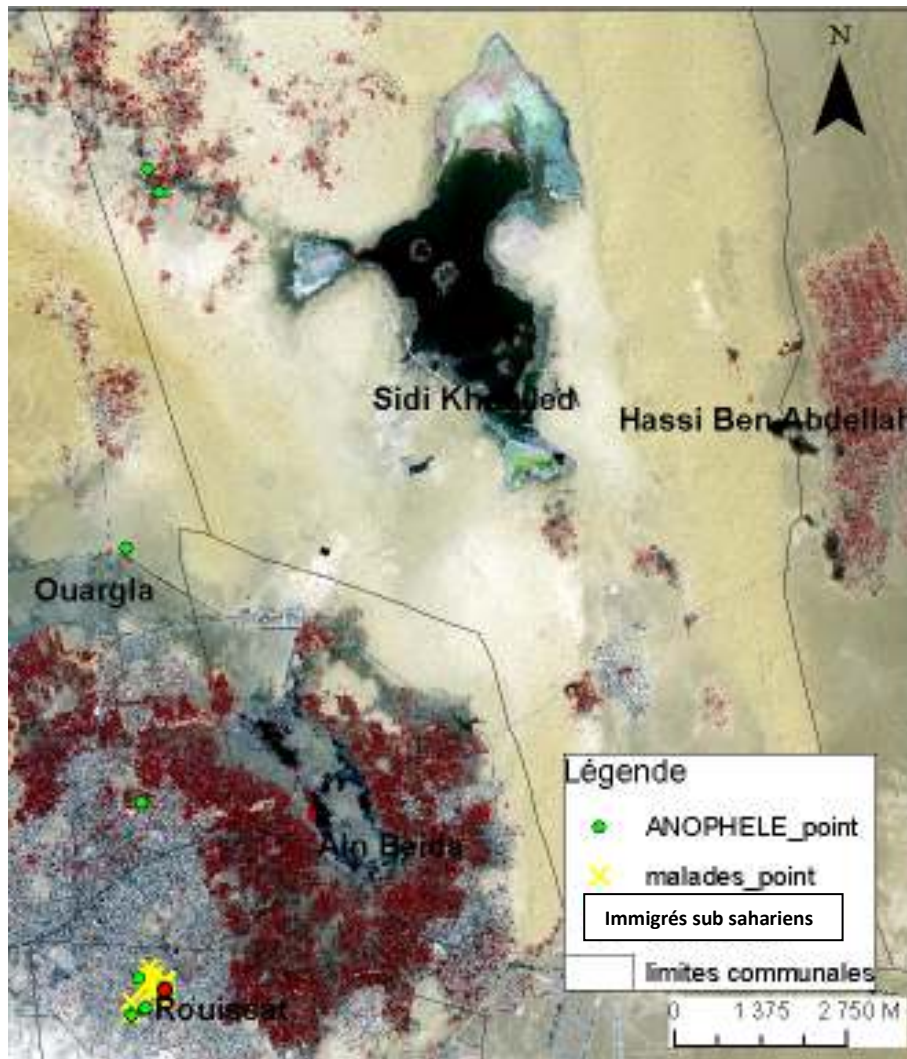


Figure 15 : Données entomologiques et épidémiologiques (image personnelle)

4. Images Quick BIRD

La scène utilisée est composée de 6 images de satellite Quick bird prise en 2007. Elle possède une résolution de 60 cm et est constituée de quatre bandes :

- Le rouge : 0,63 - 0,69 μm
- Le vert : 0,52 - 0,62 μm
- Le bleu : 0,44 - 0,50 μm
- Le proche infra rouge : 0,78 - 0,86

Les images satellites offrent la possibilité d'extraire des informations variées (végétation, humidité etc.) (Soti., 2009).

Chaque type d'occupation du sol possède une signature spectrale propre (permettant sa détection, par exemple à partir d'un calcul d'indice).

Le traitement numérique des images est réalisé sur l'image native à l'aide de logiciels de traitements d'images de télédétection comme « ENVI » (Figure 16).



D.

Figure 16 : image Quick bird de Ouargla (image personnelle).

B- Méthodes :

1. Identification des anophèles

a) Montage de spécimens pour l'identification :

L'épingleage des spécimens n'était pas possible juste après la décongélation car ils étaient rigides et cassables d'où la nécessité d'utiliser la technique du ramollissoir qui permet de les réhydrater et donc leur redonner toute leur souplesse (Lecoq et Mestre., 1988) :

- ✓ Déposer au fond d'une boîte qui se ferme d'une façon hermétique un produit absorbant qui sera imbibé d'eau. Comme du sable ou de la sciure du bois.
- ✓ Placer quelques couches de papier essuie tout ou des chiffons.
- ✓ Verser ensuite de l'eau pour saturer le papier ou le tissu. Certains ajoutent de l'alcool ou du vinaigre pour prévenir le développement de moisissures.
- ✓ Placer les insectes sur des morceaux de carton ou de plastique qui seront déposés sur la surface humide (les insectes ne doivent pas être en contact direct avec la surface humide)
- ✓ Refermer le ramollissoir.
- ✓ 12 heures devraient suffire pour les réhydrater les petits insectes. 24 heures pour les plus gros.

Pour éviter le dessèchement, l'insecte doit être manipulé rapidement après le ramollissement. Le montage se fait à l'aide d'une épingle entomologique (municie) qui transperce le milieu du thorax de l'insecte. (Figure 17).



Figure 17: Montage d'Anophèles (Photo personnelle).

b) Identification des spécimens

Sur les 2531 anophèles capturés, nous avons travaillé sur un pool de 200 spécimens. L'identification a été réalisée à l'aide du logiciel d'identification « Les culicidea de l'Afrique méditerranéenne », cet outil permet de comparer l'échantillon en cours d'identification aux caractères pris en compte dans la base de données du logiciel (Schaffner *et al.*, 2001)

Les anophèles sont triés par sexe, seul les femelles sont retenues pour l'identification.

Les critères d'identification concernent, par ordre d'importance : La tête, le thorax, les pâtes, les ailes et la répartition géographique :

- **TETE :**
 - Ornementation de l'antenne.
 - Ornementation de l'espace inter oculaire.
 - Couleur du segment 5 du palpe maxillaire.
 - Port des écailles du palpe maxillaire.
 - Nombre d'anneaux blancs du palpe maxillaire.
- **THORAX :** Revêt du scutum
- **PATE III :**
 - Couleur du tarsomère 1-III.
 - Couleur du tarsomère 2-III.
 - Couleur du tarsomère 3-III.
 - Couleur du tarsomère 4-III
- **AILES:**
 - Ornementation générale.
 - Longueur de l'aile.
 - Nombre de taches blanches sur le bord costal.
 - Ornementation de la frange alaire.
- **REPARTITON :** Espèce connue d'un pays ou d'une île.

2. Télédétection et traitement de l'information géographique

Le schéma général de la méthodologie proposée est illustré dans la Figure 18.

Après acquisition, une image satellite doit généralement subir différents types de traitements informatiques, tels que les corrections radiométriques, le calcul d'indices spectraux et texturaux, la classification (Machault *et al.*, 2009).

Ces étapes nous permettront ,d’abord , d’établir une carte de distribution des vecteurs validée par les données entomologiques, une carte d’aléa (vecteurs × tissu urbain) et enfin une carte de risque définie par l’Aléa × vulnérabilité, la vulnérabilité est définie comme étant les zones de regroupement de porteurs potentiels de parasites et qui sont les immigrés subsahariens . Cette dernière sera validée par les données épidémiologiques.

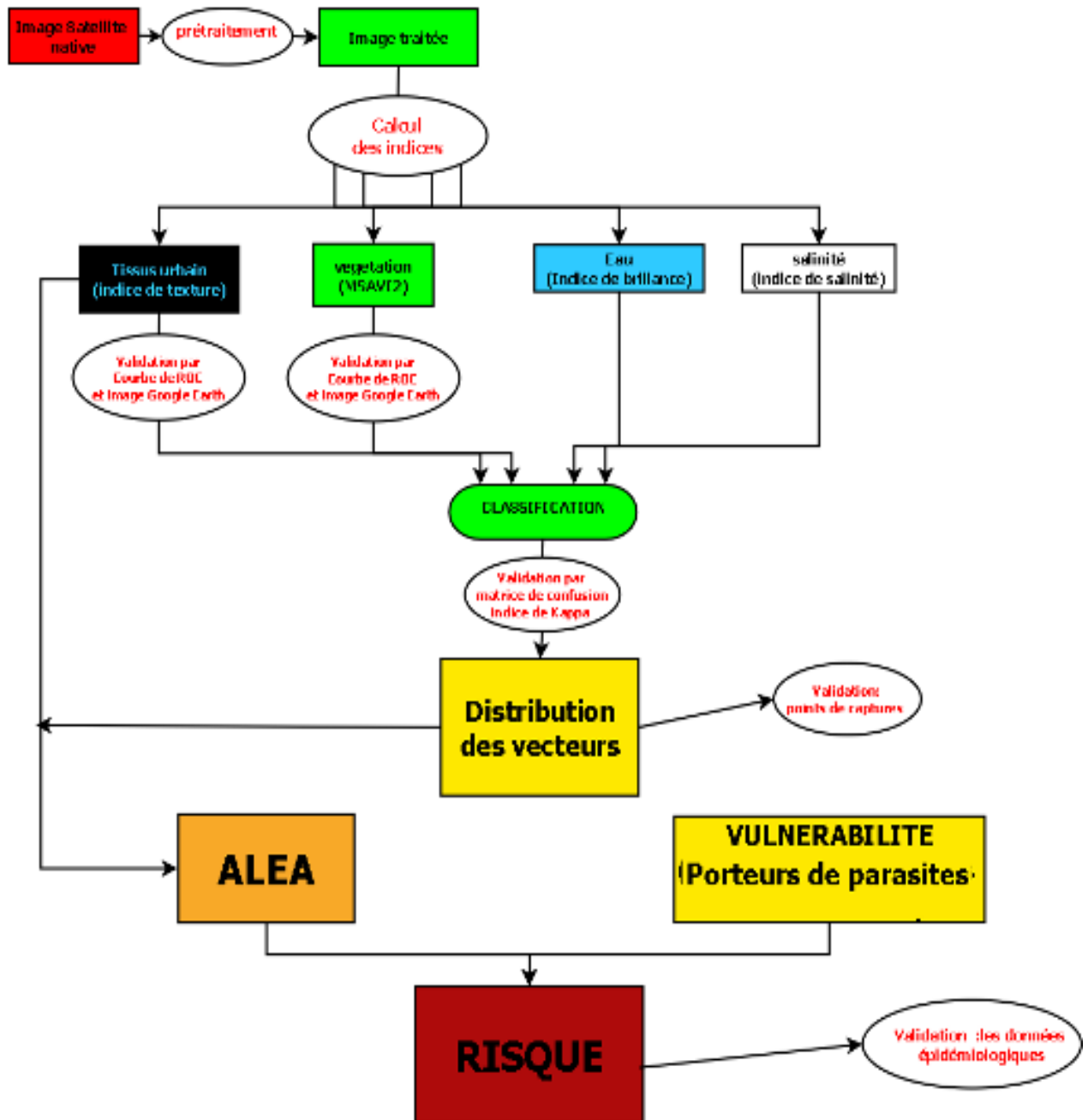


Figure 18: Méthodologie et chaîne de traitement de l’image Quik Bird

a) Prétraitements des images satellites

Les images brutes reçues sont composées d'un ensemble de bandes spectrales codées chacune en valeur comprise entre 0 et 255 (compte numérique), Nous avons procédé à la correction radiométrique de l'image Quickbird (due à la présence de l'atmosphère et à d'éventuels erreurs instrumentaux) (Benvenuti. 1997) à partir des informations sur le capteur à la date de la prise de l'image : (type du capteur, jour et heure de prise, angle d'élévation solaire...), en utilisant la fonction Quickbird calibration sous ENVI.

b) Calculs des indices multi spectraux

Il En télédétection, ces indices font partie des méthodes de traitement que l'on appelle les transformations multi spectrales. Le principe repose sur la conversion des luminances (intensité de l'énergie électromagnétique émise et réfléchié par un objet) mesurées en valeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement. Ce calcul consiste à combiner les valeurs de différentes bandes spectrales de chaque pixel dans des formules mathématiques plus ou moins complexes. Tous les indices, que ce soient les indices de végétation, de sols, etc., reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. (Guyot., 1989).

- Indice de végétation

La composition multi spectrale des images quickbird utilisées (bandes : rouge, vert, bleu et proche infrarouge), permet d'extraire les informations sur le couvert végétal (Bannari., 1995). Plusieurs indices de végétation sont disponibles, et utilisent généralement les bandes rouges et proche infrarouge de l'image pour détecter l'activité chlorophyllienne. Le choix est porté sur le l'indice MSAVI2 (Modified Soil -Adjusted vegetation Index 2) car il tient compte des zones qui ont un couvert végétal faible (<40%). (Figure 19)

$$MSAVI2 = \frac{2Pir + 1 - \sqrt{(2Pir + 1)^2 - 8(Pir - R)}}{2}$$

Pir: proche infra rouge, R: rouge

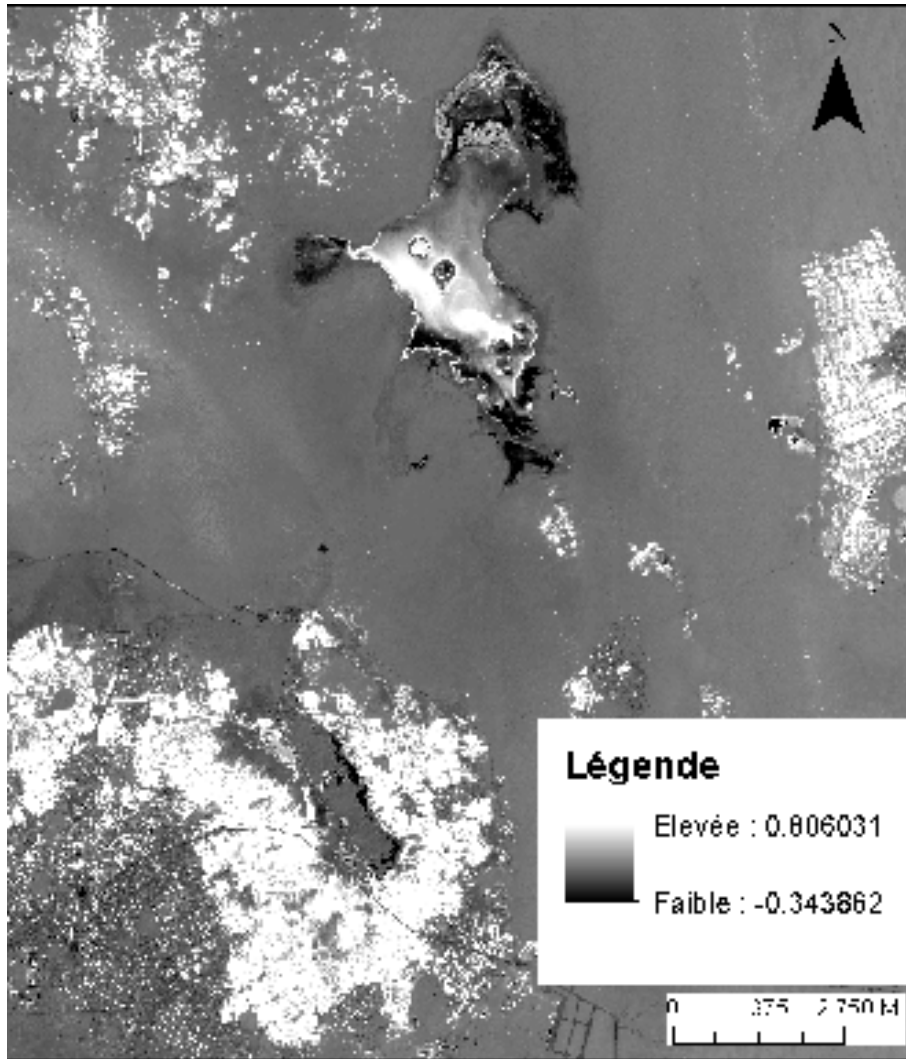


Figure 19: Image du MSAVI2 (image personnelle)

- **Indice de brillance des sols**

en télédétection, l'eau est détectée par le calcul d'indices d'humidité nécessitant l'utilisation de la bande du moyen infrarouge ((Dione et al ., 2009). Notre image n'ayant pas cette bande, l'indice de brillance a été utilisé pour caractériser les surfaces d'eau qui ont une réponse faible et apparaissent en noir. (Figure 20)

$$IB = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2}}{n}$$

X_i : valeurs spectrale des bandes (rouge vert bleu et proche infrarouge),

n : nombre de bandes spectrales.

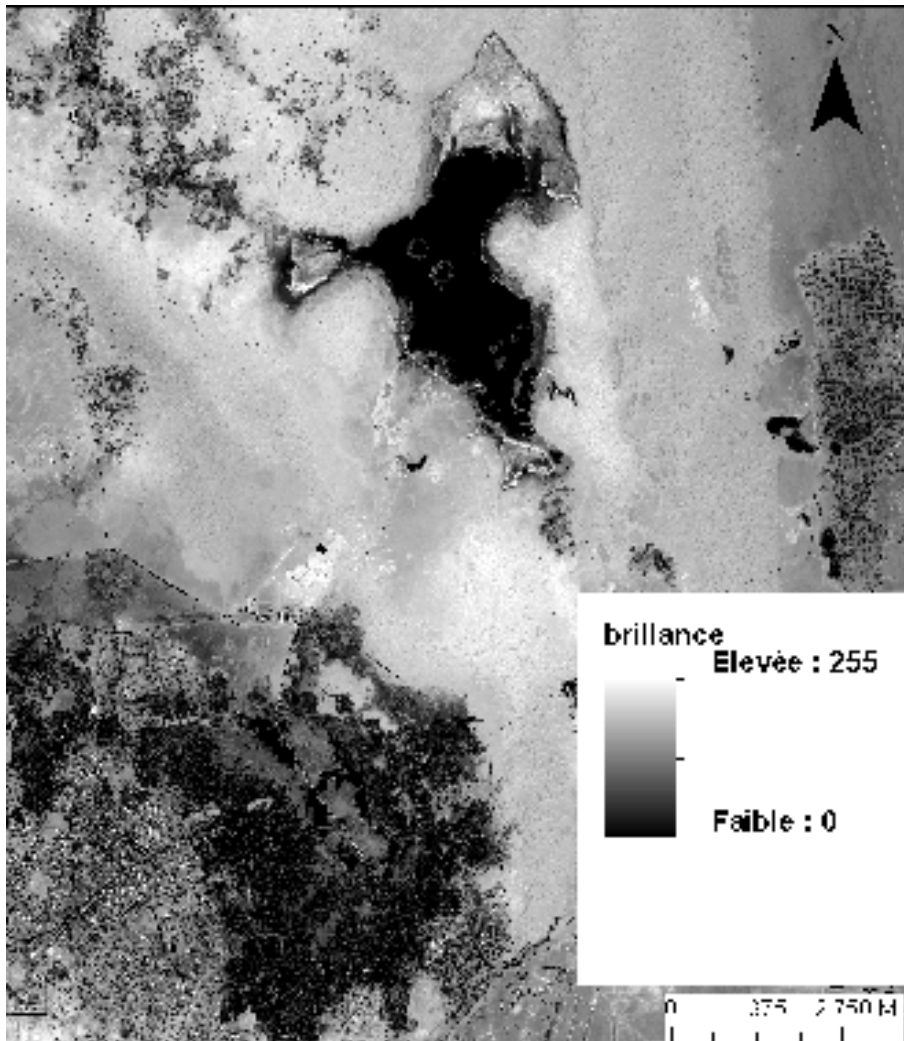


Figure 20: Image de la brillance de la zone d'étude (image personnelle)

- **Indice de texture**

En télédétection la texture désigne la fréquence de variation et la disposition des nuances de niveaux de gris, cette information permet par exemple de différencier des surfaces homogènes de surfaces hétérogènes. Les indicateurs de texture dérivés des matrices de cooccurrence (Haralick, 1973) sont les plus utilisées en télédétection (Belhadj-Aissa., 2000) permettant ainsi de détecter la présence de structure dans l'image (bâtiments par exemple). Nous avons utilisé la valeur de variance de l'indice de texture pour détecter le tissu urbain à partir de la bande verte de l'image satellite (Figure 21).

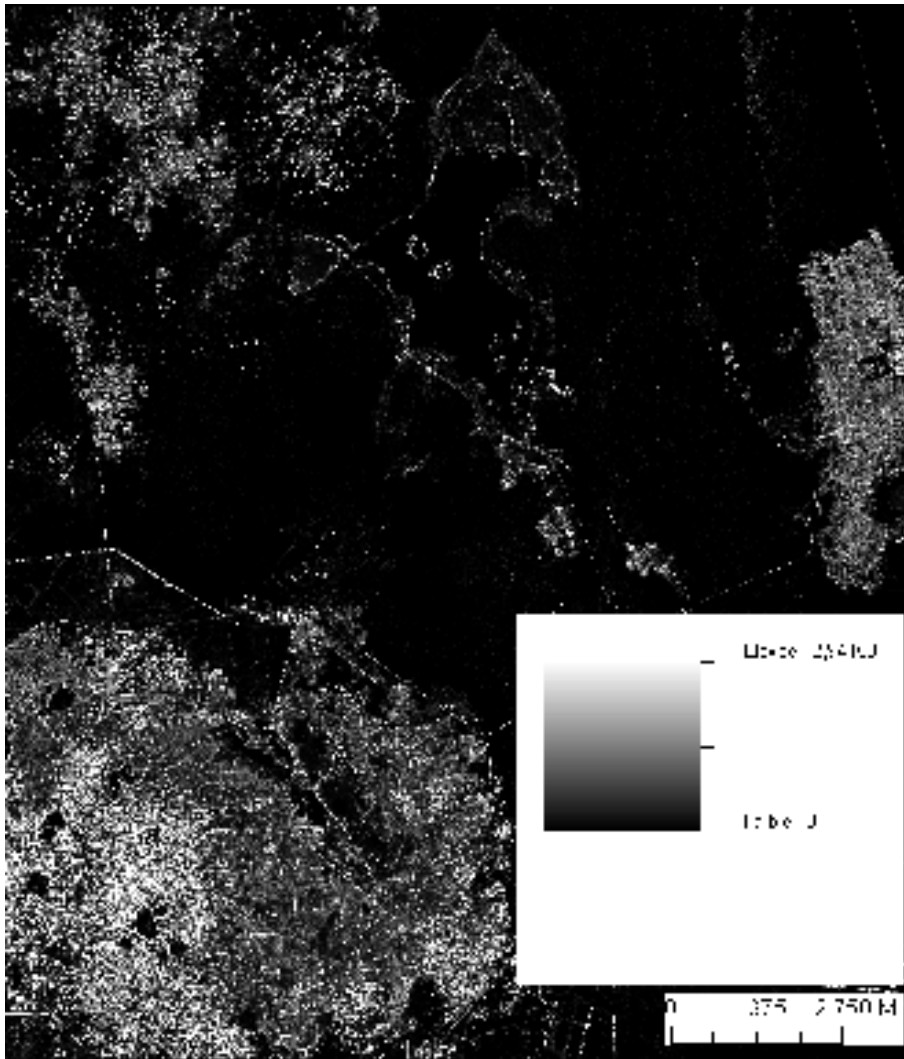


Figure 21 : Texture de la zone d'étude (image personnelle)

c) Seuillage des indices multi-spectraux pour l'identification des classes « Végétation », et « Zones urbaines »

Pour le seuillage et la validation des indices, nous avons créé des jeux de points aléatoires qui ont été comparés avec une réalité terrain. Cette dernière n'étant pas disponible, nous avons utilisé Google Earth comme outil de comparaison (Venard et al, 2010) (Cinnamon , 2010). Grâce à l'option « Timeline », il est possible de visualiser des images d'anciennes dates, correspondant à la date de la prise de la scène par le satellite Quickbird. La sélection des points a été réalisée aléatoirement (200 points par classe) sur les indices à tester avec l'outil «Random point» sur ArcGis, on procède à l'extraction des valeurs des points en fichier KMZ

(GoogleEarth). Les classes pour lesquelles la validation a été faite sont les classes « végétation » et « tissu urbain » qui sont aisément identifiable sur Google Earth. La validation des valeurs des points est de type logique (Vrai/faux) l'ensemble des observations est rapporté dans un tableau pour tracer la courbe de ROC (Receiver Operator Characteristic) en utilisant XLSTAT. La courbe ROC est une méthode de représentation graphique des performances d'un classifieur à deux classes (Metz, 1978). Depuis plusieurs années, son utilisation est devenue incontournable dans les méthodes d'évaluations. La courbe ROC représente la relation entre la sensibilité et la spécificité pour toutes les valeurs seuils possibles. Le tracé de la courbe permet d'estimer l'aire sous la courbe (AUC) reflétant les performances du test et de calculer le seuil du test ou de l'indice évalué (Delancourt *et al*, 2005).

d) Classification de l'eau

Pour classifier cet élément, nous avons opté pour une classification supervisée (Enonzan F.B., 2010). La classification supervisée est une technique de classification automatique où l'on cherche à produire automatiquement des règles pour regrouper des individus en un certain nombre de classes, à partir d'une base de données d'apprentissage contenant des « échantillons ». Le but d'une classification est de simplifier la réalité d'un paysage pour faciliter son interprétation. Cela consiste à simplifier la radiométrie d'une image brute qui représente le paysage, en formant des classes qui regroupent les pixels similaires. (Chipman, and Lillesand., 2007).

e) Création d'un arbre de décision pour la classification de l'image Quickbird

Afin d'obtenir la classification de l'image, un arbre de décision a été créé sous ENVI grâce à la fonction « decisions Tree » (Figure 21)

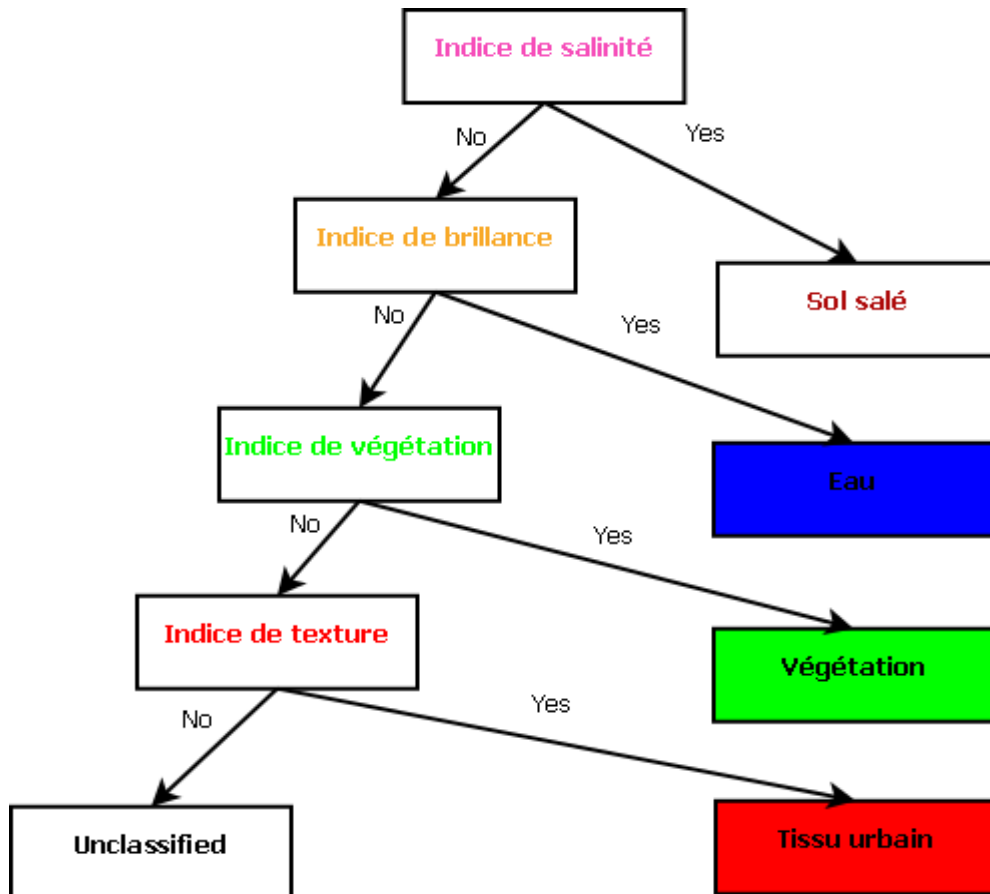


Figure 22 : Arbre de décision de la classification du sol

f) Validation de la classification

La classification permet de regrouper des pixels similaires et ainsi de caractériser des écosystèmes. La classification de notre image a été évaluée par une matrice de confusion. Elle est obtenue en comparant les données classées avec des données de référence qui doivent être différentes de celles ayant servi à réaliser la classification. Les données de référence sont acquises sur le terrain ou proviennent de photographies aériennes, de cartes thématiques.

Dans notre cas nous avons pris les points de référence depuis Google Earth®. L'évaluation de la performance de la classification se fait par le calcul de l'indice Kappa (Cohen., 1960). La concordance entre la classification et les données de validation est d'autant meilleure que cet indice est proche de 1.

g) Cartes de distribution des anophèles d'Alea et de risque

L'outil « Model builder » sous ArcGis (Figure 23) a été utilisé pour élaborer les trois cartes.

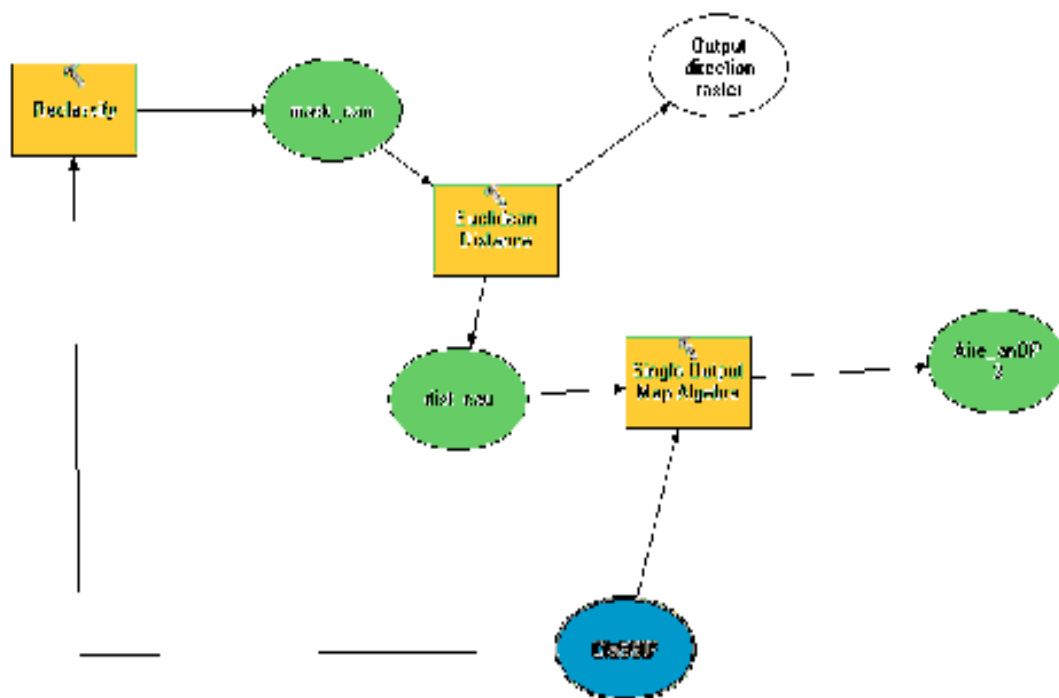


Figure 23 : Modèle de construction de l'aire de distribution d'Anophèles (Arc GIS Model builder).

A partir de la carte de classification du sol, une carte de distribution des anophèles a été réalisé à partir de l'intersection entre les gites (surfaces d'eau) et le couvert végétal, en prenant en considération une distance de 10000 m correspondant à la distance d'envol moyenne des anophèles (Charoenpanyanet., 2008 ; Kaufmann et Briegel., 2004 ; Alberta., 1966).

L'aléa détermine le risque encouru si les éléments du cycle de transmission du paludisme sont présents (vecteur et hommes) dans le même endroit. Cela est traduit par l'intersection entre les zones de distributions prédites des anophèles et les habitations.

La vulnérabilité, quant à elle, représente la localisation des porteurs potentiels du parasite

Le risque est le résultat de l'intersection entre l'aléa et la vulnérabilité (Dauphiné., 2001). (Figure 24).

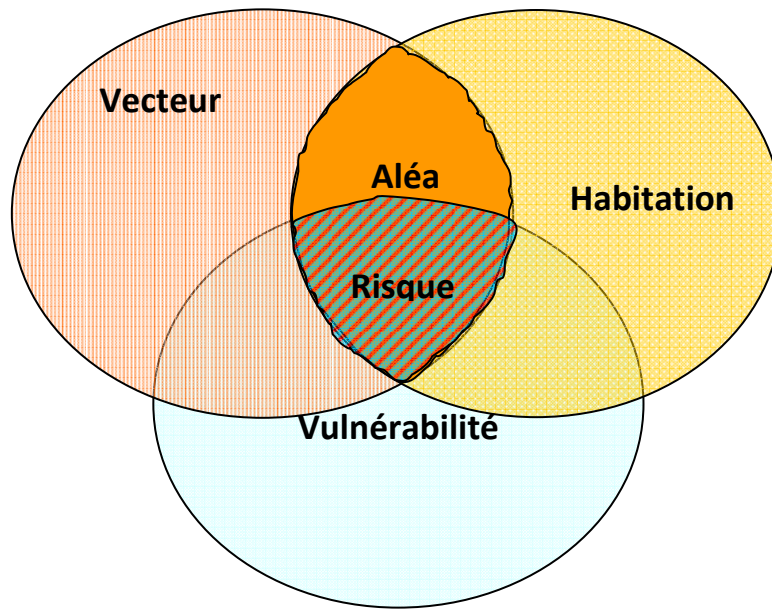


Figure 24: Aléa, vulnérabilité et risque de la maladie.

A- Identification des Anophèles

Les différentes techniques de capture élaborées dans la wilaya de Ouargle ont donnée les résultats suivants : 2531 *Anophèles* adultes dont 1166 collectés par piège CDC et 1365 par capture sur appât humain ainsi que 968 larves d'*Anophèles*.

L'identification des 200 spécimens a révélé la présence d'une seule espèce, *Anophèles multicolor*. Elle a été réalisée par le logiciel en se basant sur des critères à savoir : La tête, le thorax, l'aile, la pête III et la répartition géographique. Dans notre étude, il nous a été possible d'identifier nos échantillons dès les 5 premiers critères de base. Ces critères sont résumés dans la Figure 25.

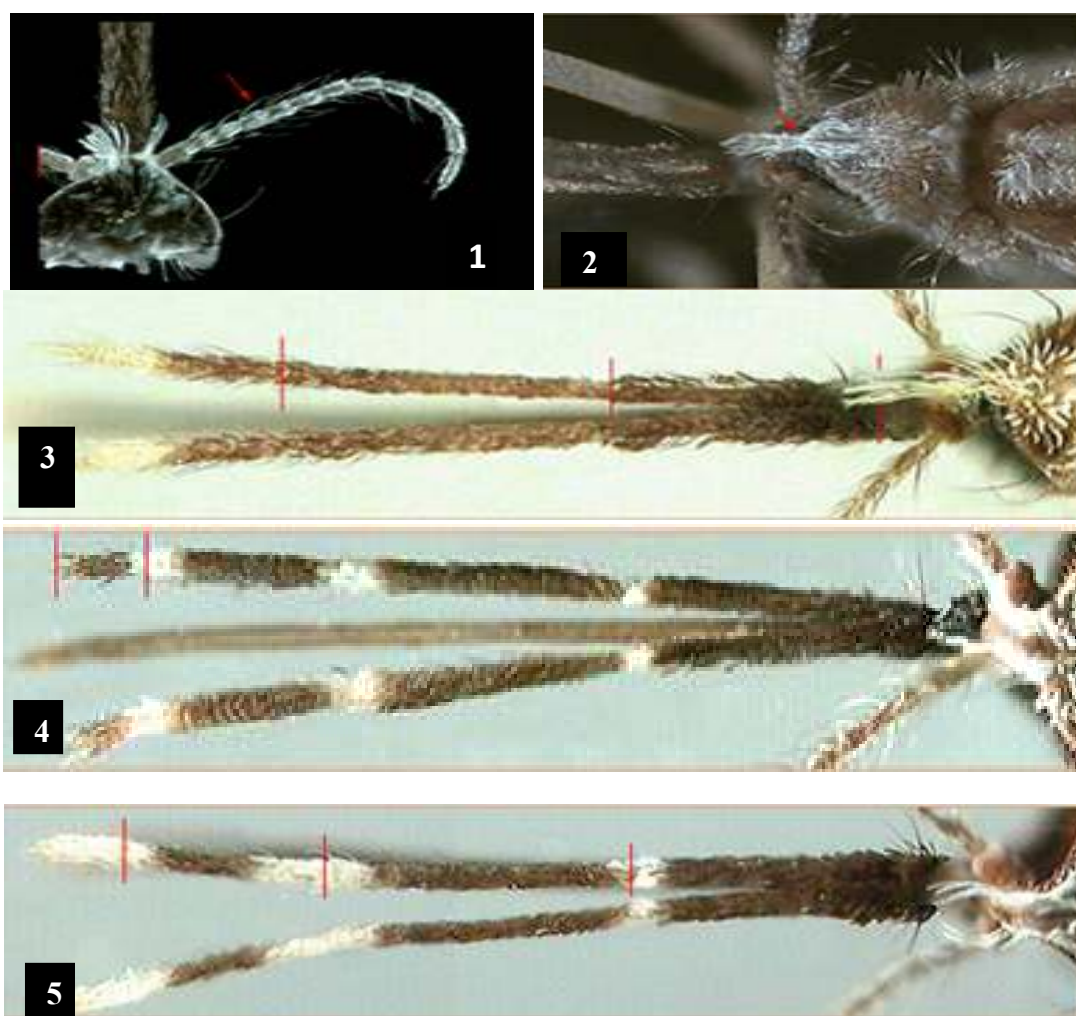


Figure 25 : Critères de base de l'identification d'*Anophèles multicolor* : (1) Ornementation de l'antenne (Verticilles rares et peu développés). (2) Ornementation inter oculaire : Avec une Touffe de longues écailles blanches. (3) Couleur du segment 5 du palpe maxillaire : Blanc seulement à L'Apex du segment 5. (4) Port des écailles du palpe maxillaire: Ecailles étouffées à la base. (5) Nombre d'anneaux blancs du palpe maxillaire : Trois anneaux blancs.

Anophèles multicolor est une espèce qui se retrouve dans les palmeraies et s'est même adaptée aux eaux polluées (Julvez., 1998; Senevet et Andarelli., 1956). Cette espèce est inféodée au gîte halophile, les chénopodiacées étant des indicateurs très généralement trouvés à proximité de ses gîtes. Elle supporte des taux importants de salinité (de 5 à 50-60 g/litre de sel) (Mandoule et Jaquemin., 1951), mais elle n'a jamais été retrouvée dans des gîtes dont la salure était due à l'eau de mer. (Gaud., 1959).

Anophèles multicolor est aussi une espèce typiquement héliophile. (Bouchite *et al.*, 1991). Les adultes sont observés pendant presque toute l'année (Merabti et Ouakid., 2011), en nombre plus important pendant la durée de la saison chaude, dès le mois de mai et sont particulièrement nombreux à la fin de l'été. *A. multicolor* pique aussi bien l'homme que les animaux à l'intérieur des maisons qu'à l'extérieur, mais présente une affinité plus marquée pour les humains. (Hammadi *et al.*, 2009). Sa longueur de vol est remarquable, elle peut atteindre jusqu'à 13 km. (Kirchpatrick., 1925 ; Bouchite *et al.*, 1991; Bonjean., 1959).

Trois espèces de Plasmodium ont été observées pendant les différentes flambées de paludisme, à savoir: *Plasmodium falciparum*, *P. vivax* et *P. malariae*.

B- Indices dérivés de l'image Quickbird

1- Indice de végétation

Le MSAVI 2 est l'un des indices de végétation les plus utilisés pour les sols désertiques de part sa sensibilité à la variation et perturbation du sol (Bannari, 1995). Ce qui est adéquat dans le cas de la zone d'étude (Figure 19).

La validation de cet indice par la courbe de ROC a donné une AUC de 0.878 (Figure 26) ce qui signifie une bonne fiabilité de l'Indice MSAVI2 à discriminer le sol nu du couvert végétal. La valeur seuil (pixel) de discrimination du couvert végétal est de 0,229).

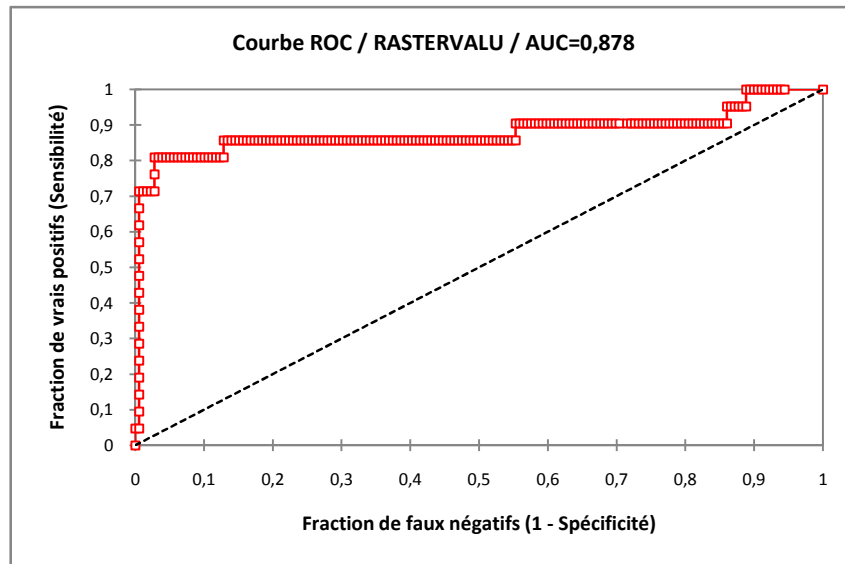


Figure 26 : Courbe de ROC

2- Indice de texture

Vu la non disponibilité d'un plan cadastral numérisé de la zone d'étude, nous avons utilisé le calcul de la valeur de la variance de l'indice de texture (Figure 21). Celui ci est, également, validé par la courbe de ROC donnant une valeur seuil de discrimination du bâti de 0.74 pour une AUC de 0.68.

3. Indice de brillance

En général, pour la détection des surfaces d'eau sur l'image satellite, on calcule l'indice d'humidité, faisant intervenir la bande moyen infrarouge (Chipman et Lillesand., 2007). Cette bande n'existant pas sur l'image, nous avons opté pour l'indice de brillance qui permet de différencier l'eau des différents éléments de l'image (Figure 20). L'extraction des surfaces d'eau a été effectuée par classification supervisée et validée lors de la validation de la classification.

C- Classification de la zone d'étude

Le calcul des différents indices nous a permis de faire une classification globale du sol: la végétation, le tissu urbain, l'eau et la salinité, représentés respectivement par le vert, le rouge,

le bleu et le gris (Figure 27). Les classes produites vont servir à créer les cartes de distribution d'anophèles, d'aléa et de risque.

Cette classification est évaluée par une matrice de confusion et l'indice de Kappa (Enonzan., 2010) qui est égal à 0,89. Cette valeur traduit une bonne classification de la zone d'études selon les indices utilisés.

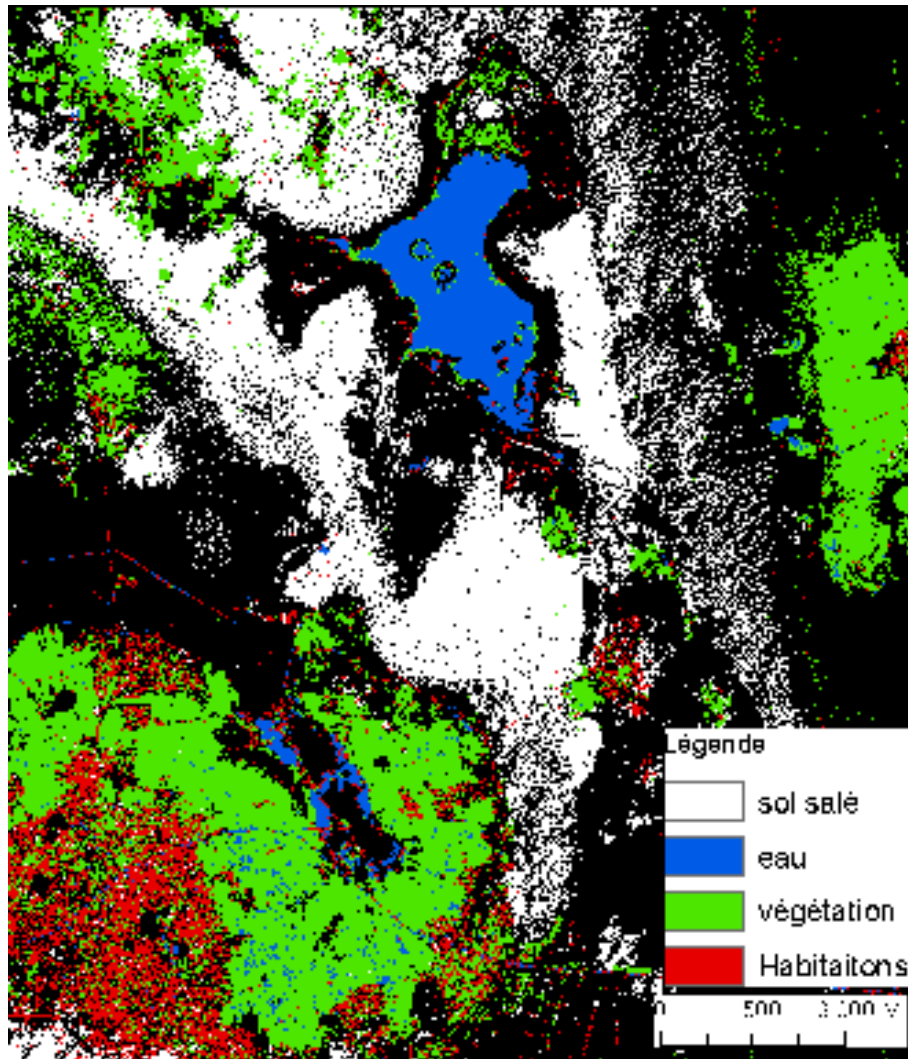


Figure 27 : Classification globale de la région d'étude

D- Aires de distribution des anophèles, alea et risque

L'aire de distribution d'Anophèles a été obtenue à partir de la carte de classification du sol par intersection des zones contenant les surfaces d'eau et le couvert végétal et en tenant compte de la distance moyenne d'envol d'anophèles (10 Km).

L'aire prédite couvre pratiquement toute la ville d'Ouargla et est plus importante en bordure des agglomérations au niveau des palmerais où les gîtes sont abondants. Par ailleurs, nous remarquons que l'aire de distribution est réduite autour de la Sebka.

En superposant les points de piégeage sur la carte de distribution d'Anophèles, nous avons trouvé qu'ils appartiennent à la zone étudiée. Ceux qui se situent en dehors de la zone en question, ne sont pas considérés. (Figure 28). Malheureusement, nous n'avons pas les informations détaillées sur les captures effectuées (nombre d'anophèles par date, par espèce...etc....), ce qui biaise les tests statistiques. Nous avons donc uniquement considéré l'information de présence ou d'absence du vecteur.

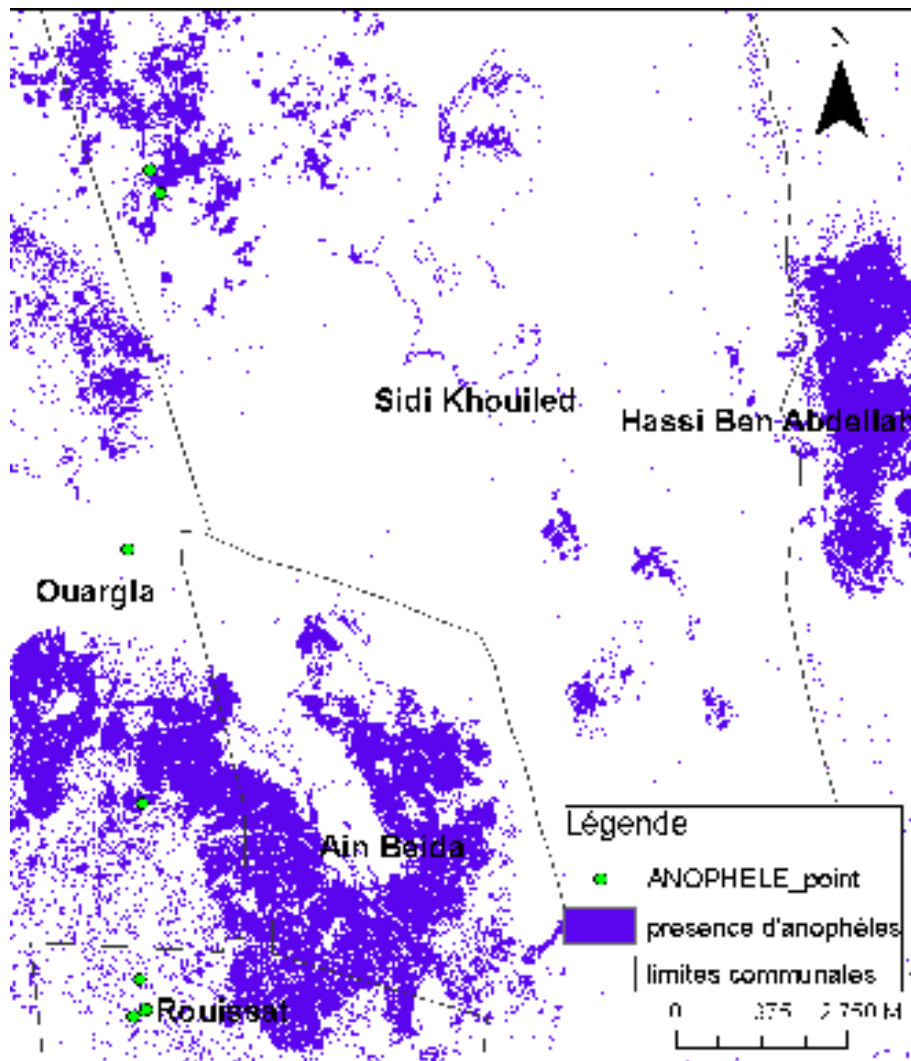


Figure 28 : Carte de distribution d'Anophèles à Ouargla (image personnelle)

En se basant sur les critères : l'eau, la végétation et le tissu urbain, nous avons obtenu grâce aux outils qu'offre ArcGis, la carte d'alea. Ce dernier correspond à l'intersection des zones de distributions des vecteurs et les tissus urbains. Dans la région d'étude, L'alea prédit est important, il couvre pratiquement toutes les zones urbanisées proches des palmeraies surtout dans la zone sud ouest (chef lieu de la wilaya) (figure 29).

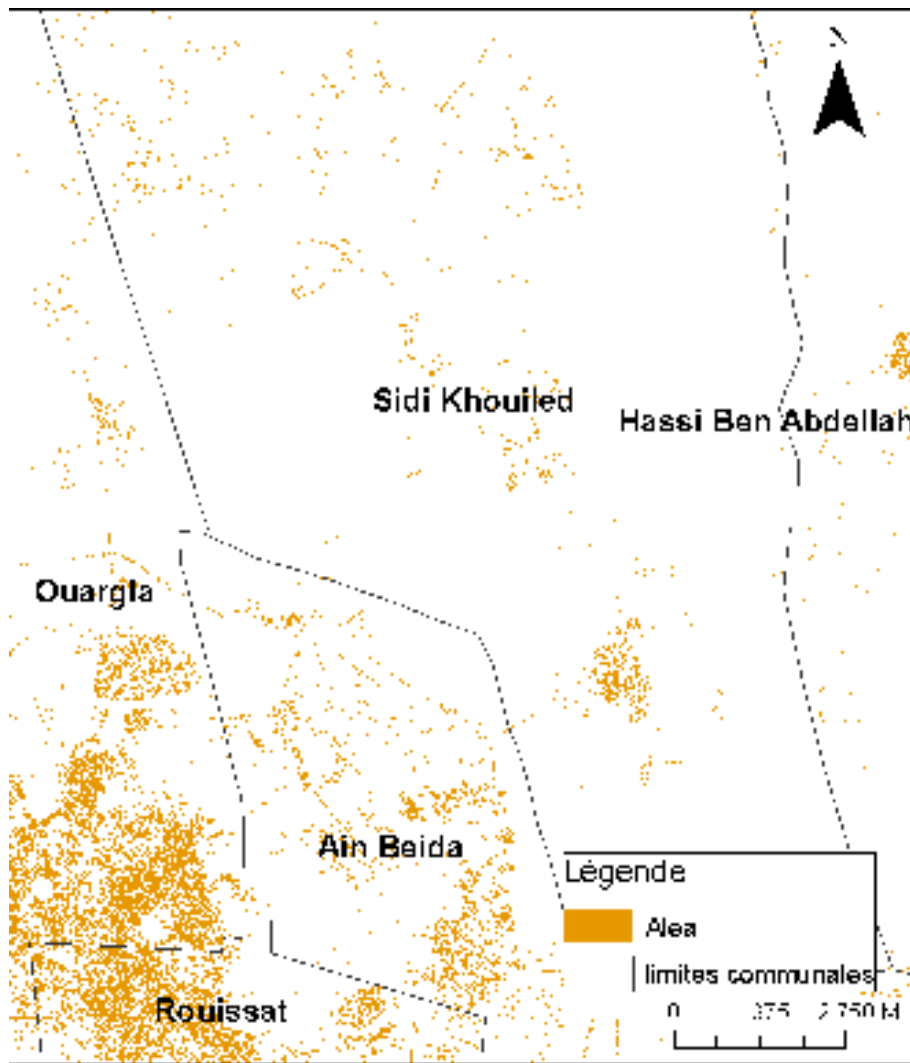


Figure 29 : carte d'Alea de la zone d'étude (image personnelle).

Le risque de transmission du paludisme a été élaboré à partir de l'intersection de L'aléa (aires de distribution du vecteur à l'intérieur du tissu urbain) en prenant en compte l'envol des vecteurs, et la vulnérabilité considérée par l'emplacement du camp des réfugiés clandestins, ce camp de réfugiés se situe dans la localité de Rouissat au sud ouest de la ville d'Ouargla (Figure 30).

En superposant le risque prédit aux données épidémiologiques concernant les malades habitant la zone d'étude. Nous remarquons que tous les malades sont inclus dans l'aire du risque (figures 31) confirmant donc son étendu. La présence de gîtes à anophèles a été rapportée dans cette aire (données entomologiques).

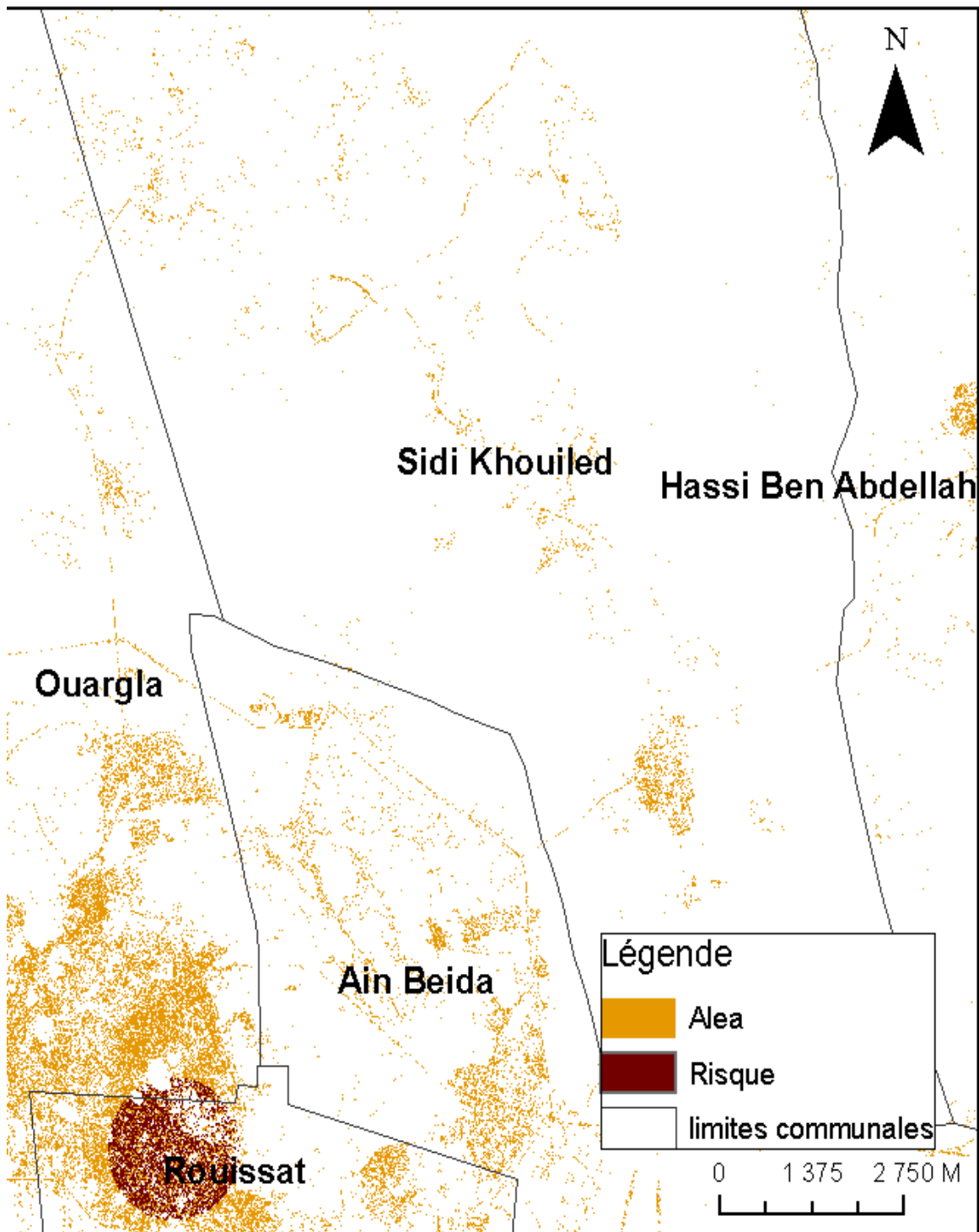


Figure 30: Zone d'Aléa et de risque à Ouargla.

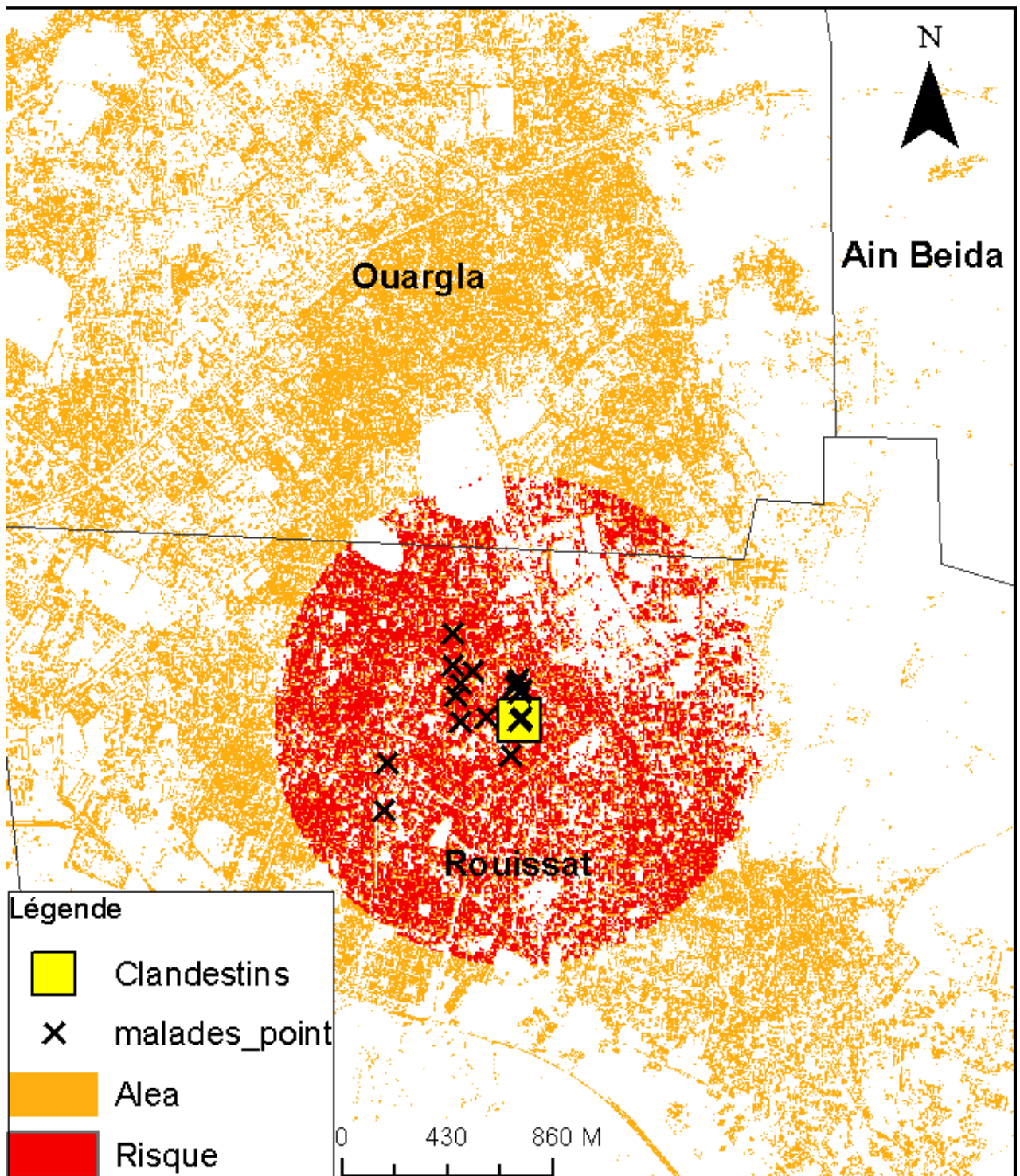


Figure 31 : Zone à risque du paludisme à Ouargla

Cette étude est une première approche pour cartographier le risque de transmission du paludisme dans la région de Ouargla par l'imagerie satellitaire à travers Quickbird images. Elle est basée sur la distribution des anophèles vecteurs qui est dépendante des facteurs environnementaux.

L'identification des anophèles capturés à Ouargla dans différents sites de piégeage a révélé la présence d'une seule espèce *Anopheles multicolor*. Cette espèce largement répandue au Sahara est signalée dans plusieurs pays comme la Tunisie, la Lybie, l'Égypte, le moyen Orient. (Fisher., 1952 ; Bouchite *et al.*, 1991 ; Julvez., 1998), cependant le rôle d'*A. multicolor* comme vecteur responsable d'épidémies de paludisme est discutable (Sergent Ed et Parrot L, 1961) (Sergent Ed et Sergent Et.,1928) puisqu'il n'a jamais été trouvé infecté, quoique l'infection expérimentale a été réalisée en Algérie dans les années quatre vingt (Chauvet., 1983).

Par ailleurs, le fait de ne trouver qu'une seule espèce, *A. multicolor*, dans les points de capture ne prouve pas l'absence d'autres espèces anophéliennes. Le nombre de sites prospectés n'était pas suffisant ni représentatif de la région d'étude. Des enquêtes entomologiques réalisées à Ouargla ont montré la présence d'*A. sergenti*, (Chauvet., 1983). Toutefois il ne faut pas négliger le rôle d'*A. multicolor* dans la transmission du paludisme au Sahara vu sa densité dans les oasis qui offrent des gîtes saumâtres à forte teneur de salinité propices au développement de cette espèce plutôt qu'à celle d'*A. sergenti* (Chauvet., 1983).

La cartographie du risque du paludisme en Afrique a été largement utilisée dans la seconde moitié des années quatre vingt dix avec le développement de nouveaux outils techniques, et à une meilleure compréhension de l'épidémiologie de la maladie (Lengeler C et Genton B., 2000). Le système d'information géographique et la télédétection ont été utilisés pour diverses problématiques :

Au Burkina Faso, ces outils ont servi pour la cartographie des zones de transmission des trypanosomoses animales par l'étude des densités du vecteur, les glossines, et les mouvements

des bovins hôtes réservoirs. Les niches des glossines et les déplacements des troupeaux dans les parcours de transhumance ont été localisées sur l'image satellite. Le croisement des informations recueillies a abouti à une modélisation de «paysages à risque de transmission », et à une mise en œuvre d'une lutte ciblée contre le vecteur de la maladie par des méthodes appropriées. (Michel *et al.*, 2001). Ces mêmes outils ont été également utilisés pour modéliser le risque de diffusion du moucheron *Culicoides imicola*, vecteur de la fièvre catarrhale du mouton (FCM) dans le département du Var, en France. (Tran *et al.*, 2007) et du paludisme et la bilharziose *S. mansoni* à Madagascar (Jeanne., 2001).

Dans la présente étude, la scène QuickBird acquise nous a permis d'extraire les différents indices pour le calcul de l'aléa et du risque, cependant l'inconvénient réside dans l'absence de la bande du moyen infrarouge qui permet de détecter l'eau plus facilement et aussi du fait que la grande résolution de l'image (60cm) a engendré des confusions de certains éléments (bâti /sol). Souvent, plus l'échelle est grande, plus la texture apparaît lisse. C'est pourquoi dans de nombreux cas, une trop haute précision des images n'améliore les classifications par thème. En effet, l'accroissement du détail crée une valeur additionnelle à l'intérieur des classes de teinte homogène, ce qui diminue la séparabilité. (Pella *et al.* 1997).

D'autres capteurs offrent des images avec le moyen infrarouge à des résolutions moins importantes comme le capteur du satellite SPOT5 (5 à 10 mètres) dont le coût s'avère moins important que celui de QuickBird.

L'aléa est représenté dans notre étude par la zone de nuisance des moustiques entre autres les anophèles qui prolifèrent intensément dans la ville d'Ouargla. Cet aléa semble important et couvre pratiquement toutes les zones urbaines. Ceci est lié l'abondance des collections d'eau et des gîtes larvaires.

La gestion de l'eau, particulièrement le drainage dans le secteur urbain et agricole, est problématique. Ceci, est la conséquence de la formation géologique de la région et de la remontée des eaux de la nappe phréatique (Idder ., 2007). Ce phénomène a été amplifié par la réalisation de plusieurs centaines de puits creusés pour assurer l'irrigation des palmerais, ce qui a engendré la multiplication des mares, constituant autant de gîtes de reproduction pour les moustiques, notamment pour l'anophèle. Pour faire face au problème de la remontée des eaux, l'état algérien a débloqué, en 2006, 340 millions de dollars pour assainir la vallée de Ouargla (Hammadi., 2009). Ces mesures d'assainissement devraient être synchronisées avec

la lutte anti vectorielle pour de meilleurs résultats afin de restreindre l'aire de distribution des moustiques et de ce fait l'aléa lié au risque de transmission du paludisme.

D'après la carte de risque que nous avons obtenue, l'aire de transmission du paludisme à Ouargla est focalisée surtout dans la zone chef lieu de la wilaya. L'urbanisation effrénée non contrôlée a eu un impact sur l'importance et la répartition de la maladie.

Avec l'ouverture de la route transsaharienne dans les années quatre vingt, l'Algérie est devenu une zone de transit pour les populations des pays du Sahel (Chauvet *et al.*, 1985). Le volume des échanges commerciaux s'est accentué au fil des années et parallèlement les mouvements de populations venant de zones d'endémie palustre et les voyageurs se sont amplifiés. La mobilité des personnes ne prenant pas de chimioprophylaxie venant des zones d'endémie et transitant ou séjournant à Ouargla en période de transmission augmente le risque d'émergence de micro foyers de paludisme.

Selon la densité du vecteur (qui dépend de la nature des gîtes, de la température, de l'humidité et de la présence du bétail ou des habitants) et sa distance d'envol, l'aire que prend le risque peut varier. Nos prédictions ont été confirmées par l'existence des cas recensés à l'intérieur de la zone de risque délimitée. Le risque est variable et touchera les endroits où l'aléa est présent. En d'autres termes, la menace de réémergence du paludisme concerne toute la ville d'Ouargla et particulièrement les cités en bordure des palmeraies. Il est impératif donc d'adapter les mesures de lutte en fonction de la carte de risque que nous avons élaborée par le remblaiement des collections d'eau inutiles, le traitement chimique larvicide des mares et des bassins d'irrigation, le drainage de l'eau d'irrigation dans les palmeraies et enfin par la sensibilisation de la population vulnérable vivant dans les zones à risque.

Les mesures d'assainissement de la vallée de Ouargla prises récemment par l'état algérien a grandement limité ce risque.

Le paludisme est un problème de santé publique mondial. C'est une maladie qui constitue un obstacle au développement des pays les plus concernés, notamment en Afrique.

Malgré les efforts fournis dans la lutte contre le paludisme, les interactions des différents acteurs du cycle de transmission avec un environnement en mutation ainsi que les problèmes de résistance aux insecticides rendent l'élimination difficile à atteindre. Par ailleurs, La lutte antipaludique souffre de l'absence d'informations globales et continues, pouvant guider les interventions de lutte anti-vectorielle.

Il est donc primordial que la lutte contre le paludisme intègre l'imagerie satellitaire, afin de renseigner les chercheurs sur la distribution spatiale des foyers et leur configuration et d'aider les décideurs à mieux cibler les interventions. Le SIG et la télédétection permettent aussi d'anticiper sur la survenue d'épidémies par des systèmes d'alerte précoce.

Notre travail a mis en évidence que la région de Ouargla, ancien foyer connu du paludisme, reste une zone vulnérable à la réémergence et à la propagation de la maladie, l'importance des gîtes larvaires et leur proximité des habitations peut favoriser l'apparition de cas si des porteurs de parasites sont introduits.

Ce risque devient beaucoup plus important avec l'augmentation du nombre de personnes mobiles porteuses de gamétocytes et des conditions climatiques favorables.

L'introduction des SIG et de la télédétection comme outil de prise de décision devant des situations pareilles s'avère très utile à court terme en situation d'urgence et à long terme en intégrant des variables temporelles (température, pluviométrie, humidité.) pour prédire l'apparition de nouveaux foyers.

Les résultats obtenus permettraient de prévenir les épidémies du paludisme et pourraient être extrapolables à d'autres régions. L'élaboration de carte de risque couplée avec les méthodes de lutte (dépistage, lutte anti vectorielle) renforcera le programme de lutte contre cette maladie et limiterait son maintien.

- 1- Alberta A-M. (1966). Study of the Dispersion and Flight Range of *Anopheles sergenti* heo. in Siwa Oasis Using Radioactive Isotopes as Markers. Bull World Health Organ. ; 35. 6: 968–973.
 - 2- Allal-Benfekih L. (2006). Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétique. 24 pp
 - 3- Amara S. (1974). Evolution de la politique antipaludique du ministère de la santé publique et de la population en Algérie, Thèse de Doctorat en Médecine. p 45.
 - 4- Andarelli L. (1952). Première campagne antipaludique par voie aérienne en Algérie. Direction de la santé publique et de la famille en Algérie.
 - 5- Andarelli L. campagnes antipaludiques de 1952 à 1963. Direction de la santé publique et de la famille .Algérie. Sér. Rapp. Annuels
 - 6- Andarelli L. (1959). Le problème de l'éradication du paludisme en Algérie. Document direction générale de l'action sociale, 20 p.
 - 7- Anonyme. (2004). Changements climatiques et santé humaine – risque et mesures à prendre.OMS. Résumé 5.
 - 8- Anonyme.(2006).Situation épidémiologique du paludisme en Algérie; Institut National de la Santé Publique Sér. Rapp. Annuels ,2000 -2005.
- II.
- 9- Anonyme. (2009). Apport de la télédétection pour la connaissance des enjeux environnementaux.Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nr.can.qc.ca>
 - 10- Anonyme. (2010.) Reconnaissance d'objets en imagerie de télédétection <http://perso.telecom-paristech.fr/~tupin/JTELE/PRES10/May.pdf>
 - 12- Balk D., Gittleman J.L et Daszak P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. Nature .451, 990-993.
 - 13- Belhadj-Aissa A., Belhadj-Aissa M et Smara Y. (2000). La télédétection en Francophonie: analyse critique et perspectives. Éd. AUF, 333-341
 - 14- Benzerroug EH. (1989). Rapport final, Séminaire sur l'épidémiologie et le contrôle du palu dans les pays riverains du Sahara. Alger. 9p
 - 15- Benzerroug E. H., Janssens. G & Ambroise-Thomas P. (1991). Etude seroépidémiologique du paludisme au Sahara algérien. Bulletin de l'organisation mondiale de la Santé, 69 (6): 713-723.

- 16- Benvenuti. M (1997). Analyses de télédétection .Projet d'évaluation des interventions de conservation et récupération de l'environnement. p13
- 17- Benzerroug et Janssens PG – La surveillance du paludisme au Sahara algérien. Bull Soc Pathol Exot, 1985, 78, 859-867.
- 18- Boubidi S, Gassen I, Khechach Y, Lamali K, Tchicha B. – First report of *Anopheles gambiae* sl in south Algeria.Xth European Multicolloquium of Parasitology, Paris, 24-28. August 2008.
- 19- Bouchite B, Kennoun M .F et Chauvet G. (1991). Ethologie et capacité vectorielle des *Anopheles* de Tunisie dans deux régions réceptives. Campagne de lutte Juin-Octobre 1991.Institut Pasteur.Tunisie
- 20- Bonjean M in yves GUY.1959.Les anopheles du Maroc.Mémoires de la société des sciences naturelles et physiques du Maroc.Zoologie.Nouvelle série n° 7
- 21- Brunhes J., Rhaim A., Geoffroy B, Angel G., Hervy J.-P. (2000). Les Culicidae d'Afrique Méditerranéenne". Édition IRD. ISBN 2-7099-1380-1. <http://bioinfo-prod.mpl.ird.fr>
- 22- Cailly P. (2011) .Modélisation de la dynamique spatio-temporelle d'une population de moustiques, sources de nuisances et vecteurs d'agents pathogènes. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Vétérinaire Agro alimentaire et de l'Alimentation. Nantes Atlantique.
- 23- Carnevale P., Vincent R., Manguin S., Vincent C., Fontenille D., Garros C., Rogier C. (2009). Les anophèles Biologie, transmission du Plasmodium et lutte anti vectorielle. Ed IRD.
- 24- Charoenpanyanet a A and Chen a X. (2008). Satellite-Based modeling of *Anopheles* mosquito densities heterogeneous land cover in western Thailand. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing
- 25- Chipman, J.W., and T.M. Lillesand, (2007). Satellite-based assessment of the dynamics of new lakes in southern Egypt, International Journal of Remote Sensing, 28(19):4365–4379.
- 26- Chauvet G. (1983). Investigation entomologique dans la région orientale du Sahara Algérien. In : Rapport OMS. Problème sanitaires découlant de l'utilisation de la route transsaharienne.ALG/CDS 002. PNUD/ALG/75/043: 6-8.
- 27- Chauvet G. Hassani N. T et Izri M. A.(1985). Problèmes palustres et route trans saharienne. Bull. Path. Ex., 78. 852-858

- 28- Cinnamon J *et* Schuurman I. (2010). Surveillance in low-resource settings using Geospatial and Social Web technologies. *International Journal of Health geographics*. 9(1): p.25.
- 30- Coffinet T1, Rogier C2, Pages F1. (2009). Evaluation de l'agressivité des anophèles Et du risque de transmission du paludisme: Méthodes utilisées dans les Armées françaises. *Med Trop* ; 69 : 109-122.
- 31- Cohen J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Meas*; 20: 27-46.
- 32- Comité d'experts du paludisme. (1957) sér. Rapp. Tech.123. Sixième rapport (Genève)
- 33- Côte M. (1998). Des oasis malades de trop d'eau. *Sécheresse*. 9 : 123-30.
- 34- Dauphiné A. (2001) - Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer. Édité. Armand COLIN, Paris, 287 p.
- 35- Dione J.A. Lacux J-P. Tourre Y. Vignolle C. Fantanaz D. et Lafaye M. (2009).Mares temporaires et risques sanitaires au Ferlo : contribution de la teledetection pour l'étude de la fièvre de rift entre aout 2003 et janvier 2004. *Sécheresse*. Vol 1. 153-160.
- 36- Dinstein I et Shanmugam K. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*. 3, 610-621
- 37- Enonzan F.B.(2010).Utilisation de la télédétection et des SIG dans la gestion durable des aires protégées : cas de forêts classées de Dogo- Ketou au Benin.Diplome d'études supérieures spécialisées (DESS).Université obafemi Awolowo.Benin
- 38- Fisher W. B. (1952). Quelques facteurs géographiques de la répartition de la Malaria en Moyen-Orient. In: *Annales de Géographie* 61, 326 : 263-274.
- 39- Fouetto C. (2010). Polymorphisme chromosomique et adaptation à l'aridité chez anopheles gambiae sensu sensu stricto. These de doctorat veterinaire. Paris.Ecole nationale veterinaire d'Elfort.9p
- 40- Gnémé A. M ., Guelbéogo W-M., Riehle M., Tiano A., Diarra A., B Kabré G., Sagnon N et Vernick K. (2013). Plasmodium species occurrence, temporal distribution and interaction in a child-age population in a rural Burkina Faso. *Malaria Journal*. 12:67
- 41- Guyot G. (1989). Signatures spectrales des surfaces naturelles. Collection «Télédétection satellitaire ». 5. Paradigme. Caen. 178 p.
- 42- Hammadi-Harrat D., Harrat Z., Boubidi S.C., Chaib S.E., Tchicha B., Benhamouda F et Belkaid M. (2006). Les changements environnementaux et leurs impact sur le paludisme en Algérie: Le cas de OUARGLA. 1ères Journées Algéro-Françaises de Parasitologie-Mycologie. (XIème journées Nationales). Alger.15 et 16 Novembre.

- 43- Hammadi D., Harrat Z., boubidi S.C., Chaib S.E., Tchicha B., Benhamouda F et. Belkaid M. (2009). Le paludisme au Sahara algérien. Bull. Soc. Exot. 102, (3) ,185-192
- 44- Haralick R. M et Yélézoumin S. S. (2010). Modélisation de la distribution spatiale des formes moléculaires M et S D'Anophèles gambiae sensu stricto au BURKINA FASO avec les SIG et l'analyse spatiale. Thèse de doctorat. École doctorale des sciences de l'Homme et de la société. Laboratoire CEDETE
- 45- Hay SI, Rogers DJ, Toomer JF and Snow RW. (2000). Annual Plasmodium falciparum entomological inoculation rates (EIR) across Africa: literature survey, Internet access and review. Trans R Soc Trop Med Hyg; 94 : 113-27
- 46- Idder T. (2007). Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. sécheresse. 18 (3) :161-7.
- 47- Jeanne I. (2000). Paludisme et schistosomose : deux exemples d'utilisation des systèmes d'information géographique et de la télédétection à Madagascar. Bull. Soc Pathol. Exot, 93, 3, 208-214.
- 48- Julvez J, Mouchet I, Suzzoni J, Larrouy G, Fouta A et Fontenille D .1998. Les anopheles du Niger. Entomologie Médicale. Bull. Soc. Path. Exot. 91, 4 : 321-326.
- 49- Kaufmann C, Briegel H. (2004). Flight performance of the malaria vectors Anopheles gambiae and Anopheles atroparvus. J Vector Ecol. 2004 Jun; 29, 1:140-53.
- 50- Kitron U. (2000). Risk Maps: Transmission and Burden of Vector-borne Diseases. Parasitology Today. 16: 324-325
- 51- Laid Y. (2010). Dialogue national interministériel sur le changement climatique, secteur clé : santé. PNUD.
- 52- Lecoq M et Mestre J. (1988). La surveillance des sautereaux du Sahel. Collection Acrobologies Opérationnelle no 2. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). ISBN : 2 - 87614 - 010 – X.
- 53- Lefevre-Witier P. (1968). Le paludisme au Tassili n'Ajjer (Sahara central). Algérie. Bull. Soc. Path. Exot. 61 :596-605
- 54- Machault V., Pages F et Rogier C. (2009). Apport de la télédétection à la lutte contre le paludisme. Med. Trop; 69 : 151-159.

- 55- Mandoul R et Jacquemin P. (1950). Etude épidémiologique du paludisme dans l'oasis d'Ouargla (Sahara constantinois) cahiers médicaux de l'Union française. 16, 1-17.)
- 57- Mandoul .R et Jacquemin P. (1951). Assainissement de l'oasis palustre d'Ouargla (sud constantinois). Bulletin de La Société de Pathologie Exotique, N° 7-8, Juillet-Août).
- 58- Merabti B et Ouakid M.L. (2011). Contribution à l'étude des moustiques (Diptera :Culicidae) dans les oasis de la région de Biskra (Nord est d'Algérie). Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides.
- 59- Metz C. (1978). Basic principles of roc analysis. In Seminars in *Nuclear Medicine*, 3.
- 60- Michel V., de La Rocque S., Michel J.-F., De Wispelaere G., Touré I., Augusseau X. Cuisance D. (2001). Modélisation de «paysage épidémiologiquement dangereux» par télédétection et SIG. In: L'information géographique. Volume 65 n°1. pp. 73-80.
- 61- Mouchet J., Carnevale P., Coosemans M., Fontenille D., Ravaonjanahary C., Richard A et Vincent R. (1993). Typologie du paludisme en Afrique. Santé : Cahiers d'études et de recherches francophones, 3(4) p.220-238. ISSN 1157-5999
- 62- Morens D. M., Folkers G. K., and Fauci, A. S. (2004). The challenge of emerging and re-emerging infectious diseases. *Nature*. 430: 242-249.
- 64- Ostfeld R. S., Glass G. E et Keesing F. (2005). Spatial epidemiology: an emerging (or reemerging) discipline. *Trends in Ecology & Evolution*. 20: 328-336
- 65- Passager P. (1957). Ouargla. Étude historique géographique et médicale. Archive Institut Pasteur d'Algérie, 32, 99-198.
- 35
- 66- Rasmdale CD et Zulueta JA. (1983). Anophelism in the Algerian Sahara and some implication of the construction of a Trans Saharan highway. *Trop. Med. Hyg.* 86:51-58.
- 67- Rouvillois-Brigol M. (1975). Le pays d'Ouargla (Sahara Algérien). Ed. Dép. Géogr. Univ. Sorbonne, Paris, 389 pp.
- 68- Pella H., Kerkache A et Dedieu F. (1997). Apport des informations de texture en télédétection pour l'étude de l'occupation des sols. *Revue de géographie alpine*. Vol 85. 3 :9-26.
- 69- Rytkonen M. J. (2004). Not all maps are equal: GIS and spatial analysis in epidemiology. *International Journal of Circumpolar Health*. 63: 9-24
- 70- Senevet G & Andarelli L. (1956) – Les anophèles de l'Afrique du Nord et du Bassin méditerranéen. In: P. LECHEVALIER (Ed.). *Encyclopédie Entomologie*, Paris, XXXIII, 280 p.

- 71- Sergent E et Sergent ED. (1928) : Vingt-cinq années d'étude et de prophylaxie du Paludisme en Algérie; Arch. Institut Pasteur d'Algérie.6, N° 2-3. 326 pp
- 72- Sergent ED et Parrot L. (1961). Contribution de l'Institut Pasteur d'Algérie à la connaissance humaine du Sahara (1900-1960), Monographie. Arch. Inst. Pasteur Algérie. 430 p.
- 73- Schaffner F., Angel G., Geoffroy B., Hervy J-P., Rhaïem A., Brunhes J. (1999). Identiciel. Les culicidea de l'Afrique Méditerranéene. IRD. Ed .ISBN 2-7099-1485-9. ISSN 1142-2580
- 74- Soti V., Tran A., Bailly J-S., Puech C., Seen D.L and Bégué A. (2009). Assessing optical earth observation systems for mapping and monitoring temporary ponds in arid areas. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 11, 344–351.
- 75- Sylvie C.V. (1978) : Lutte contre le paludisme en Algérie- Méthodes et résultats actuels. Thèse de Doctorat en médecine, Lyon.
- 76- Thomas A et Conway DJ. (2004). A large focus of naturally acquired Plasmodium knowlesi infections in human beings. Lancet, 363:1017–1024.
- 77- Tischendorf, L. (1997). Modelling individual movements in heterogeneous landscapes potentials of a new approach. Ecological Modelling. 103: 33-42
- 78- Tran. A., Biteau-Coroller F., Guis H et Roger F. (2005). Modélisation des maladies vectorielles..Epidémiol.et santé animale. 47,35-51
- 79- Tran A., GUI S H., BARRAGUÉ B., MATHIEU B, SETIER-RIO M-L.(2007). Application de la télédétection à l'évaluation du risque d'émergence d'une maladie vectorielle : introduction et diffusion dans le sud de la France de Culicoides imicola, vecteur de la fièvre catarrhale du mouton. Revue Télédétection. vol.7, n° 1-2-3-4, p. 419-432.
- 80- Venard C., Delaitre E., Callot Y., Ouessar M., and Ouerchefani D. (2010). Exploitation d'images satellitales à très haute résolution spatiale fournies par Google earth©. Exemple d'application à l'étude de l'ensablement d'oliveraies EN, revue télédétection 09, 59–71.