

# Mise en place d'un système de veille épidémiologique basé sur les réseaux de capteurs pour lutter contre le paludisme

Kodzo Parkoo<sup>1</sup>, Bamba Gueye<sup>2</sup>, Cheikh SARR<sup>1</sup>, Ibrahima Dia<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Thiès, <sup>2</sup> Université Cheikh Anta Diop, <sup>3</sup> Institut Pasteur de Dakar

**Résumé:** L'évolution de la prévalence parasitaire de 2009 à 2015, classe le Sénégal parmi les pays de l'Afrique Sub-saharienne (ASS) où le paludisme est endémique et constitue un problème de santé publique. Les anophèles, des insectes que l'on côtoie régulièrement sont de très loin responsable du plus grand nombre de décès humains. Face à ce constat, le Sénégal s'est lancé dans la lutte anti larvaire (LAL). Partant du constat que les paramètres physico-chimiques de l'eau ont une forte influence sur le développement des larves d'anophèles, un réseau de capteurs s'est déployé permettant d'analyser le pH, la température de l'eau, la conductivité électrique, la quantité de solides dissous dans l'eau, les ions nitrites, le nitrate, l'ammonium et phosphate, la turbidité de l'eau afin de prédire si une eau est propice au développement de l'anophèle. Le résultat attendu est d'évaluer sur une zone donnée la quantité d'anophèle pouvant s'y développer afin de détruire les larves.

**Keywords:** paludisme, lutte anti-larvaire, prédictions de données, réseaux de capteurs.

## 1. Introduction

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le paludisme tue en moyenne, à lui seul, 660.000 personnes par an. Dans le même temps, la fièvre jaune fait 52.000 victimes et la dengue 22.000 [1].

L'évolution de la prévalence parasitaire de 2009 à 2015, classe toujours le Sénégal parmi les pays de l'Afrique Sub-saharienne (ASS) où le paludisme est endémique et constitue un problème de santé publique. Le fardeau de la maladie est toujours lourd dans certaines régions du pays où les décès qui lui sont attribuables persistent. Des défis demeurent encore, notamment ceux en rapport avec l'accès universel aux interventions majeures comme l'utilisation des Moustiquaires Imprégnées à Longue Durée d'Action (MILDA) et le traitement par les combinaisons thérapeutiques à base d'artémisinine (CTA) jusqu'au niveau communautaire après un diagnostic avec les Tests de Diagnostic Rapide (TDR). Il faut noter que toutes les propositions de lutte contre le paludisme jusqu'à présent se focalisent sur l'anophèle à l'état adulte. Par conséquent, l'approche focalisée des interventions spécifiques par zone avant et pendant le développement larvaire devient alors un impératif.

Dans ce papier nous montrerons comment l'analyse des eaux peut nous permettre d'amorcer les bases de la lutte anti larvaire. Le Sénégal n'a pas une grande expérience dans la Lutte Anti Larvaire (LAL) surtout à grande échelle. L'une des actions de la LAL étant de traiter des points ou gîtes d'anophèles par des larvicides, on assiste à une pulvérisation (traitement) de tous les gîtes hébergeant ou pas les larves d'anophèles. Cet état de fait pose un véritable problème sur le plan financier et sur le plan de l'équilibre de l'écosystème.

En effet une opération de pulvérisation larvicide a un coût en raison de moyens humains, logistiques et financiers. Par ailleurs il est à noter qu'il existe 464 espèces de moustiques recensées dont une, '*Anopheles gambiae* s.l.', regroupant 10 espèces jumelles assure l'essentiel de la transmission du 'paludisme' [2]. Ainsi donc en traitant tous les gîtes sans contrôle, cela entraîne la destruction de certaines espèces de moustiques (ne transmettant pas le paludisme et participant à l'équilibre de l'écosystème) en plus du coût élevé des opérations de pulvérisation de larvicide sur tous les potentiels gîtes en raison d'absence d'indicateurs pour la LAL.

Dans le but de fournir des indicateurs fiables pour renforcer LAL nous nous intéresserons aux conditions météorologiques (environnementaux) et au milieu aquatique de développement des larves d'anophèles.

Le reste de ce document est structuré comme suite. La deuxième section traite du cycle de transmission du paludisme, au travers de la connaissance de son environnement et de certains facteurs physico-chimiques. La section 3 présente l'architecture de notre réseau de capteurs. La section 4 expose notre méthode d'analyse s'articulant autour de l'élevage d'anophèles et du prélèvement des eaux de niches. Enfin, la section 5 renseigne sur nos résultats et la conclusion.

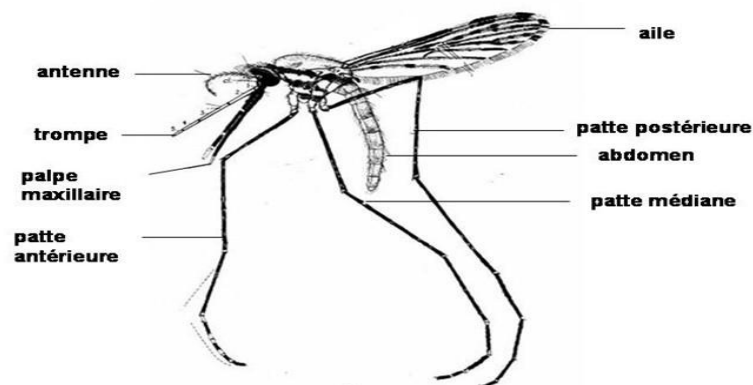
## 2. Cycle de transmission du paludisme

Le paludisme se transmet par la piqûre infectée d'une femelle d'anophèle. '*Anopheles gambiae*' regroupe en Afrique l'essentiel des vecteurs majeurs. Il est composé d'au moins sept différentes espèces dont.

- '*Anopheles gambiae*';
- '*Anopheles coluzzii*' ;
- '*Anopheles arabiensis*';
- '*Anopheles quadriannulatus*';
- '*Anopheles bwambae*';
- '*Anopheles melas*';
- '*Anopheles merus*'; [1]

Les moustiques sont de petits insectes (taille de 5 à 20 mm) à ailes longues et fines. Ils diffèrent des autres diptères comme les mouches par, la présence de petites écailles sur la plupart des nervures et des ailes. Leur corps est ténu et élancé, leurs pattes ont une coloration variant de brun pâle à noir, parfois marquées de taches et de bandes.

La Figure 1 présente la morphologie du moustique. Au stade adulte, il a le corps divisé en trois parties distinctes: la tête, le thorax et l'abdomen avec pour chaque partie, ses éléments constitutifs.

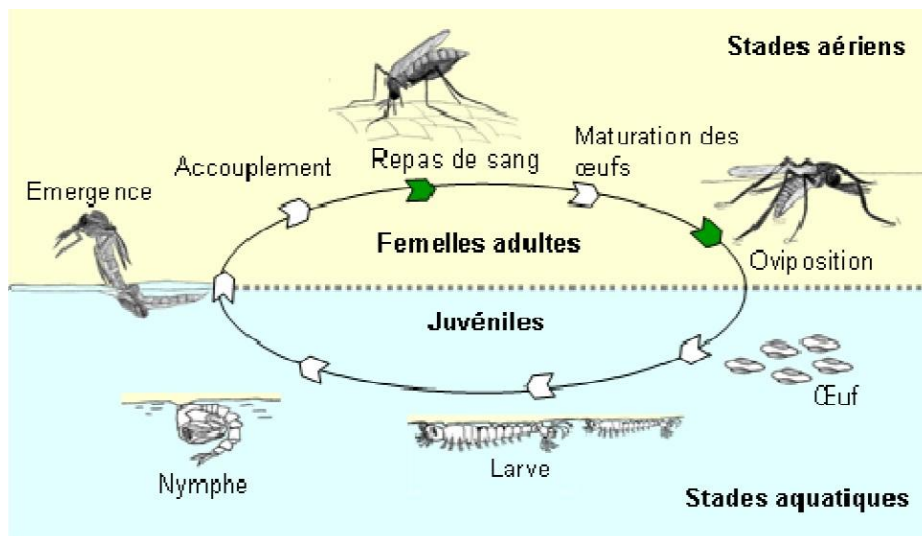


**Figure 1** : Morphologie du moustique adulte [3]

La Figure 2 présente le cycle de développement de l'anophèle. Les moustiques sont capables de s'adapter à diverses conditions climatiques ou à des changements de conditions environnementales et donc de coloniser des écosystèmes très variés. Ils colonisent la plupart des habitats aquatiques. Les sites de ponte des moustiques peuvent être extrêmement variés. Ainsi, les larves de moustiques peuvent

être présentes dans des étendues d'eau permanentes ou temporaires, fortement polluées ou propres, de grande ou petite taille ; flaques d'eau, fossés d'emprunt, vases, pneus, empreintes de pas sont des habitats larvaires potentiels. Toutes les espèces de moustiques sont des insectes à métamorphose complète ou holométabole, c'est-à-dire que les différents stades (œuf, larves, nymphes, adultes) ont des morphologies différentes. Ils ont au cours de leur cycle de vie une première vie aquatique (les stades immatures) puis après la métamorphose une vie aérienne (les adultes) sur la Figure 2. Seules les femelles sont hémato-phages. Chez la plupart des espèces, la femelle a besoin d'un repas sanguin pour la maturation de ses œufs. Les œufs donnent des larves, puis des nymphes. L'émergence marque le passage de la vie aquatique à la vie aérienne. Après l'émergence se déroule l'accouplement, puis les femelles effectuent le cycle trophogonique : recherche d'un repas de sang, repos pour la maturation ovarienne des œufs puis ponte [4, 5].

Ce cycle en deux temps fera porter notre attention sur l'analyse des eaux afin de déterminer les paramètres physicochimiques de l'eau favorisant le développement larvaire. Afin de déterminer la composition physicochimique de l'eau, un système de capteurs a été mis en place. Ce réseau prend en compte certains paramètres environnementaux.



**Figure 2 :** Représentation du cycle de vie des moustiques. Extrait de (Cléments, 2000 ; Becker *et al.*, 2010) [5]

Les travaux de Gueye *et al.*, [6] permettent d'apprécier l'importance des facteurs physico-chimiques dans le développement des parasites [6]. Ils ont permis, sur la base d'un réseau de capteurs de détecter les eaux contaminées pouvant être source et vecteurs de la bilharziose.

Dans une étude effectuée à Nouakchott, Salem *et al.*, [7] ont fait des prélèvements une fois chaque deux semaines sur la période de septembre-octobre 2012, correspondant à la fin de la saison pluvieuse et au pic de transmission de paludisme, dans plusieurs sites. Les prélèvements ont ensuite été analysés. Ces analyses comprenaient l'analyse physico-chimique et de détection de larves. Le Tableau 1 rapporte les résultats physico-chimiques de chaque site. Les paramètres tels que le pH, la température, la turbidité, la salinité, la conductivité, l'oxygène dissout, la luminosité, la longueur de la retenue d'eau, sa largeur et sa profondeur ont été aussi mesurés. Dans le tableau 1 sont présentés les résultats des analyses physico-chimiques pour les endroits ayant permis le développement des larves [7].

**Tableau 1** : Résultat des prélèvements sur les différents sites. Extrait de Salem *et al.*, [7]

Sites	Profondeur (cm)	Largeur (cm)	Longueur (cm)	Conductivité ( $\mu\text{sec/cm}$ )	Turbidité (NTU)	Temp (°C)	Salinité (g/l)	pH	Oxygène dissoute (mg/l)	Situation de la lumière du soleil
Oul Badou	45	80	170	1949	88	26	0,10	7,41	7,87	Plein soleil
Hay Saken	110	170	30	252	24	25	0,10	7,61	7,10	Plein soleil
Mgueizira	30	60	60	275	25	27	0,10	7,50	8,01	Ensoleillement partiel
Lycée Teyarett(1)	130	150	150	437	70	29	0,20	7,69	7,50	Ensoleillement partiel
Lycée Teyarett(2)	65	150	250	378	157	28	0,20	7,69	7,50	Ensoleillement partiel
Dar el Barka	80	150	150	182	80	25	0,10	8,04	7,05	Ensoleillement partiel
El Mechrou	150	150	200	135	0,95	26	0,07	8,22	0,90	Ombragé
Mallah	25	100	200	131	92	25	0,10	7,52	7,04	Ensoleillement partiel

Le Tableau 1 nous présente les paramètres physiques des différentes retenues d'eaux servant de niches. A cela s'ajoute les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau.

Retenons que les paramètres tels que: la température (°C), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (mS), la quantité de Total Solides Dissous TDS (ppt), les sels nutritifs (ions nitrites, nitrates, ammonium et phosphate), la turbidité (NTU), la salinité (g/l), l'oxygène dissout (mg/l) [7] se rapportant au milieu aquatique, lors du développement de la phase larvaire de l'anophèle sont déterminants.

## 2.1 Le PH

Le pH dépend du contexte géologique environnant et indique l'équilibre entre les acides et les bases d'un plan d'eau. Il se mesure sur une échelle de 0 à 14. Un pH de 7 indique une eau neutre; les valeurs inférieures à 7 indiquent des conditions acides, et les valeurs supérieures à 7 sont caractéristiques de conditions alcalines. Dans les eaux naturelles peu soumises aux activités humaines, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du sous-sol [8]. Il peut être un indice d'un traitement volontaire de l'eau. Les plages de variation habituelle sont entre 6,3 à 8,3. Le pH est très fortement influencé par la photosynthèse. En ce sens, les valeurs sont proportionnelles à celles de l'oxygène dissous. Dès lors, plus le milieu est oxygéné, plus l'eau est basique. Aussi, il influence un grand nombre de processus biologiques et chimiques.

## 2.2 La température

La température de l'eau affecte les réactions chimiques et biochimiques, le développement bactérien et la dissolution des solides et des gaz [9]. En général, ces processus s'accroissent avec le réchauffement de l'eau. Ainsi une température plus élevée de l'eau augmente la production primaire. Cependant, un certain nombre d'espèces aquatiques, ne supportent pas les extrêmes et ont tendance à quitter le milieu quand les températures létales maximales et minimales deviennent caduques. La température de l'eau est directement soumise aux conditions climatiques locales et ses variations au cours d'une journée peuvent être relativement importantes notamment dans des milieux à faible profondeur, comme dans la première auréole des mares où on rencontre la prairie aquatique.

### **2.3 La conductivité**

La conductivité est la capacité d'une eau à conduire l'électricité. Elle dépend de sa concentration ionique et de sa température [8]. Sa mesure permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau, c'est-à-dire la quantité de substances dissoutes ionisées présentes. Dans les eaux douces, la conductivité ne prend quasiment jamais des extrêmes dépassant les capacités d'adaptation des espèces présentes. Plage de variation habituelle : 20,0 à 339,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [8].

### **2.4 Les matières en suspension (MES)**

Elles sont constituées par les solides en suspension dans l'eau. Dans les eaux superficielles non polluées par l'activité humaine, les MES proviennent généralement des effets de l'érosion naturelle, des débris d'origine organique (débris végétaux) et du plancton [10]. Dans certaines zones, le parcage du bétail non loin des mares peut être à l'origine de l'augmentation de la charge solide des eaux de ruissellement. On admet qu'une teneur inférieure à 30 mg/l n'affecte en rien la qualité d'une mare et que des teneurs de l'ordre de 70 mg/l correspondent à une situation que l'on peut qualifier de «moyenne» [8]. Toutefois, l'abondance des MES dans l'eau réduit la luminosité, freine par conséquent les phénomènes photosynthétiques qui contribuent, par la production d'oxygène, à l'aération de l'eau et de ce fait, abaisse la productivité primaire du milieu. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène au cours des réactions. Cependant, la présence de MES est parfois bénéfique en ce sens que les larves de moustiques sont ainsi soustraites à la vue de leurs prédateurs.

### **2.5 Solides dissous dans l'eau (Total Dissolved Solid TDS) et les sels minéraux**

Ils sont aussi des facteurs importants dans le développement larvaire, mais nous n'avons pas pu au travers des conclusions des études, déterminer les seuils et les moyennes [3].

Aux paramètres aquatiques nous associons les paramètres environnementaux tels que: l'humidité relative, la pluviométrie et le vent qui jouent un rôle non négligeable.

### **2.6 L'humidité relative**

L'humidité relative influence la longévité, l'accouplement, la dispersion, le comportement trophique et la ponte des moustiques [11]. Un taux d'humidité élevé est favorable au processus métabolique des vecteurs. Elle agit en synergie avec la température sur la survie des vecteurs. Par contre, une baisse du taux d'humidité relative, inférieure à 70% s'accompagne d'une diminution de leur durée de survie, due à la dessiccation [12].

### **2.7 La pluviométrie**

La pluviométrie est un des éléments clés du développement des moustiques [4] puisque les larves et les nymphes de moustiques ont besoin d'eau pour se développer. En plus, les épidémies d'arboviroses sont généralement précédées par de fortes pluviométries entraînant une pullulation de moustiques vecteurs [13]. C'est ainsi que, les importantes pluies survenues à la fin de 1997 au Kenya, en Tanzanie et

au Sud de la Somalie sont soupçonnées être à l'origine de la pullulation des vecteurs de la fièvre de la vallée du Rift (*Culicidae*), suivie d'une sévère épizootie [13].

## 2.8 Le vent

Le vent contribue à la dispersion passive de nombreuses espèces d'insectes quand l'humidité et la température s'y prêtent. L'importance et le sens de la dispersion dépendent de la vitesse et de la direction des vents. Ainsi, l'introduction du virus de la fièvre catarrhale du mouton au Canada est-elle attribuée à des vents chargés de '*Culicoïdes*' infectés provenant des Etats-Unis. Selon certains auteurs, l'introduction du virus de la fièvre de la vallée du Rift en Egypte en 1978 serait attribuée à des vents chargés de '*Culicidae*' provenant du Soudan [13].

En partant du principe que la connaissance de la composition physico-chimique de l'eau a permis de freiner le développement de la bilharziose, nous pensons que connaître le milieu aquatique permettant le développement de la larve d'anophèle et environnemental, nous permettra d'arrêter son cycle et donc réduire la population d'anophèle et par extension, le taux de contamination du paludisme. Des études menées par le Laboratoire Physique de l'Atmosphère (LPA) en partenariat avec le Centre de Suivi Ecologique (CSE) et le Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) du Sénégal, ont montré que des températures élevées étaient favorables à une croissance rapide des moustiques alors que la pullulation des moustiques vecteurs dans les gîtes larvaires était modulée par les précipitations [14]. De nos jours, ces données peuvent être collectées en temps réel par le biais d'un réseau de capteurs où chaque capteur collecte un ensemble de données de son environnement et les transmettent de proche en proche jusqu'à un collecteur.

## 3. Architecture du réseau de collecte

La Figure 3 présente l'architecture du système de capteurs se composant d'un nœud d'acquisition, d'une passerelle et d'un système de stockage des données. [15]



**Figure 3:** Architecture de la station de mesure. Extrait de [15]

La Figure 4 illustre le système de veille qui est composé d'un microcontrôleur auquel sont connectés tous les capteurs (pH, Electrical Conductivity (EC), oxidation/reduction potential (ORP), température...). Le dispositif est alimenté par une source d'énergie solaire [15].

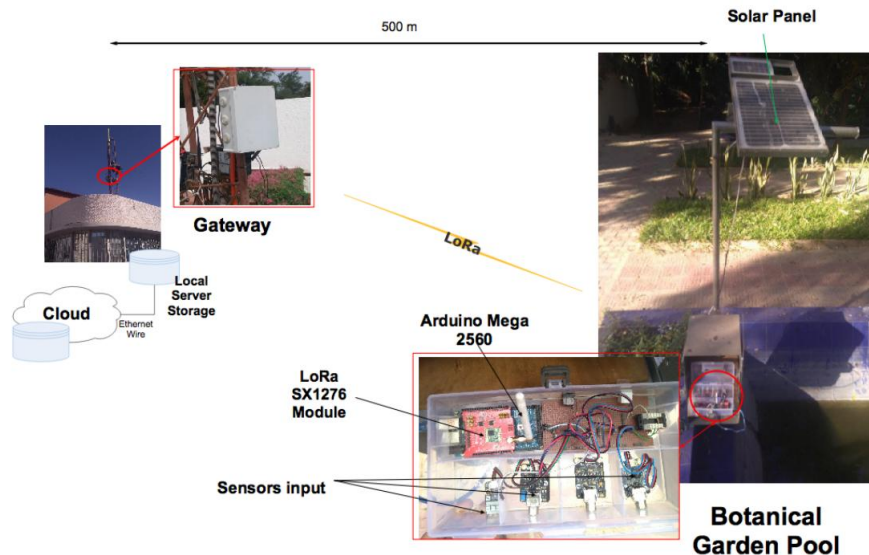


Figure 4 : Système de veille. Extrait de [15]

L'ensemble des résultats obtenus sont stockés dans une base de données consultable via une interface web.

## 4. Méthode d'analyse

Dans le souci d'aborder notre problématique sous différents angles, nous avons dans un premier temps procédé à un élevage d'anophèles puis procédé après, à l'analyse des eaux, de niches de larves d'anophèles.

### 4.1 Elevage de moustiques

Nous avons suivi les différentes étapes de l'élevage de moustiques en reproduisant au mieux les conditions majeures à l'état naturel à l'insectarium de l'Unité d'Entomologie Médicale de l'Institut Pasteur de Dakar (Figure 5). Le dispositif est composé de cages à moustiques d'une part et de bacs d'élevage de larves d'autre part. La cage à moustique sert à retenir les moustiques adultes dans un environnement clos. Quant aux bacs d'élevage, ils servent à créer le milieu aquatique pour le développement des larves.

A leur émergence, les adultes participent à l'essaimage au cours duquel ils s'accouplent puis les femelles deviennent fécondes. Elles continuent leur croissance en se nourrissant de sucre et de jus de fruits. La ponte des œufs est cependant conditionnée par la prise de sang puisque certaines protéines contenues dans le sang servent à murir les œufs.

Ainsi, au laboratoire, après la fécondation, les anophèles sont gorgés de sang de lapin d'Inde, ce qui favorise la ponte des œufs.



**Figure 5:** Dispositif d'élevage de moustique

Pour le développement des œufs, un bac contenant de l'eau de robinet de la SDE sert à reproduire l'étape aquatique.

L'eau est recueillie la veille ou l'avant veille afin de permettre à ce que les dépôts puissent se faire au fond. Une fois cela fait, les œufs sont déposés dans les bacs contenant de l'eau. Ces œufs une fois en contact avec l'eau vont éclore pour donner naissance à des larves qui vont se développer jusqu'au stade nymphe puis adulte.

Nous comprenons donc que la composition de l'eau du robinet (SDE), favorise le développement larvaire de l'anophèle.

#### **4.2 Prélèvement des eaux représentant une niche de larves d'anophèles.**

Dans le soucis d'avoir la composition des eaux pouvant être propice au développement des larves, nous avons procédé à des prélèvements et à l'analyse d'eaux stagnantes. Nos prélèvements se sont faits sur les points d'eau situés sur le campus de l'UCAD et pouvant être favorable au développement des larves.

Nous avons donc identifié deux points d'eau:

- la Figure 6 représente la niche en face du bâtiment principal de l'ESTI (UCAD). C'est une petite clairière où a stagné de l'eau de pluie.



**Figure 6:** Niche de larves d'anophèle



- la Figure 7 représente la niche derrière la faculté des lettres (UCAD). Ceci est la voie longeant le bâtiment de la faculté des lettres et le mur gauche de l'EBAD (UCAD). Cette voie étant sujette à un affaissement retient les eaux de pluies et de ruissellement.



**Figure 7:** Niche de larves d'anophèle

Une fois les prélèvements faits, les eaux ont été analysés avec notre réseau de capteurs.

## 5. Résultats de l'analyse

Ayant obtenu un développement favorable des larves d'anophèles dans l'eau de robinet issue de la SDE, nous avons obtenu de la part du laboratoire de la SDE la composition chimique de l'eau de robinet.

### 5.1 Composition chimique de l'eau du robinet

**Tableau 2 :** Résultat des analyses de l'eau de la SDE

pH	Cond (us/cm)	Turbidity	Temp Eau	Ions Ca	Ions HCO <sub>3</sub> (mg/l)
7,36	1,63	2,14	30,4	16,8	214,7

Le Tableau 2 présente la composition chimique de l'eau du robinet de la SDE. Cette composition chimique a permis l'élevage des anophèles au laboratoire.

## 5.2 Composition des eaux de niches prélevées

**Tableau 3** : Résultat des analyses de l'eau de l'ESTI (UCAD)

PH	EC	ORP	Turbidité	Temp Eau	TDS	DO	Temp Amb	HU
6,04	1,63	256,71	1097,9	29,38	921,77	-3,09	29,8	84,1
6,01	1,64	259,8	1011,3	29,25	922,13	-2,92	29,8	83,9
6,01	1,64	275	996,7	29,19	920,5	-2,88	29,8	83,7
6,03	1,64	268,07	982	29,13	922,49	-2,95	29,8	83,7

**Tableau 4** : Résultat des analyses de l'eau de la Faculté des lettres (UCAD)

PH	EC	ORP	Turbidité	Temp Eau	TDS	DO	Temp Amb	HU
7,05	0	236,48	1224,2	29,81	186,89	-1,2	29,8	82,9
7,03	0	253,32	1210,4	29,69	195,2	-1,45	29,9	83,5
6,9	0	255,22	1140,5	29,5	196,05	-1,99	29,9	83,5
6,92	0	259,4	1279	29,38	195,06	-2,02	29,8	83,2
6,89	0	263,54	1196,5	29,25	195,62	-1,99	29,9	83,2

Les tableaux 3 et 4 présentent les résultats issus des analyses des eaux prélevées sur nos deux sites.

**TDS**: Total Dissolved Solids -- **ORP**: Oxydo Reduction Potential

**EC**: Électro Conductivité -- **DO**: Dissolved Oxygen -- **HU**: Humidité de l'air

Après le recueil de ces informations, nous procéderons à l'étude de la larve de l'anophèle. Cette étape nous permettra de les identifier dans le milieu aquatique, les dénombrer et effectuer l'analyse des données. Sur la base d'algorithmes nous prédirons les zones pouvant favoriser le développement des larves donc de l'anophèle.

## 6. Conclusion

A la lecture de nos résultats issues des recherches précédemment réalisées et de l'analyse des différentes eaux ayant conduit au développement des larves d'anophèles, nous pouvons identifier des tendances chimiques communes à toutes les eaux. Nous noterons donc que, le pH favorable au développement des larves d'anophèle est très proche du neutre. On pourra l'estimer à 6,8 comme représentant une limite acceptable. Ce qui nous renseigne éventuellement sur le fait que les larves d' *Anopheles gambiae* pourraient ne pas se développer dans les eaux alcalines. En outre la température influe sur le développement des larves avec une moyenne à 32,38 degrés Celsius. D'autre part, nous pourrions supposer sur la base des valeurs de la turbidité, que les larves ne se développent pas dans les eaux troubles (à forte turbidité), chose que nous vérifierons pour la suite. Mais vu que notre réseau de capteurs ne pourra être notre source absolue de données, nous intégrerons des données issues de sources externes tels que les documentations.

L'ensemble de ces données issues de nos capteurs et ceux issues de la documentation devront être analysées et interprétées afin d'obtenir des résultats

prédictifs. Les méthodes de traitement et d'analyse peuvent être soit du business intelligence, du machine learning ou une combinaison de ces deux méthodes. Nous verrons sur la base des systèmes et modèles existants, lesquels nous permettent le mieux d'établir une corrélation entre la composition de l'eau, les paramètres environnementaux et le développement des larves d'anophèles dans un milieu. A défaut de trouver un modèle, nous partirons sur la conception et la réalisation de celui nous permettant de faire cette prédiction.

## Références

- [1] DeMeillon, B., 1934: Observations on *Anopheles funestus* and *Anopheles gambiae* in the Transvaal. Publications of the South African Institute of Medical Research.
- [2] Reinert, J. F. , European Mosquito Bulletin 2010 No.28 pp.182-186 ref.18, Species of mosquitoes (Diptera: Culicidae) with published illustrations and/or descriptions of eggs
- [3] " Développement des larves de moustiques dans un écosystème particulier" [ en ligne] Lien: [http://www.memoireonline.com/08/09/2510/m\\_Developpement-des-larves-de-moustiques-dans-un-ecosysteme-particulier--milieu-sous-jacinthe-dea2.html](http://www.memoireonline.com/08/09/2510/m_Developpement-des-larves-de-moustiques-dans-un-ecosysteme-particulier--milieu-sous-jacinthe-dea2.html) Consulté le 20/02/2017
- [4] Clements, A. N., 2000 The biology of mosquitoes: development, nutrition and reproduction. (CABI Publishing, Eastbourne)
- [5] Becker, N. et al., 2010 Mosquitoes and Their Control, Second edition (Springer; 2nd ed. edition)
- [6] Bamba Gueye, Moussa Diallo, Ibrahima Niang, El Kabir Lo, Halima Elbiaze. Mise en Place d'un Système de Veille Epidémiologique pour la Bilharziose. In: Doctoriales EDM I 2016, Dakar, Sénégal..
- [7] Salem A, Khadjetou ML, Moina MH, Lassana K, Sébastien B, Ousmane F, Ali OM. Characterization of anopheline (Diptera: Culicidae) larval habitats in Nouakchott, Mauritania J Vector Borne Dis 50, December 2013, pp. 302–306 ,
- [8] HÉBERT, S. et S. LÉGARÉ, 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Envirodoq no ENV-2001-0141, rapport no QE-123
- [9] Paaijmans KP, Imbahale SS, Thomas BT, Willem T: Relevant microclimate for determining the development rate of malaria mosquitoes and possible implications of climate change. Malar J. 2010
- [10] "Water Turbidity" [En ligne] Lien: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/tds.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/tds.pdf) téléchargé le 26/12/2017
- [11] McMichael, A. J., A. Haines, and R. Slooff, Eds., 1996: Climate Change and Human Health. World Health Organization.
- [12] FEHRI N. - Étude des facteurs de vulnérabilité hydrogéomorphologique dans le Grand Tunis : approche comparative entre trois bassins versants. Revue Tunisienne de Géographie, 2011
- [13] Linthicum, K.J., et al. (1999) Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemics in Kenya.
- [14] Plan stratégique national de lutte contre le paludisme au Sénégal 2016 - 2020

[15] Ngom, B., Diallo, M., Gueye, B., & Marilleau, N. (2019, March). LoRa-based Measurement Station for Water Quality Monitoring: Case of Botanical Garden Pool. In 2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS) (pp. 1-4). IEEE.