

**République de Côte d'Ivoire**

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2015-2016

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique



**Université Félix Houphouët-Boigny**  
N° d'ordre .....



**Laboratoire des Sciences et  
Techniques de l'Eau de  
l'Environnement**



**UFR des Sciences de la  
Terre et des Ressources  
Minières**

## MEMOIRE

Pour l'obtention du Diplôme de MASTER en  
**Sciences de la Terre**

*Option : Hydrogéologie*

## THÈME

Influence de la variabilité climatique sur la dynamique de  
transmission du Paludisme et de la Bilharziose à Korhogo,  
au Nord de la Côte d'Ivoire

**Présenté par :**

**SORO Pewonheta Dramane**

**Date de soutenance : 4 août 2016**

**Directeur de mémoire : Prof. SORO Nagnin**

**Co-Directeur : Dr KONE Brama**

## Composition du jury

**Prof. YAO-Kouamé Albert.....Président**

**Prof. SORO Nagnin.....Examineur**

**Prof. OGA Yéi Marie Solange...Examineur**

**Prof. YAO Koffi Blaise.....Examineur**

## **REMERCIEMENTS**

Le présent travail a été réalisé au Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) de l'UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM) de l'université Félix Houphouët Boigny de Cocody, en collaboration avec le Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS).

Nous tenons ici à exprimer notre profonde reconnaissance aux personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Nous adressons nos remerciements au Professeur BOFFOUE Moro Olivier, Doyen de l'UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, pour son engagement indéfectible et sa contribution à l'émergence des travaux de recherche au sein de l'UFR.

Nous exprimons notre profonde gratitude au Professeur SORO Nagnin, Vice-Doyen chargé de la recherche à l'UFR STRM et Directeur de ce mémoire. Professeur, nous avons admiré vos qualités scientifiques, pédagogiques et humaines tout au long de notre formation. Recevez, cher Professeur, l'expression de notre profond respect.

Nous adressons un grand remerciement au Docteur KONE Brama, Co-Directeur de ce mémoire et, par ailleurs, chef du projet TDR-OMS, pour nous avoir associé à ce projet. Docteur, vos grandes qualités scientifiques, humaines et vos conseils avisés nous ont permis de mener à terme ces travaux. Veuillez recevoir ici, cher Docteur, l'expression de notre profonde gratitude.

Nos remerciements vont à l'endroit du Professeur LASM Théophile, Directeur du LSTEE. Professeur, nous avons bénéficié de votre enseignement de qualité. Trouvez dans ce travail l'expression de notre profonde gratitude.

Nos remerciements, vont à l'endroit des différents membres du jury (Pr SORO Nagnin, Pr YAO-Kouamé Albert, Pr OGA Yéi Marie Solange et Pr YAO Koffi Blaise) pour leur contribution à l'amélioration de ce travail.

Nous tenons à remercier tous nos enseignants de l'UFR STRM, notamment, ceux du LSTEE pour leur encadrement.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à la Direction Générale du CSRS, particulièrement, au Professeur BONFOH Bassirou, pour nous avoir accepté au sein de cette institution.

Nous exprimons nos remerciements au groupe de recherches Ecosystème et Santé des Populations (ESP) pour nous avoir permis de participer aux activités du groupe.

Nous tenons à remercier tous les Chercheurs Seniors dudit projet pour leur disponibilité, leurs critiques et conseils scientifiques.

-Aux aînés doctorants, membres du projet, notamment, TANOH Nkrumah, MBRA Richard, GBALEGBA Constant, KABA Aboudramane et KOUAKOU Jeanne d'Arc, pour leur appui incommensurable à ce travail. Merci à Mr TANOH Nkrumah, vous qui avez lu et corrigé ce document avec toute la rigueur possible. Merci à MBRA Richard, car sans ton grand apport, ce travail allait être difficilement réalisable.

Nos remerciements vont à l'endroit de Dr Pietro CECCATO et de Mr Israël UKAWUBA, tous deux membres de l'Institut International de Recherche pour le Climat et la Société (IRI) de l'Université de Columbia (USA). Votre expertise en matière d'analyse et votre engagement sans faille pour la recherche ont été pour nous d'un grand appui dans la finalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier tous les membres de la famille SORO, en particulier, les parents, qui ont compris le sens de notre engagement pour la recherche. Leurs soutiens moraux et financiers n'ont pas failli.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à la famille ZOUZOU. Nous vous restons redevable pour tout ce que vous avez fait pour nous jusqu'à ce jour.

Nous tenons à remercier tous les étudiants de la promotion DJRO, avec, à leur tête, le président DUFFI. Cher président, merci pour le dynamisme que tu as su inculquer aux étudiants de cette promotion. Merci également pour ta contribution à la réalisation de cette étude.

Nous n'oublions pas les CARTESIENS. Avec le temps, nous avons appris à nous connaître, à être amis et aujourd'hui, nous sommes des frères. Vos conseils, encouragements et surtout, votre volonté de réussir nous ont animés tout au long de ce travail. Veuillez trouver ici, l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous tenons à remercier, particulièrement, Mlle Nadège KOTCHI, pour ses encouragements, sa compréhension et surtout, son affection dont nous avons pu bénéficier tout au long de ce travail. Chère KOTCHI, trouve ici l'expression de notre infinie reconnaissance et de notre profonde gratitude. Ce travail est aussi le tien.

Enfin, que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire et dont les noms n'y figurent pas, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

## TABLE DES MATIERES

<b>LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>PREMIERE PARTIE : GENERALITES</b>	
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....</b>	<b>4</b>
I-1- Contexte géographique.....	4
I-2- Contexte climatique.....	4
I-3- Végétation .....	6
I-4- Contexte géomorphologique .....	6
I-5- Contexte hydrographique .....	6
I-6- Contexte géologique.....	6
I-7- Contexte pédologique.....	7
I-8- Contexte socio-économique .....	7
Conclusion partielle.....	7
<b>CHAPITRE II : DEFINITIONS, TERMES ET CONCEPTS DE L’ETUDE.....</b>	<b>8</b>
II-1- Définitions .....	8
II-1-1- Variabilité climatique .....	8
II-1-2- Changement climatique .....	9
II-2- Causes des changements climatiques.....	9
II-3- Paludisme .....	9
II-3-1- Parasites et vecteurs du paludisme .....	9
II-3-1-1- Parasites.....	10
II-3-1-2- Vecteur .....	10
II-3-2- Cycle de développement du <i>plasmodium</i> .....	11
II-3-2-1- Cycle de développement du <i>plasmodium</i> chez le moustique (cycle sexué).....	11

II-3-2-2- Cycle de développement du <i>plasmodium</i> chez l'homme (cycle asexué) .....	11
II-3-3- Répartition du paludisme dans le monde.....	13
II-3-4- Paludisme en Côte d'Ivoire .....	13
II-4- Bilharzioses.....	14
II-4-1- Définition.....	14
II-4-2- Agents pathogènes.....	14
II-4-3- Hôtes intermédiaires et hôtes définitifs .....	15
II- 4-3-1- Hôtes intermédiaires.....	15
II-4-3-2- Hôtes définitifs.....	15
II-4-4- Cycle de transmission.....	15
II-4-4-1- Phase sexuée.....	15
II-4-4-2- Phase asexuée.....	16
II-4-5- Bilharzioses dans le monde .....	16
II-4-6- Bilharziose en Côte d'Ivoire.....	17
II-4-7- Relation entre variables climatiques et paludisme .....	18
II-4-8- Relation entre variables climatiques et bilharziose .....	18
Conclusion partielle.....	19

## **DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE**

### **CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE..... 21**

III-1- Matériel et données utilisées.....	21
III-1-1- Données météorologiques .....	21
III-1-2- Données de l'indice de végétation (NDVI).....	22
III-1-3- Données épidémiologiques .....	22
III-2- Méthodes .....	22
III-2-1- Collecte de données des structures sanitaires publiques .....	22
III-2-2- Collecte de données des structures sanitaires privées .....	22
III-2-3- Traitement des données sanitaires manquantes.....	23
III-2-4- Description de l'évolution des paramètres météorologiques .....	23
III-2-5- Description de la morbidité du paludisme et des bilharzioses .....	24
III-2-6- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission du paludisme et des bilharzioses .....	24
Conclusion partielle.....	26

## **TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION**

### **CHAPITRE IV : EVOLUTION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES..... 28**

IV-1- Variation de la température .....	28
IV-2- Variation des précipitations .....	29
IV-3- Relation entre température et précipitations.....	32
IV-4- Variation de l'indice de végétation (NDVI).....	32
IV-5- Relation entre incidence mensuelle du paludisme et l'indice de végétation (NDVI) ....	34
Conclusion partielle.....	34

### **CHAPITRE V : EVOLUTION DES INDICATEURS SANITAIRES..... 35**

V-1- Evolution des incidences et des cas de paludisme.....	35
V-1-1- Variation interannuelle .....	35
V-1-2- Variation intra-annuelle.....	37
V-2- Répartition des cas en fonction de l'âge.....	39
V-3- Evolution des incidences et des cas de bilharziose.....	39
V-3-1- Variation interannuelle.....	39
V-3-2- Variation intra-annuelle.....	41
V-4- Répartition des cas en fonction de l'âge.....	43
Conclusion partielle.....	43

### **CHAPITRE VI : RELATION ENTRE PARAMETRES METEOROLOGIQUES ET PARAMETRES SANITAIRES ..... 44**

VI-1- Relation entre incidence mensuelle du paludisme et paramètres climatiques.....	44
VI-2- Paramètres météorologiques et paludisme à différents décalages.....	45
VI-2-1- Précipitations et paludisme .....	45
VI-2-2- Température et paludisme .....	50
VI-3- Paramètres météorologiques et bilharzioses à différents décalages.....	52
VI-3-1- Précipitations et bilharzioses.....	52
VI-3-2- Température et bilharzioses.....	58
VI-4- Discussion.....	64
VI-4-1- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission du paludisme et des bilharzioses à Korhogo de 2005 à 2014.....	64

VI-4-1-1- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission du paludisme à Korhogo de 2005 à 2014 .....	64
VI-4-1-1-1- Relation entre incidence mensuelle du paludisme et paramètres climatiques.....	64
VI-4-1-1-2- Relation entre paludisme et paramètres climatiques à différents décalages.....	64
VI-4-1-2- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission de la bilharziose à Korhogo de 2005 à 2014 .....	66
VI-4-1-2-1- Variation interannuelle et incidence des bilharzioses .....	66
VI-4-1-2-2- Répartition des cas de bilharzioses en fonction de l'âge .....	66
VI-4-1-2-3- Relation entre les paramètres météorologiques et les cas de bilharzioses.....	67
Conclusion partielle.....	68
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>72</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>XV</b>

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

**CC** : Changement Climatique

**CSRS** : Centre Suisse de Recherches Scientifiques

**FIT** : Front Intertropical

**GES** : Gaz à Effet de Serre

**GIEC** : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

**INS** : Institut National de Statistique

**IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Inter-gouvernemental sur les Changements Climatiques)

**IRD** : Institut de Recherche pour le Développement en Coopération

**IRI** : International Research Institut for Climate and Society (Institut International de Recherche pour le Climat et la Société)

**LSTEE** : Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

**NOAA** : National Oceanic and Atmospheric Administration (Administration nationale océanique et atmosphérique)

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**ONU** : Organisation des Nations Unies

**PMI** : Protection Maternelle Infantile

**RGPH** : Recensement Général de la population et de l'Habitat en Côte d'Ivoire

**SODEXAM** : Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique

**SCHISTO** : Schistosomiase

**STRM** : Sciences de la Terre et des Ressources Minières

**UN-OCHA**: United Nations-Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (Nations Unis-Bureau pour la coordination des affaires humanitaires)

**WWFN**: World Wide Fund for Nature (Fonds Mondial pour la Nature)

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Localisation de la ville de Korhogo.....	5
<b>Figure 2</b> : Cycle évolutif du plasmodium chez l’homme et le moustique .....	12
<b>Figure 3</b> : Endémicité mondiale des cas de paludisme .....	13
<b>Figure 4</b> : Cycle évolutif des schistosomiases.....	16
<b>Figure 5</b> : Répartition des bilharzioses dans le monde.....	17
<b>Figure 6</b> : Variation interannuelle de la température moyenne de Korhogo, de 1972 à 2014.....	28
<b>Figure 7</b> : Variation intra-annuelle de la pluviométrie moyenne à Korhogo, de 1972 à 2014.....	31
<b>Figure 8</b> : Variation interannuelle de la pluviométrie moyenne à Korhogo, de 1972 à 2014.....	31
<b>Figure 9</b> : Diagramme ombrothermique de la ville de Korhogo, de 1972 à 2014 .....	32
<b>Figure 10</b> : Evolution annuelle de l’indice de végétation de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014.....	33
<b>Figure 11</b> : Evolution mensuelle de l’indice de végétation de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014.....	33
<b>Figure 12</b> : Evolution de l’indice de végétation et de l’incidence du paludisme de 2005 à 2014.....	34
<b>Figure 13</b> : Evolution annuelle des cas de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014.....	36
<b>Figure 14</b> : Incidence annuelle des cas totaux de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014.....	36
<b>Figure 15</b> : Evolution mensuelle des cas de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014.....	38
<b>Figure 16</b> : Incidence moyenne mensuelle des cas totaux de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014 .....	38

<b>Figure 17</b> : Répartition des cas de paludisme en fonction de l'âge.....	39
<b>Figure 18</b> : Evolution interannuelle des cas de bilharzioses de 2005 à 2014.....	40
<b>Figure 19</b> : Incidence annuelle des cas de bilharzioses de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014.....	41
<b>Figure 20</b> : Evolution mensuelle des cas de bilharziose de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014 .....	42
<b>Figure 21</b> : Incidence mensuelle des cas de bilharziose de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014 .....	42
<b>Figure 22</b> : Répartition des cas de bilharzioses en fonction de l'âge .....	43
<b>Figure 23</b> : Evolution de la pluviométrie moyenne mensuelle et de l'incidence du paludisme, de 2005 à 2014 .....	44
<b>Figure 24</b> : Evolution de la température moyenne mensuelle et de l'incidence du paludisme, de 2005 à 2014 .....	45
<b>Figure 25</b> : Evolution des précipitations et de l'incidence du paludisme, au décalage 0.....	46
<b>Figure 26</b> : Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction des précipitations mensuelles, au décalage 0.....	46
<b>Figure 27</b> : Evolution des précipitations et de l'incidence du paludisme, au décalage +1 .....	47
<b>Figure 28</b> : Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +1 .....	48
<b>Figure 29</b> : Evolution des précipitations et de l'incidence du paludisme, au décalage +2 .....	49
<b>Figure 30</b> : Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +2 .....	50
<b>Figure 31</b> : Evolution de la température mensuelle et l'incidence du paludisme, de 2005 à 2014.....	50
<b>Figure 32</b> : Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction de la température mensuelle.....	51

<b>Figure 33</b> : Indices pluviométriques mensuels et évolution de l'incidence de bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage 0.....	53
<b>Figure 34</b> : Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des précipitations mensuelles, au décalage 0.....	53
<b>Figure 35</b> : Indices pluviométriques mensuels et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +1.....	54
<b>Figure 36</b> : Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +1.....	55
<b>Figure 37</b> : Indices pluviométriques mensuels et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +2.....	56
<b>Figure 38</b> : Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +2.....	57
<b>Figure 39</b> : Indices de températures mensuelles et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage 0.....	58
<b>Figure 40</b> : Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des températures mensuelles, au décalage 0.....	59
<b>Figure 41</b> : Indices de températures mensuelles et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +1.....	60
<b>Figure 42</b> : Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des températures mensuelles, au décalage +1.....	60
<b>Figure 43</b> : Indices de températures mensuelles et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +2.....	61
<b>Figure 44</b> : Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des températures mensuelles, au décalage +2.....	62

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I</b> : Moyenne mensuelle de la température de la ville de Korhogo de 1972 à 2014...	28
<b>Tableau II</b> : Moyenne mensuelle de la pluviométrie de Korhogo de 1972 à 2014 .....	30
<b>Tableau III</b> : Variation annuelle des cas et incidences de paludisme de 2005 à 2014 .....	35
<b>Tableau IV</b> : Variation mensuelle des cas et incidences de paludisme de 2005 à 2014.....	37
<b>Tableau V</b> : Variation annuelle des cas et incidences de bilharzioses de 2005 à 2014 .....	39
<b>Tableau VI</b> : Variation mensuelle des cas et incidences de bilharzioses de 2005 à 2014 .....	41
<b>Tableau VII</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre l'incidence du paludisme et la pluie du même mois.....	47
<b>Tableau VIII</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence du paludisme du 1 <sup>er</sup> mois suivant .....	48
<b>Tableau IX</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence du paludisme au 2 <sup>ème</sup> mois suivant .....	49
<b>Tableau X</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence du paludisme du même mois.....	52
<b>Tableau XI</b> : Résumé des valeurs de corrélation et des coefficients de détermination .....	52
<b>Tableau XII</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre l'incidence des bilharzioses et la pluie du même mois .....	54
<b>Tableau XIII</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence des bilharzioses du 1 <sup>er</sup> mois suivant.....	55
<b>Tableau XIV</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence des bilharzioses du 2 <sup>ème</sup> mois suivant.....	57
<b>Tableau XV</b> : Répartition des cas de bilharzioses en fonction des précipitations moyennes mensuelles .....	57
<b>Tableau XVI</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses au même mois.....	59

<b>Tableau XVII</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses du 1 <sup>er</sup> mois suivant .....	61
<b>Tableau XVIII</b> : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses du 2 <sup>ème</sup> mois suivant.....	63
<b>Tableau XIX</b> : Répartition des cas de bilharzioses en fonction des températures moyennes mensuelles .....	63
<b>Tableau XX</b> : Résumé des valeurs de corrélations et des coefficients de détermination .....	63

## RESUME

La variabilité climatique a une influence sur l'épidémiologie des maladies à transmission vectorielle. On estime que, d'ici 2100, la température moyenne de la planète s'élèvera de 2°C à 6°C. Cela entraînera une modification de la durée du cycle de vie du parasite, ou influencera leurs conditions de reproduction. Ce qui augmentera le risque de transmission de ces maladies. Le paludisme et les bilharzioses figurent parmi les plus importantes des maladies à transmission vectorielle et sont sensibles aux variations climatiques. A Korhogo, les effets de la variabilité climatique sont perceptibles. En 2005, une forte sécheresse a abouti à l'assèchement du barrage d'alimentation en eau potable. L'année 2006 a été marquée par une reprise progressive des pluies et, en 2007, l'abondance des pluies a provoqué des inondations dans la ville. Le présent travail a pour objectif général d'étudier l'influence de la variabilité climatique sur la transmission du paludisme et des bilharzioses à Korhogo. Une collecte ainsi qu'une analyse de données historiques sanitaires et climatiques sur la période 2005-2014 ont été réalisées. Les résultats obtenus révèlent des corrélations positives et significatives entre la variabilité de la pluviométrie d'un mois donné et les incidences de paludisme observées au cours du même mois et, au cours des deux mois suivants ( $r = 0,30$  ;  $p = 0,0001$ , avec un décalage 0,  $r = 0,42$  ;  $p < 0,001$  avec un décalage +1 et  $r = 0,50$  ;  $p < 0,001$ , avec un décalage +2). Des décalages similaires ont également été effectués pour les bilharzioses, et les corrélations obtenues sont positives entre les températures et les cas de bilharzioses ( $r = 0,36$  ;  $p = 0,251$ ,  $r = 0,54$  ;  $p = 0,067$ ,  $r = 0,68$  ;  $p = 0,016$ ) et négatives pour la pluviométrie ( $r = -0,42$  ;  $p = 0,177$ ,  $r = -0,68$  ;  $p = 0,015$ ,  $r = -0,62$  ;  $p = 0,032$ ). Ce décalage de un à deux mois pourrait intéresser les responsables de santé publique, car il permet de faire des prévisions sur les cas de morbidité dus au paludisme et à aux bilharzioses.

**Mots clés** : Korhogo, variabilité climatique/changements climatiques, paludisme et bilharzioses

## ABSTRACT

Climate variability has an effect on the epidemiology of vector-borne diseases. It is estimated that by 2100, the global temperature average will increase of 2°C to 6°C. This will cause a change in the duration of the parasite life cycle, or will affect their reproduction conditions, which will increasing the risk of transmission of these diseases. Malaria and schistosomiasis are among the most important vector-borne diseases and are sensitive to climatic variations. In Korhogo, the effects of climate variability are perceptible. In 2005, a severe drought resulted in the drying up of the alimentation barrage of potable water. The year 2006 was marked by a gradual recovery in rainfall and in 2007, the heavy rains caused flooding in the city. This work has the general objective to study the influence of climate variability on the transmission of malaria and schistosomiasis in Korhogo. One Collection and analysis sanitary historical data and climate on the 2005-2014 period were performed. The results show positive and significant correlations between rainfall variability in one month and the incidence of malaria seen in the same month and over the next two months ( $r = 0.30$ ;  $p = 0.0001$  with an offset 0,  $r = 0.42$ ,  $p < 0.001$  with an offset 1 and  $r = 0.50$ ,  $p < 0.001$  with an offset 2). The same offset have also been made for schistosomiasis and positive correlations are between the temperatures and cases of schistosomiasis ( $r = 0.36$ ;  $p = 0,251$ ,  $r = 0.54$ ;  $p = 0,067$ ,  $r = 0.68$ ;  $p = 0.016$ ) and negative for rainfall ( $r = -0.42$ ,  $p = 0.177$ ,  $r = -0.68$ ,  $p = 0.015$ ,  $r = -0.62$ ;  $p = 0.032$ ). This lag of one to two months is consistent with our knowledge of the parasite cycle and parasite-man-vector interactions. It could also be useful for public health officials because it allows to make predictions about the future importance of morbidity of malaria and bilharzia.

**Keywords:** Korhogo, climate variability/climate change, malaria and schistosomiasis

## INTRODUCTION

Selon le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC), les changements climatiques désignent une variation de l'état du climat qui persiste pendant une longue période, généralement, au-delà de 3 décennies (GIEC, 2007). Ils peuvent entraîner des dommages importants : élévation du niveau des mers, accentuation des événements climatiques extrêmes (sécheresses, inondations, cyclones, etc.), déstabilisation des forêts, menaces sur les ressources d'eaux douces, désertification, réduction de la biodiversité, extension des maladies tropicales (GIEC, 1995). La plupart de ces changements sont dues aux activités humaines et leurs impacts s'intensifieront tant que les émissions de gaz à effet de serre (GES) continueront d'augmenter. Il existe aujourd'hui un large consensus au sein de la communauté scientifique mondiale sur le fait que le réchauffement climatique est incontestable (GIEC, 2007). La température de la planète s'est élevée d'environ 0,6°C depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> et les prévisions scientifiques se basent sur une hausse des températures de 2°C à 6°C pour la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle (Bourque, 2000). Il est également admis qu'un tel réchauffement, causé par l'activité humaine, principalement celle émettrice de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, a de multiples incidences sur la santé humaine. Dès lors, il convient d'identifier tous les aspects des changements climatiques susceptibles d'influencer la propagation des maladies infectieuses. Il y a de bonnes raisons de penser que les changements climatiques vont jouer un important rôle dans la dynamique de ces maladies, en régulant la durée de leur cycle de vie, ou en influençant leurs conditions de reproduction (Costello *et al.*, 2014). Au Kenya, une récente étude a montré que les anomalies de la variabilité climatique sont à l'origine de 26% des anomalies du nombre de cas d'hospitalisation (Githeko *et al.*, 2015). Certaines de ces maladies, très largement répandues dans les régions tropicales, sont responsables d'une mortalité importante (Doubmbia, 2010). Le cas du paludisme et des bilharzioses, maladies les plus répandues dans ces régions tropicales et sensibles aux conditions climatiques, mérite une attention particulière. Les statistiques font état de 214 millions de cas de paludisme en 2015, dont 438 000 décès (OMS, 2015). Aussi, 600 millions de personnes sont-elles exposées au risque d'infection de la bilharziose, dont plus de 260 millions sont parasitées (OMS, 2013). Sur le continent africain, ces deux maladies sont parmi les premières causes de mortalité et de morbidité.

En Côte d'Ivoire, plus précisément à Korhogo, les effets de la variabilité climatique sont perceptibles. La décennie 2000-2010 a été marquée par une importante variabilité climatique, se traduisant par une pluviométrie relativement faible en 2002-2003, suivie d'une intense sécheresse en 2004 qui a abouti en 2005 à l'assèchement du barrage d'approvisionnement en

eau potable de la ville de Korhogo. L'année 2006 a été caractérisée par la reprise progressive des pluies et en 2007, l'abondance des pluies a provoqué des inondations à Korhogo et dans ses environs (Koné *et al.*, 2009). Ces inondations ont entraîné l'abandon des activités économiques et la perte de revenus (UN, 2007). Outre les effets directs de cette variabilité climatique, les effets indirects sur la santé des populations seront développés dans ce travail. Ainsi, la présente étude qui a pour thème « Variabilité climatique et dynamique de transmission du paludisme et des bilharzioses à Korhogo » a été réalisée au Centre Suisse de Recherches Scientifiques dans le cadre d'un projet intitulé « Vulnérabilité et résilience au paludisme et aux bilharzioses aux franges nord et sud de la bande sahélienne dans un contexte de changement climatique ». L'objectif général de ce travail est d'étudier l'influence de la variabilité climatique sur la transmission du paludisme et des bilharzioses à Korhogo. Pour y arriver, nous nous assignons les objectifs spécifiques suivants :

- montrer l'évolution des paramètres climatiques (température et précipitations) à Korhogo, de 1972 à 2014 ;
- montrer la morbidité du paludisme et des bilharzioses à Korhogo à partir de la plus longue série de données disponibles (2005 à 2014) ;
- analyser la relation entre les facteurs climatiques et la transmission du paludisme et des bilharzioses à Korhogo de 2005 à 2014.

Ce travail est présenté en trois grandes parties. La première porte sur les généralités, la deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés pour atteindre les objectifs fixés. Enfin, la troisième partie est consacrée aux résultats et à leur discussion. Une conclusion générale, suivie de perspectives et recommandations, mettra en évidence les points saillants de notre travail.



**PREMIERE PARTIE : GENERALITES**

## **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

### **I-1- Contexte géographique**

La ville de Korhogo se situe dans le Nord de la Côte d'Ivoire, entre 8°30 et 10°25 de latitude Nord et 5°15 et 6°20 de longitude Ouest (Figure 1). C'est le chef-lieu de la région du Poro. La ville de Korhogo se situe à 633 km d'Abidjan, la capitale économique et à 353 km de Yamoussoukro, la capitale politique. Elle couvre une superficie d'environ 12 500 km<sup>2</sup>.

### **I-2- Contexte climatique**

Le climat de la ville de Korhogo s'imbrique dans celui du département de Korhogo, et appartient au régime climatique tropical sec, de type soudano-sahélien, dont le rythme des saisons est réglé par le déplacement du Front Intertropical (FIT) (Jourda *et al.*, 2005). Ce régime climatique est caractérisé par deux grandes saisons :

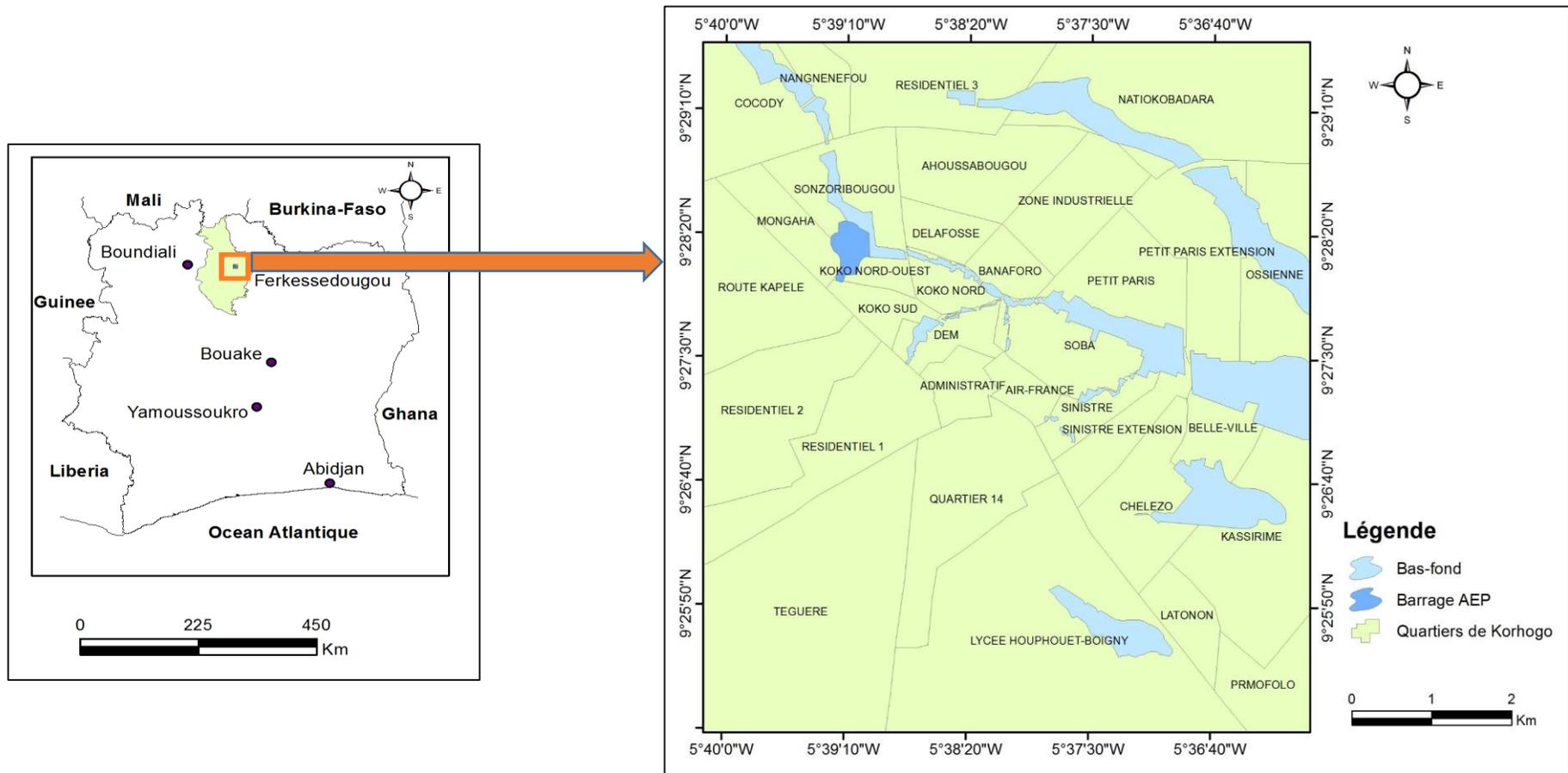
- la grande saison sèche (novembre-avril) ;
- la grande saison des pluies (mai-octobre).

#### **➤ Température**

Le climat tropical sec de Korhogo lui confère une température moyenne annuelle de 27°C. La moyenne des températures maxima mensuelles de la ville de Korhogo varie de 27,8°C à 33,3°C et celle des températures minima mensuelles oscille entre 14,7°C à 22,9°C. Par ailleurs, des modèles de circulation générale sur le bassin versant du Bandama ont permis de mesurer l'impact d'un doublement de la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique sur la température et la pluviométrie (MEFE, 2000). Il ressort de l'analyse de ces résultats que la température moyenne mensuelle devrait augmenter de 2,28°C au minimum et de 4,10°C au maximum, d'ici 2050.

#### **➤ Pluviométrie**

Le climat tropical sec de la ville se traduit par une moyenne annuelle de précipitation fluctuant autour de 1200 mm. Une analyse rétrospective des données climatiques de la station de Korhogo nous indique, de façon générale, une baisse des hauteurs pluviométriques des mois les plus pluvieux (juillet, août et septembre), avec une importante fluctuation au niveau des pics pluviométriques. Les hauteurs pluviométriques sont passées de 1 383 mm/an de pluie, sur la période d'avant 1971, à 1 213 mm/an, sur la période 1971-2002 à la station de Korhogo, soit une baisse d'environ 12%, dommageable pour les populations rurales (Kouakou *et al.*, 2013).



**Figure 1 :** Localisation de la ville de Korhogo (Koffi, 2016)

### **I-3- Végétation**

Selon la classification des écorégions définie par le World Wide Fund for Nature (WWFN, 2001), la végétation de la ville de Korhogo, comme celle de toute la région du Poro, est celle de la savane arborée ou savane ouest soudanienne. Elle se caractérise par des arbres et arbustes, d'une hauteur comprise entre 8 et 12 m, disséminés avec une densité de couvert de l'ordre de 25 à 35 %. Ces arbres sont essentiellement constitués d'anacardiés, de nérés et de karités. Le fruit de l'arbre de karité peut se manger tel ou se préparer en « beurre ». Il peut aussi servir de produits cosmétiques.

### **I-4- Contexte géomorphologique**

La ville de Korhogo correspond à la limite de deux domaines géomorphologiques bien distincts (Beaudou, 1977) :

- le compartiment montagneux, à l'ouest, se caractérise par la grande abondance des reliefs résiduels de roches leucocrates. Ces reliefs, inselberge isolés ou massifs de grandes dimensions, font partie de la retombée orientale de la dorsale guinéenne ;
- les plateaux du nord, à l'est, se définissent comme une pénéplaine dont l'altitude varie entre 300 et 400 m.

### **I-5- Contexte hydrographique**

La région est largement drainée par le Bandama et ses affluents. Ce dernier décrit un grand arc de cercle d'environ 36 km de rayon autour de Korhogo. Coulant d'abord d'Ouest en Est, sur près de 200 km, le Bandama, à partir de la route de Korhogo-Ferkessédougou, prend la direction Nord-Sud. Son lit comporte beaucoup de méandres. Il développe en maints endroits, avec ses affluents (le Badéni, le Bou et le Solomougou, etc.) des plaines d'inondations, larges de 1 à 1,5 km. Chacun de ses affluents est alimenté par de nombreuses rivières au cours supérieur souvent intermittent (Coulibaly, 1978).

### **I-6- Contexte géologique**

Le contexte géologique et tectonique de la ville de Korhogo s'intègre dans l'histoire du craton ouest africain. Certains travaux (Lemoine, 1988 ; Kouamelan, 1996) ont porté sur la géologie et la tectonique de cette ville. Il ressort de ces études que la tectonique est polyphasée et a abouti à la mise en place d'une fracturation très développée dans ces formations. D'un point de vue lithologique on peut distinguer deux grands ensembles :

- les formations birimiennes qui sont des formations volcaniques, volcano-sédimentaires et sédimentaires, métamorphisées déposées dans les sillons intracratoniques ;
- les granitoïdes éburnéens qui sont des massifs granitiques au sein desquels on y distingue plusieurs générations de granites.

### **I-7- Contexte pédologique**

Dans cette partie nord de la Côte d'Ivoire, on trouve des sols ferralitiques (ferrisols et ferralitiques sensu-stricto) et ferrugineux tropicaux ou ferralitiques étroitement imbriqués (SEDES, 1965). A ces deux types principaux, on associe par endroit des sols hydromorphes (dans les bas-fonds), des sols bruns eutrophes (sur les pentes), des vertisols (en bas des pentes) et de lithosols résultant de conditions particulières de drainage des roches ou de l'érosion.

### **I-8- Contexte socio-économique**

La ville de Korhogo fait partie des villes les plus peuplées de la Côte d'Ivoire, avec une population estimée à 286 071 habitants (RGPH, 2014). Cette population est constituée principalement de Sénoufos et de Malinkés. On y dénombre aussi beaucoup de commerçants venus des pays environnants tels le Mali, le Burkina Faso et le Niger. Les populations vivent essentiellement de l'agriculture et/ou l'élevage. Les spéculations pratiquées sont (IRD, 2007) :

- les cultures vivrières (ignames, maïs, riz, arachide, mil, sorgho, patate douce, fonio) ;
- les cultures annuelles de rente (cotonnier, tabac, soja, cultures maraîchères) ;
- les cultures pérennes de rente (manguier, avocatier, anacardier) ;
- l'élevage de bovins, caprins, porcins, ovins, volaille, la pisciculture et l'apiculture.

L'engouement des populations pour les plantations de l'anacardier, des manguiers greffés et des cultures vivrières s'est fait durant ces dernières années, au détriment de la filière coton. (Anonyme, 2009).

### **Conclusion partielle**

Les activités agricoles liées fortement à la culture du cotonnier et de l'anacardier occupent une grande partie de la superficie du territoire. A cela, il faut ajouter celle du riz, avec le développement de nombreux bas-fonds exploités et la culture d'igname. Parallèlement à l'agriculture, on note aussi qu'il s'y pratique des activités pastorales. L'analyse des termes et concepts de l'étude sera abordée dans le chapitre II.

## CHAPITRE II : DEFINITIONS, TERMES ET CONCEPTS DE L'ETUDE

### II-1- Définitions

**Morbidité :** elle désigne le nombre de personnes souffrant d'une maladie donnée pendant un temps donné, en général une année, dans une population (Banza, 2004).

**Mortalité :** c'est le nombre de personnes qui meurent d'une même maladie dans une population pour un temps donné (Akoto, 1990).

**Coefficient de détermination :** il s'agit de la mesure de la proportion de variation chez la variable dépendante qui est expliquée par l'équation de régression (Confais et Le Guen, 2006).

**Seuil de signification (p) :** en statistiques, un résultat est dit statistiquement significatif lorsqu'il est improbable qu'il puisse être obtenu par un simple hasard. Habituellement, on utilise un seuil de signification de 0,05. Ce qui signifie que le résultat observé a moins de 5% de chance d'être obtenu par hasard. Il est donc jugé statistiquement significatif (Confais et Le Guen, 2006).

**Coefficient de régression linéaire (Coef.) :** sa valeur indique l'effet sur la variable dépendante d'un mouvement d'une unité sur la variable indépendante.

**Erreur standard :** elle mesure le taux de dispersion des points autour de la droite de régression.

**Statistique t du coefficient de régression :** sa valeur mesure la signification statistique du coefficient de régression. Pour que le coefficient de régression soit statistiquement significatif au seuil de 5%, la valeur absolue du t doit dépasser 1,96 (Armatte, 2001).

**Intervalle de confiance :** c'est l'intervalle de valeur qui a 95% de chance de contenir la vraie valeur du paramètre estimé.

#### II-1-1- Variabilité climatique

Selon le GIEC (2007), la variabilité climatique est la variation de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts types, fréquences des phénomènes extrêmes, etc.) du climat, à toutes les échelles temporelles et spatiales, au-delà des phénomènes climatiques individuels. Elle peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne) ou à la modification des forçages internes, anthropiques ou naturels (variabilités externes).

## **II-1-2- Changement climatique**

Le changement climatique est une variation de l'état du climat que l'on peut déceler par les modifications de la moyenne et/ou les variations de ses propriétés, et qui persiste pendant de longues périodes, généralement pendant au moins trois décennies ou plus (GIEC, 2007).

## **II-2- Causes des changements climatiques**

Les changements climatiques peuvent être dus à des processus de variations naturelles du climat ou aux activités humaines. Les variations naturelles se font sur de très longues périodes. Le changement global est dû à l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Ces GES ont toujours existé dans l'atmosphère de façon naturelle, car la vie n'est possible sur terre sans l'effet de serre qui assure une température moyenne de + 15°C, au lieu de -19°C (GIEC, 2007). Depuis l'avènement de la révolution industrielle, les plus dangereux de ces gaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, etc.) ont connu une augmentation exponentielle (Cyrielle, 2007). Le CO<sub>2</sub> est à lui seul responsable de plus de 50% de l'augmentation de l'ensemble des GES. Dans cette situation anormale où la concentration des GES dans l'atmosphère est très élevée, seule une petite partie du rayonnement terrestre est absorbée par les GES. La plus grande partie du rayonnement est renvoyée vers la basse atmosphère et la surface du sol, ce qui conduit, à la longue, à un réchauffement de la basse atmosphère et de la surface du sol. Les activités humaines restent les premières causes de réchauffement, notamment, celles relatives à la consommation de combustibles fossiles pour des usages industriels et domestiques, à la combustion de la biomasse produisant des GES et des aérosols, qui affectent la composition de l'atmosphère. Outre cela, le changement d'usage des terres, dû à l'urbanisation et aux pratiques agricoles et forestières de l'homme, affecte les propriétés biologiques et physiques de la surface de la terre (Daouda, 2008). Ces changements anthropiques sont très rapides et par conséquent menacent les écosystèmes souvent fragiles.

## **II-3- Paludisme**

### **II-3-1- Parasites et vecteurs du paludisme**

Le paludisme est une maladie causée par un parasite protozoaire appartenant au genre *Plasmodium*. Le vecteur responsable de la transmission de la maladie est un moustique du genre *Anopheles*. Seules les femelles sont capables de transmettre le paludisme. Pour que leurs œufs arrivent à maturité, ces femelles doivent prendre un repas de sang en piquant un hôte (humain).

C'est au cours de ce repas qu'il peut, soit ingérer l'agent pathogène du paludisme d'un sujet infecté, soit l'injecter à un sujet sain, produisant ainsi des infections. Les mâles, en revanche, se nourrissent de sève et de nectar et ne sont pas impliqués dans la transmission de la maladie (Lindsay et Birley, 1996).

### **II-3-1-1- Parasites**

Parmi les diverses espèces présentes dans la nature, quatre (4) sont des causes de paludisme chez l'homme en Afrique (Rozendaal, 1997) :

- *P. falciparum* : cette espèce est responsable d'attaques graves et souvent mortelles, en particulier chez les personnes non immunisées. Dans ce cas, un diagnostic doit être posé avec une urgence extrême, puisque le traitement pharmacologique immédiat s'impose. Il produit un niveau plus élevé de la parasitémie que les autres espèces. Il est présent à travers l'Afrique tropicale et une partie de l'Asie, le Pacifique occidental, l'Amérique du Sud et du Centre, Haïti et la République Dominicaine ;

- *P. vivax* : cette espèce provoque des attaques fréquentes, en raison de la présence d'hypnozoïtes dans le foie, si l'infection n'est pas correctement traitée avec un médicament schizontocide hépatique (primaquine). Il est presque absent de l'Afrique, il constitue le parasite prédominant en Asie, en Amérique du Sud et en Amérique Centrale ;

- *P. ovale* : les infections dues à *P. ovale* suivent généralement une évolution bénigne, mais des complications rares peuvent survenir. Comme *P. vivax*, il peut causer des attaques dues à la présence d'hypnozoïtes dans le foie. Le degré de parasitémie est généralement plus faible que dans les infections à *P. vivax*. Il est présent principalement dans les zones tropicales de d'Afrique de l'Ouest, et rarement dans le Pacifique Ouest ;

- *P. malariae* : c'est une infection qui suit une évolution bénigne, sauf dans quelques cas. En comparaison avec les autres espèces, il produit généralement une parasitémie très faible. Il est rencontré partout dans le monde mais a une distribution sporadique.

### **II-3-1-2- Vecteur**

L'anophèle femelle est le vecteur du paludisme chez l'Homme. Appartenant à la famille des culicidés, à la sous-famille des Anophélinés et au genre *Anopheles*, cette espèce diptère, présente quatre stades évolutifs au cours de sa vie. Les trois (3) premiers stades dits pré-marginaux sont aquatiques, avec l'œuf, la larve et la nymphe. Le dernier stade (adulte), dit imago, est aérien et dure 2 à 4 semaines pour une femelle et 10 jours chez le mâle (Ginet et Roux, 1989).

## **II-3-2- Cycle de développement du *plasmodium***

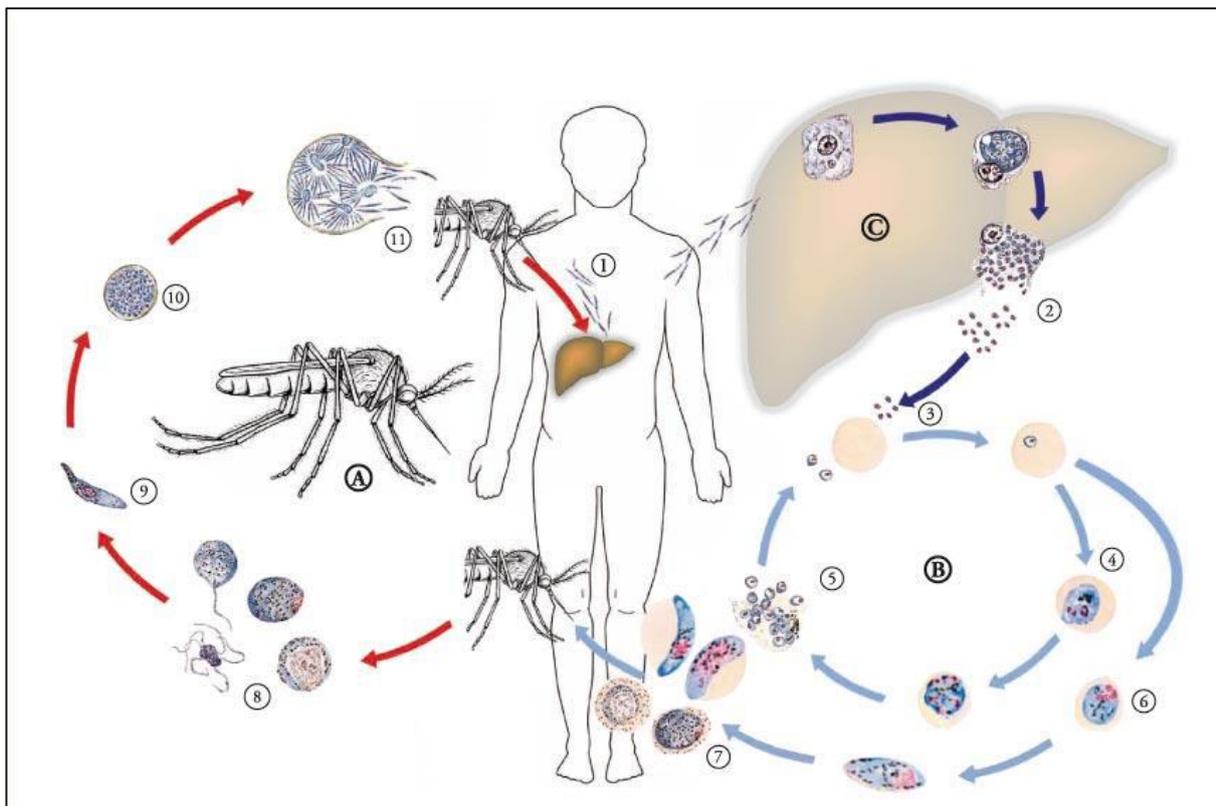
### **II-3-2-1- Cycle de développement du *plasmodium* chez le moustique (cycle sexué)**

Lors de son repas, l'anophèle absorbe les gamétocytes mâles et femelles. Dans son estomac, ils se transforment en gamètes alors que les éléments asexués du parasite sont digérés. Les éléments mâles et femelles se conjuguent dans l'estomac de l'insecte pour former un zygote (Mouchet *et al.*, 2004). Le zygote s'allonge, reste mobile (ookinete) et pénètre dans la paroi de l'estomac et se développe en un oocyste sphérique. À l'intérieur de l'oocyste, des divisions répétées donnent lieu à la formation de nombreux sporozoïtes, ce qui finit par provoquer la rupture de l'oocyste. Les sporozoïtes sont libérés dans l'hémolymphe, d'où elles migrent ensuite vers les glandes salivaires. Une glande infectée peut héberger plusieurs centaines, voire plusieurs milliers, de sporozoïtes. La durée du cycle sporogonique varie pour chaque parasite suivant la température. A 25°C, le cycle de *P. vivax* est de 10 jours, celui de *P. falciparum* de 13 jours. La durée de ces cycles s'allonge lorsque la température diminue. A 20°C, le cycle de *P. falciparum* dure 30 jours et il n'est plus réalisé en-dessous de 18°C ; le cycle de *P. vivax* à 20°C dure 25 jours et n'est plus réalisé en-dessous de 15°C où 16°C. Les cycles de *P. malariae* et *P. ovale* sont plus longs, de 18 à 20 jours à 25°C (Mouchet *et al.*, 2004). Le cycle sexué du plasmodium chez le moustique est illustré à la figure 2.

### **II-3-2-2- Cycle de développement du *plasmodium* chez l'homme (cycle asexué)**

L'infection d'un hôte humain commence lorsque les sporozoïtes sont injectés dans le corps humain via la piqûre d'un moustique contaminé par le genre *Anophèles*. Il injecte au maximum une centaine de sporozoïtes, qui, en entrant dans la circulation sanguine, atteindront le foie (hépatocytes) dans les 30-40 minutes. Après une phase de division dans les hépatocytes, il produit des schizontes hépatiques ; c'est la phase pré-érythrocytaire (avant l'invasion du globule rouge) ou exo-érythrocytaire (hors du globule rouge) du parasite (Mouchet *et al.*, 2004). Après une période variant de 6 à 15 jours, selon les espèces de *Plasmodium*, des milliers de mérozoïtes sont libérés dans la circulation sanguine, où ils pénètrent et envahissent les globules rouges rapidement. Chaque schizonte libère environ 40 000 mérozoïtes pour *P. falciparum*, 15 000 pour *P. ovale*, 10 000 pour *P. vivax* et de l'ordre de 2 000 pour *P. malariae* (Mouchet *et al.*, 2004). Dans le cas de *P. vivax* et *P. ovale*, certains sporozoïtes entrent dans une phase de repos, devenant "hypnozoïtes hépatiques". Ces formes resteront latentes pendant des semaines, des mois voire des années jusqu'à ce qu'elles soient réactivées, donnant lieu à des rechutes caractéristiques de ces deux espèces. Les mérozoïtes qui ont pénétré dans les globules rouges

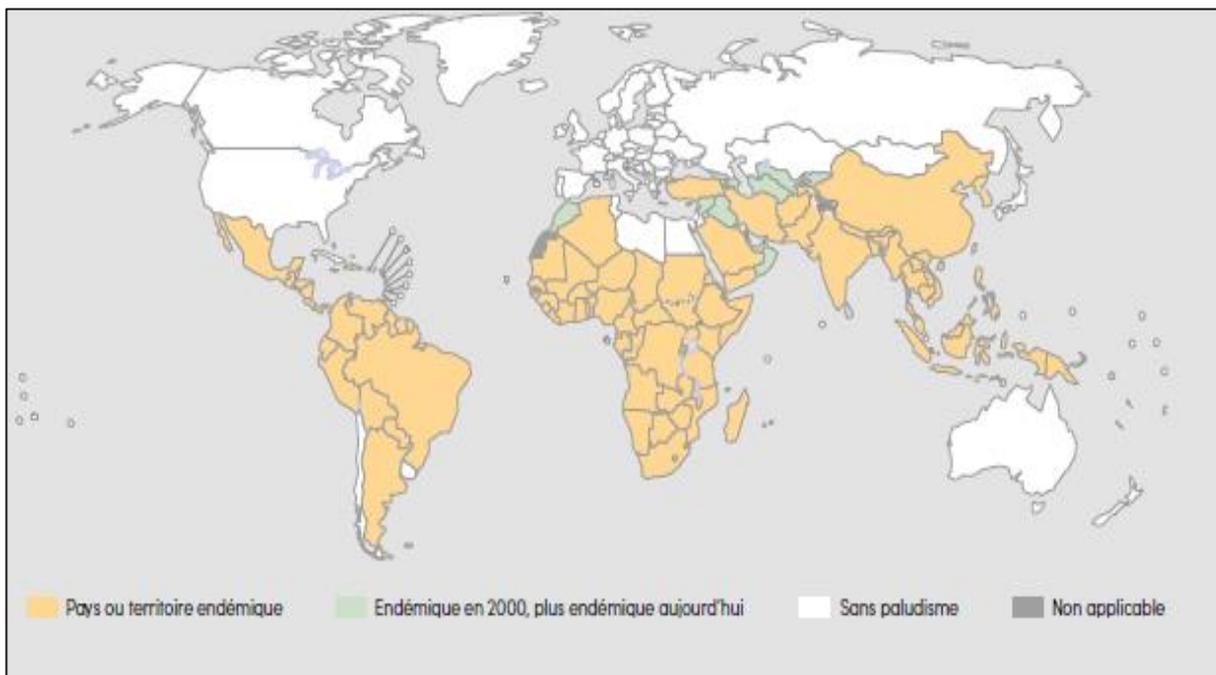
se transforment en trophozoïtes, qui, après avoir terminé la phase de croissance végétative, se transforment en schizontes. Une fois mature, les schizontes provoquent l'éclatement des globules rouges, libérant les mérozoïtes (de 6 à 24 pour chaque schizontes érythrocytaires) qui vont envahir d'autres globules rouges du sang. La destruction des globules rouges coïncide également avec la libération de substances pyrogènes qui déclenchent les mécanismes de production de la fièvre et autres symptômes cliniques. La morbidité et la mortalité associées au paludisme découlent exclusivement des stades érythrocytaires. Le cycle érythrocytaire asexué dure 48 ou 72 heures, en fonction des espèces de *Plasmodium*, et continue jusqu'à leur mise sous contrôle, soit par la réponse immunitaire de l'organisme ou la chimiothérapie. Après avoir envahi un globule rouge, certains mérozoïtes ne se développent pas en trophozoïtes mais, pour des raisons encore peu claires, se différencient plutôt en formes sexuées, les gamétocytes mâles (microgamétocytes) et des gamétocytes femelles (macrogamétocytes). Le cycle asexué du plasmodium se trouve à la figure 2 ci-après.



**Figure 2 :** Cycle évolutif du plasmodium chez l'homme et le moustique (Swierczynski et Mandlik, 2007)

### II-3-3- Répartition du paludisme dans le monde

En 2015, 3,2 milliards de personnes, soit près de la moitié de la population mondiale étaient exposées au risque de contracter le paludisme. La plupart des cas de paludisme et des décès dus à cette maladie survient en Afrique subsaharienne. Toutefois, l'Asie, l'Amérique latine et, dans une moindre mesure, le Moyen-Orient sont également affectés. En 2015, 95 pays et territoires étaient confrontés à une transmission continue du paludisme. Certains groupes de la population courent un risque beaucoup plus élevé que d'autres de contracter le paludisme et d'être gravement atteints: les nourrissons, les femmes enceintes, les personnes porteuses du VIH ou atteintes du sida, les migrants non immunisés et les enfants de moins de 5 ans. Plus des deux tiers (70%) des décès dus au paludisme surviennent dans cette tranche d'âge. Entre 2001 et 2015, le taux de mortalité chez les enfants de moins de 5 ans a baissé de 65% à l'échelle mondiale (OMS, 2015). La figure 3 présente l'endémicité mondiale des cas de paludisme en fonction des pays.



**Figure 3 :** Endémicité mondiale des cas de paludisme (OMS, 2015)

### II-3-4- Paludisme en Côte d'Ivoire

Le paludisme est un problème de santé publique en Côte d'Ivoire. Selon l'OMS (2013), il représente :

- 43% des motifs de consultations ;

- 62% des hospitalisations des moins de 5 ans ;
- 11,8% de mortalité infantile ;
- 40% des causes d'absentéisme scolaire ;
- 50% des pertes de revenus agricoles ;
- 25% des revenus des ménages engagés pour la prévention et le traitement. On dénombre trois espèces plasmodiales (*Plasmodium falciparum*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae*) et la transmission est assurée par trois vecteurs (Konan *et al.*, 2009) :
  - Anopheles gambiae s.l.* ;
  - Anopheles funestus* ;
  - Anopheles nili*.

## **II-4- Bilharzioses**

### **II-4-1- Définition**

Les schistosomes ou bilharzioses sont des maladies parasitaires dues à la présence de vers plats (schistosoma) logés dans les vaisseaux sanguins. La transmission urinaire ou fécale fait intervenir des hôtes intermédiaires (mollusques d'eau douce). C'est l'une des infections parasitaires affectant l'homme les plus répandues dans le monde. Seul le paludisme la précède par ordre d'importance sur le plan des répercussions sanitaires et socio-économiques majeures dans les pays en développement (Doumengue *et al.*, 1987).

### **II-4-2- Agents pathogènes**

Cinq espèces du genre *Schistosoma* appartenant à trois (3) groupes, parasitent l'homme (Richard et Thanh, 2007). Ce sont :

- le groupe haematobium qui comprend *Schistosoma haematobium*, agent de la bilharziose urinaire et *Schistosoma intercalatum*, agent de la bilharziose rectale en Afrique centrale ;
- le groupe mansoni qui avec *Schistosoma mansoni*, agent de la bilharziose intestinale ;
- le groupe japonicum qui comprend *Schistosoma japonicum*, agent de la bilharziose artérioveineuse, sino-japonaise et *Schistosoma mekongi*, agent de la bilharziose du mékong rencontrée au Laos et au Cambodge.

### **II-4-3- Hôtes intermédiaires et hôtes définitifs**

#### **II- 4-3-1- Hôtes intermédiaires**

Les hôtes intermédiaires des schistosomes sont des mollusques gastéropodes dulçaquicoles, possédant tous une coquille et appartenant à la sous-classe des pulmonata. Ils vivent dans les eaux peu profondes, près des rives, dans les lacs et barrages, les cours d'eaux où les conditions d'abri, d'alimentation et de ponte leurs sont favorables. Ils sont hermaphrodites et capables d'autofécondation. En une journée, un mollusque peut pondre une vingtaine d'œufs regroupés les uns contre les autres sur des supports (Poda et Sawadogo, 1994). L'éclosion a lieu une semaine après la ponte et au bout de trente jours, un jeune mollusque est capable de se reproduire. La durée de vie d'un mollusque est d'environ douze mois (Sellin et Boudin, 1981).

#### **II-4-3-2- Hôtes définitifs**

Après avoir pénétré par voie transcutanée, les larves (furcocercaires) migrent par voie circulatoire, gagnent le territoire mésentérique inférieur et deviennent des adultes (mâles et femelles) qui peuvent survivre plusieurs années chez l'hôte (5 à 8 ans). Les femelles pondent des œufs (des milliers d'œufs par jour) dans les veinules des organes profonds, les œufs migrent à travers la paroi d'un organe creux (vessie, intestin) pour être éliminés avec les excréta et initier ainsi un nouveau cycle (Sturrock, 1993).

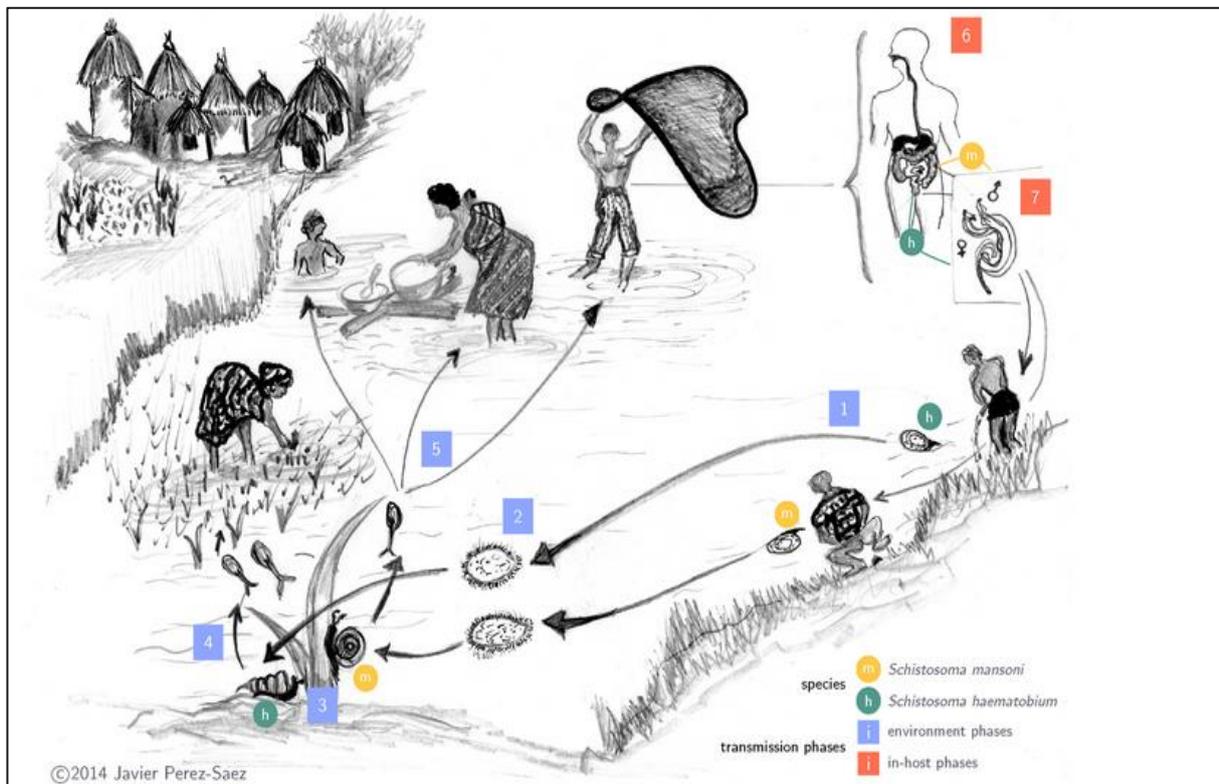
### **II-4-4- Cycle de transmission**

#### **II-4-4-1- Phase sexuée**

La phase sexuée a lieu chez l'homme, l'hôte définitif. La contamination de l'homme se fait par voie transcutanée. L'homme s'infecte par le contact avec l'eau infestée par les cercaires. Ces derniers s'attachent à sa peau et lorsqu'elle sèche, ils pénètrent activement dans l'épiderme grâce aux sécrétions protéolytiques produites par les glandes qu'elles possèdent. Après pénétration, les larves (furcocercaires) migrent par voie circulatoire, gagnent le territoire mésentérique inférieur où elles deviennent adultes (mâles et femelles). Les femelles pondent des milliers d'œufs par jour dans les veinules des organes profonds. Les œufs migrent à travers la paroi de la vessie et des intestins pour être éliminés avec les excréta. Certains œufs sont bloqués et ne peuvent pas être expulsés. Ce blocage des œufs dans la vessie et/ou le foie est à l'origine des complications de la maladie (Assoumou *et al.*, 2008).

#### II-4-4-2- Phase asexuée

La phase asexuée a lieu chez un mollusque d'eau douce, hôte intermédiaire. En effet, les œufs éliminés ne peuvent poursuivre leur évolution que dans l'eau douce. Ils libèrent les embryons ou miracidiums qui, en l'absence de mollusques peuvent survivre jusqu'à 18 heures dans l'eau douce. Chez le mollusque, les miracidiums donnent au bout de trois semaines à deux mois, des larves. Ces dernières quittent les mollusques et nagent à la surface des eaux à la recherche d'hôtes définitifs (hommes ou animaux) qu'elles contaminent par voie transcutanée (Olds et Dasarathy, 2001). La figure 4 présente le cycle évolutif des schistosomiases.

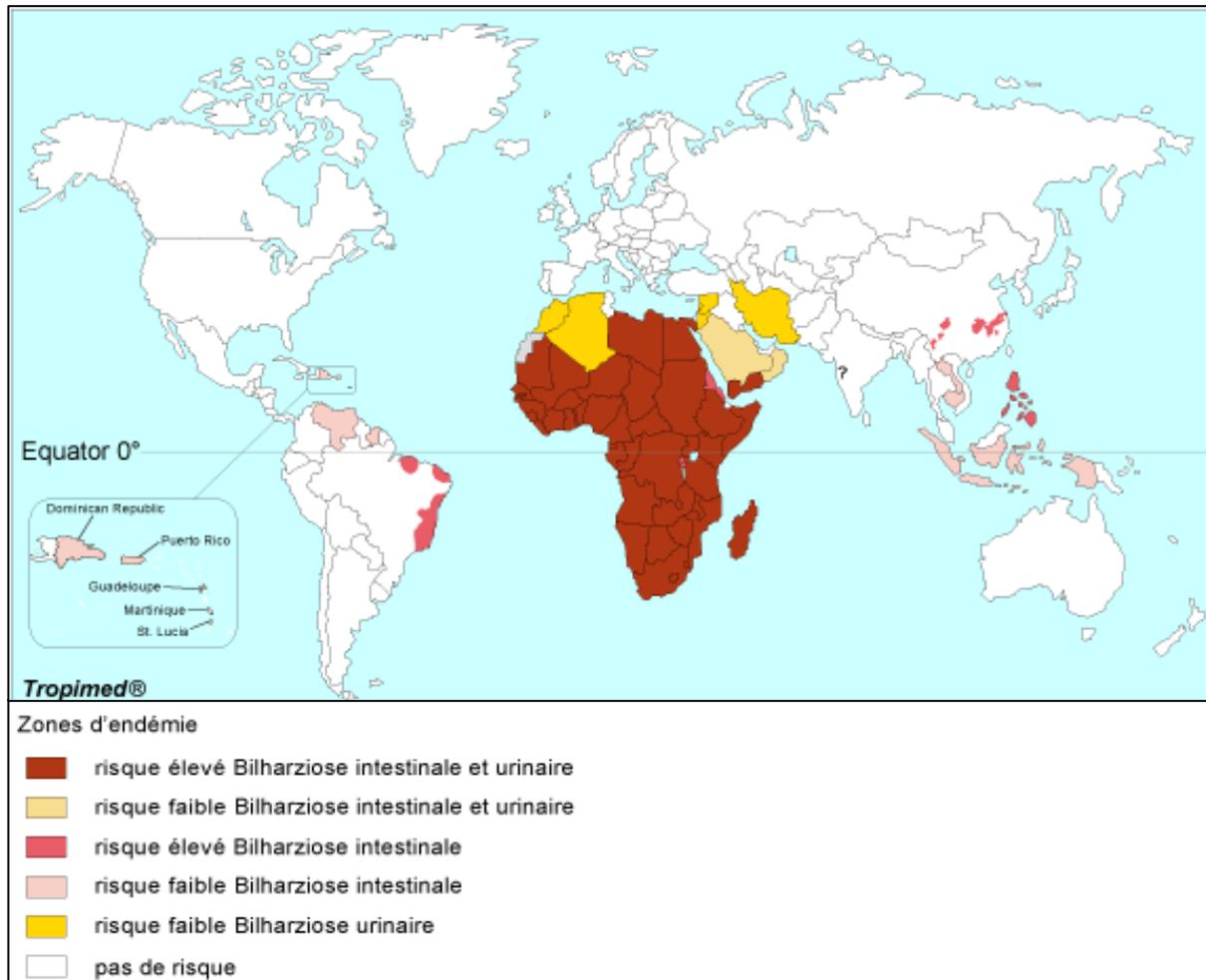


**Figure 4 :** Cycle évolutif des schistosomiases (Perez *et al*, 2015)

#### II-4-5- Bilharzioses dans le monde

D'après l'OMS (1993), la schistosomiase (ou bilharziose) est l'une des principales maladies transmissibles ayant des répercussions sanitaires et socio-économiques majeures dans 76 pays en voie de développement. Malgré les efforts de lutte menés par la plupart des programmes des pays endémiques, notamment ceux d'Afrique sub-saharienne, on estime à 200 millions le nombre de personnes actuellement infectées dont une proportion importante est composée d'enfants de moins de 14 ans. Le nombre de personnes présentant les symptômes de la maladie est estimé à 120 millions dont 20 millions sont atteintes d'une forme grave et invalidante. On

signale chaque année, dans le monde, 8 à 10 millions de nouveaux cas, et entre 200 000 et 400 000 décès par an. 85% de l'ensemble des cas et la plupart des cas graves, se trouvent en Afrique (OMS, 1998), comme l'indique la figure 5.



**Figure 5** : Répartition des bilharzioses dans le monde (Rollinson *et al.*, 2012)

#### II-4-6- Bilharziose en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, les bulins, hôtes intermédiaires responsables de *Schistosoma haematobium* (bilharziose urinaire) sont représentés par deux espèces : *Bulinus truncatus* et *Bulinus globosus*. La bilharziose intestinale à *Schistosoma mansoni* est véhiculée par *Biomphalaria pfeifferi* (N'Goran, 1987). La gestion des écosystèmes aquatiques et leur évolution naturelle ou anthropique ont des répercussions sur la dynamique des populations de mollusques gastéropodes et sur le niveau de la transmission des bilharzioses. En plus des grands barrages, la Côte d'Ivoire compte plus de 500 petits barrages (hydro- agricoles), construits pour la plupart, entre 1970 et 1990, afin d'assurer la maîtrise de l'eau, notamment, dans les régions du Centre

et du Nord, à pluviométrie déficitaire. La vocation de ces barrages est de permettre d'une part, le développement de la riziculture irriguée et/ou des cultures de contre-saison, et d'autre part, l'approvisionnement en eau des troupeaux régionaux. Ces multiples aménagements hydro-agricoles construits dans la partie septentrionale du pays sont directement impliqués dans la transmission spatio-temporelle des bilharzioses (Yapi, 2008).

#### **II-4-7- Relation entre variables climatiques et paludisme**

Les modifications de la température et des précipitations selon différents scénarios de changement climatique affecteront la biologie et l'écologie des vecteurs et des hôtes intermédiaires et par conséquent le risque de transmission de maladies (Lindsay et Birley, 1996). Si la température de l'eau augmente, les larves parviennent plus rapidement à maturité et produisent une descendance plus nombreuse pendant la période de transmission. En climat plus chaud, les moustiques femelles adultes digèrent plus rapidement le sang et s'alimentent plus fréquemment, ce qui augmente l'intensité de la transmission. De même, les parasites du paludisme achèvent leur incubation extrinsèque dans l'organisme du moustique dans un délai plus court lorsque la température s'élève, ce qui augmente la proportion de vecteurs infectants (Patz et Olson, 2013). Outre l'influence directe de la température sur la biologie des vecteurs et des parasites, les modifications du régime des précipitations peuvent également avoir des effets à court et à long terme sur les habitats vectoriels. Plusieurs vecteurs utilisent différents gîtes au niveau desquels ils déposent leurs œufs (canaux d'irrigation, mangrove, marécages, ...etc.). Pendant qu'une augmentation des précipitations peut accroître les populations de vecteurs (en augmentant le nombre de gîtes larvaires potentiels pour les populations anophéliennes), un excès de pluies peut au contraire perturber les petits gîtes larvaires avec destruction des œufs et des larves (Mbaye, 2014). Ainsi, la distribution de la pluviométrie sur une période de temps bien donnée peut être plus essentielle dans le développement du moustique que la quantité de pluie donnée, puisque les gîtes doivent être stables du dépôt des œufs à l'émergence de l'adulte.

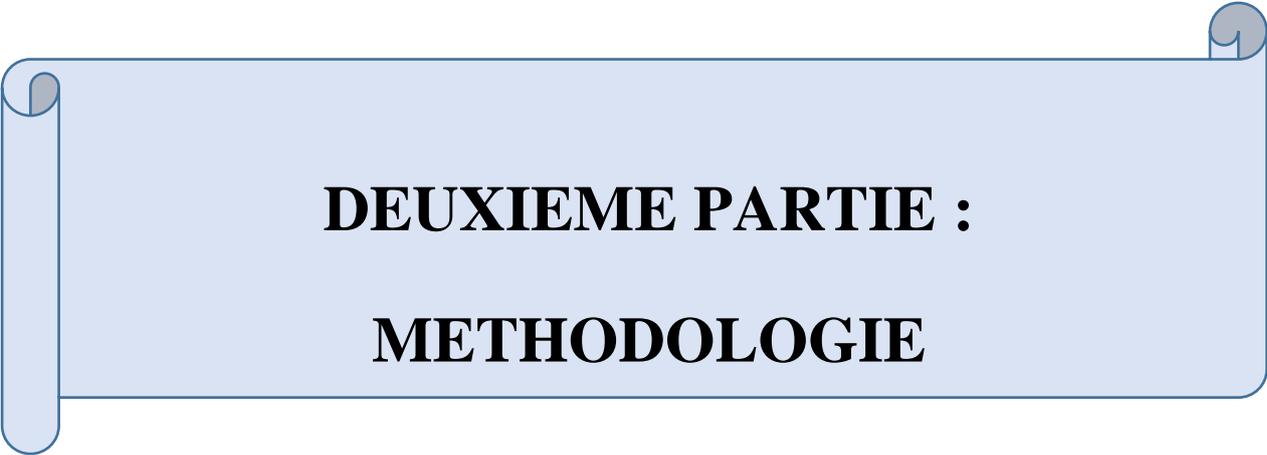
#### **II-4-8- Relation entre variables climatiques et bilharziose**

Les variations de température et de précipitation influencent directement le comportement reproducteur et le développement des parasites (Barbosa et Barbosa, 2010). Par exemple, alors que la schistosomiase est pratiquement absente lorsque la température est inférieure à 9°C, le taux d'infection augmente quand la température est supérieure à 15°C (Stensgaard, 2011). En période de sécheresse extrême, les sites de reproduction de mollusques pourraient être éliminés en raison de l'assèchement de leur habitat. Les précipitations quant à elles créent des

étangs permanents saisonniers pour le développement des schistosomias. Toutefois, les précipitations en excès résultant des inondations créent des turbulences dans l'habitat des mollusques (Paull et Johnson, 2011).

### **Conclusion partielle**

Les changements climatiques et/ou variabilités climatiques constituent une menace pour la santé. Certaines maladies vectorielles, notamment, le paludisme et les bilharzioses, qui font l'objet de la présente étude sont sensibles au changement des températures et du régime des précipitations. Le paludisme est endémique en Côte d'Ivoire, avec une prévalence de 4%. De façon générale, les enfants de moins de 5 ans sont les plus atteints. L'apparition des foyers schistosomiens en Côte d'ivoire est directement attribuée à l'évolution des espaces ruraux, à travers l'aménagement des bas-fonds. La deuxième partie de notre travail se consacre à l'étude du matériel et des méthodes utilisées pour atteindre nos objectifs.



**DEUXIEME PARTIE :**  
**METHODOLOGIE**

## **CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE**

Dans le but d'un renforcement de capacités, un stage d'une semaine aux Etats-Unis, à l'Institut International de Recherche pour le Climat et la Société (IRI) nous a permis d'acquérir des compétences dans le traitement des données statistiques ainsi que dans l'extraction des données climatiques satellitaires à partir de la *Data Library*.

### **III-1- Matériel et données utilisées**

#### **III-1-1- Données météorologiques**

Le présent travail s'appuie sur une importante base de données (pluie, température) couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Les données de la SODEXAM obtenues sont disponibles au pas de temps mensuel et l'étendue de leur série est de 43 ans (janvier 1972-décembre 2014), avec 10 années de données manquantes (2005-2014). Nous avons donc extrait les données météorologiques à partir de la *Data Library* et vérifié la similarité avec les données météorologiques de la SODEXAM. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre ces deux séries. Les données météorologiques de la base de données de IRI ont donc été finalement utilisées dans la réalisation de ces travaux. L'Institut International de Recherche pour le Climat et la Société (IRI) a pour rôle de comprendre, gérer et anticiper les impacts du climat dans divers domaines. Au niveau du climat et des maladies à transmission vectorielle, IRI permet :

- améliorer la compréhension des mécanismes de l'impact des climats sur la transmission des maladies ;
- estimer les populations à risque (cartographie des risques) ;
- estimer la saisonnalité des maladies et le calendrier des interventions.

L'essentiel des données dont dispose IRI est stocké dans sa bibliothèque dénommée « *Data Library* ». En effet, la *Data Library* est un bien public qui permet l'accès aux principales données climatiques et environnementales (température, précipitation, végétation) de tous les pays du monde. [Iri.columbia.edu](http://Iri.columbia.edu) est le site d'accès à la *Data Library*. Ces données climatiques proviennent des données satellitaires et sont calibrées à partir des mesures *in situ* des différents pays avant d'être mises sur le site. Les différentes données de précipitations et de température que nous avons extraites ont servi à l'étude de la dynamique temporelle du climat ainsi qu'à leur influence sur la transmission du paludisme. La procédure d'extraction des données est mise en annexes. (Annexes 7)

### **III-1-2- Données de l'indice de végétation (NDVI)**

L'indice de végétation par différence normalisé, appelé aussi NDVI est construit à partir des canaux rouges (R) et proches infra rouge (PIR). L'indice de végétation normalisé met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge.  $NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R}$ . Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses. Ces données extraites à partir de la *Data Library* ont servi à l'étude de la variation interannuelle et intra-annuelle de la couverture végétale. Elles ont permis également d'établir la relation avec les données du paludisme.

### **III-1-3- Données épidémiologiques**

La collecte des données épidémiologiques a concerné aussi bien les données des structures sanitaires publiques que les structures sanitaires privées ceci, dans le but de collecter le maximum de cas de paludisme et de bilharzioses. Ces données ont servi à l'étude de la variation interannuelle et intra-annuelle des cas de paludisme et de bilharzioses. Elles ont également permis d'établir un lien avec les données climatiques.

## **III-2- Méthodes**

### **III-2-1- Collecte de données des structures sanitaires publiques**

Les données cliniques historiques des structures sanitaires publiques ont été collectées à la Direction Départementale de la Santé (DDS) de Korhogo, où sont archivées toutes les données sanitaires (hebdomadaires et mensuelles) de tous les établissements publics de santé de la ville de Korhogo. Ces données ont été collectées par le chargé de la surveillance épidémiologique de la DDS et couvrent une période de 10 ans (Janvier 2005-Décembre 2014).

### **III-2-2- Collecte de données des structures sanitaires privées**

Les données des structures sanitaires privées de la ville de Korhogo ont été collectées par des infirmiers/infirmières recrutés localement et formés à la technique de collecte. Les registres de

consultations de 11 structures sanitaires privées ont été dépouillés par une équipe de 7 agents de santé (infirmiers/infirmières). Les données cliniques collectées étaient le nombre de cas de paludisme et de bilharzioses. Les cas de paludisme collectés prennent en compte les malades atteints de différents symptômes (fièvre, de maux de tête, maux de dos, refroidissement, sueurs, nausées et vomissements) (Millet, 2011) diagnostiqués par un personnel de santé comme cas de paludisme probable ou avec confirmation du diagnostic en laboratoire après examen sanguin ou tout autre test de diagnostic destiné à rechercher les parasites du paludisme. En ce qui concerne la schistosomiase, l'hématurie a constitué le signe clinique typique de la bilharziose urinaire chez les malades. L'aspect clinique de la schistosomiase intestinale est non spécifique. Douleurs abdominales, diarrhée et sang dans les selles constituent les symptômes éventuels (Laomrani *et al.*, 1999). Ces données ont été collectées selon différentes tranches d'âge (6-14 ans et plus de 14 ans pour la schistosomiase ; moins de 5 ans et plus de 5 ans pour le paludisme) et couvrent une période de 10 ans (Janvier 2005-Décembre 2014).

### **III-2-3- Traitement des données sanitaires manquantes**

Les données sanitaires étaient disponibles sur la période 2005-2014 avec des données manquantes dans la série. Ces dernières ont été reconstituées avant leur analyse. La reconstitution s'est faite en calculant la moyenne des cas enregistrés en saison sèche et en saison pluvieuse pour chaque année. Lorsqu'une donnée manquante est constatée en saison sèche (Novembre à Mars), elle est automatiquement remplacée par la moyenne annuelle des données disponibles en saison sèche. On répète la même opération lorsqu'on veut remplacer une donnée manquante en saison pluvieuse (Mai à Octobre).

### **III-2-4- Description de l'évolution des paramètres météorologiques**

Les températures et précipitations ont été analysées à partir de statistiques descriptives (calcul des moyennes). Cette analyse a été effectuée à partir des données de IRI et a permis de comprendre la variation saisonnière et interannuelle de ces deux variables. Les indices de pluies et de températures ont été calculés. L'avantage de cette technique est de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires au niveau des pluies ainsi que des périodes de fortes chaleurs et faibles chaleurs au niveau de la température. Un indice de pluie et de température intra-annuelle a été déterminé. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation 1 (Servat *et al.*, 1998) :

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (Eq. 1)$$

Avec :

$I_i$  : valeur de l'indice ;

$X_i$  : valeur de la pluviométrie/température annuelle de l'année  $i$  ;

$\bar{X}$  : valeur moyenne intra-annuelle de la pluviométrie/température sur la période étudiée ;

$S$  : valeur intra-annuelle de l'écart-type de la pluviométrie/température sur la période étudiée.

### III-2-5- Description de la morbidité du paludisme et des bilharzioses

L'analyse a concerné les cas de paludisme et les cas de bilharzioses. Les moyennes ont été déterminées à partir des différentes données de morbidité pour montrer l'évolution interannuelle et intra-annuelle des cas de paludisme et de bilharzioses. Aussi, le taux d'incidence interannuelle et intra-annuelle a-t-il été calculé. L'incidence est une mesure du risque pour un individu de contracter une pathologie pendant une période donnée. Le taux d'incidence calculé dans cette étude est le nombre de cas observés dans une population donnée, divisé par la taille de cette population.

$$\text{taux d'incidence} = \frac{\text{nombre de cas}}{\text{population}} \quad (Eq. 2)$$

### III-2-6- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission du paludisme et des bilharzioses

Les bases de données épidémiologiques et climatiques ont été saisies sur Microsoft office-Excel 2013, tandis que le logiciel Stata 12.1 nous a permis de faire les traitements statistiques. Les différentes analyses statistiques ont consisté au croisement des fichiers « morbidité » (variables dépendantes) et « météorologique » (variables indépendantes) pour étudier la corrélation entre ces différentes variables. Les analyses ont été effectuées par une régression linéaire simple et les données ont été analysées comme une série continue. La régression linéaire se classe parmi les méthodes d'analyses multivariées qui traitent des données quantitatives. L'objectif principal est de rechercher une liaison linéaire entre une variable  $Y$  quantitatives et une ou plusieurs variables  $X$  également quantitatives. Cela introduit l'hypothèse que les valeurs de  $Y$  dépendent de celles de  $X$ , c'est-à-dire postulent que la connaissance des valeurs de  $X$  permet de prévoir les valeurs de  $Y$ . Il s'agit donc d'un modèle de prévision.

$$Y = aX + b \quad (Eq. 3)$$

Où :

Y : valeur de la variable dépendante (variables sanitaires);

X : valeur de la variable indépendante (variables climatiques);

a : constante ;

b : coefficient de régression linéaire.

Pour l'étude de la relation entre les deux types de variables, le coefficient de corrélation linéaire (r) de Pearson, montrant l'intensité et le sens de la relation a été calculé.

$$r = \frac{1/N \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)} \quad (Eq. 4)$$

Où :

r : coefficient de corrélation ;

N : nombre total d'individus ;

$x_i$  et  $y_i$  : valeurs des séries ;

$\bar{x}$  et  $\bar{y}$  : moyennes des variables ;

$\sigma(x)$  et  $\sigma(y)$  : écarts-types.

Les coefficients de corrélation ont été mesurés entre chacun des deux paramètres météorologiques et le nombre de cas attribués au paludisme et aux bilharzioses mois par mois. Un décalage de 0 correspondait à coupler une variable météorologique d'un mois donné avec le nombre de cas le même mois ; un décalage de + 1 correspond à coupler une variable météorologique d'un mois donné avec le nombre de cas survenus le mois suivant ; un décalage de + 2 correspond à coupler une variable météorologique d'un mois donné avec le nombre de cas survenus deux mois plus tard, etc. Il existe une relation entre le nombre d'observation (variables) et la valeur limite pour laquelle il existe une corrélation. La significativité du coefficient de corrélation (fixée au seuil de 0,05) est donnée par la table du coefficient de corrélation de Fisher et Yates, (1963). Celle-ci indique la probabilité  $\alpha$  pour que le coefficient de corrélation égale ou dépasse, en valeur absolue, une valeur donnée  $r_\alpha$ , en fonction du nombre d'observations. Dans le cadre de cette étude, nous avons plus de 100 variables et cela correspond à un coefficient de corrélation minimum de 0,1946 pour une probabilité de 0,05.

Aussi, le coefficient de détermination ( $R^2$ ) a-t-il été calculé. Il varie entre 0 et 1 et mesure la proportion de variation totale de Y autour de la moyenne expliquée par la régression. Plus le coefficient de détermination se rapproche de la valeur 1, meilleure est l'adéquation du modèle

aux données. Un coefficient de détermination faible signifie que le modèle a un faible pouvoir explicatif. Le coefficient de détermination représente le carré du coefficient de corrélation linéaire dans le cas de la régression linéaire simple.

### **Conclusion partielle**

Différentes variables dépendantes et indépendantes ont été analysées dans le cadre de cette étude. Les coefficients de corrélation et les valeurs de p sont utilisés pour voir le lien et l'intensité de signification entre ces variables.



**TROISIEME PARTIE :**  
**RESULTATS ET DISCUSSION**

## CHAPITRE IV : EVOLUTION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES

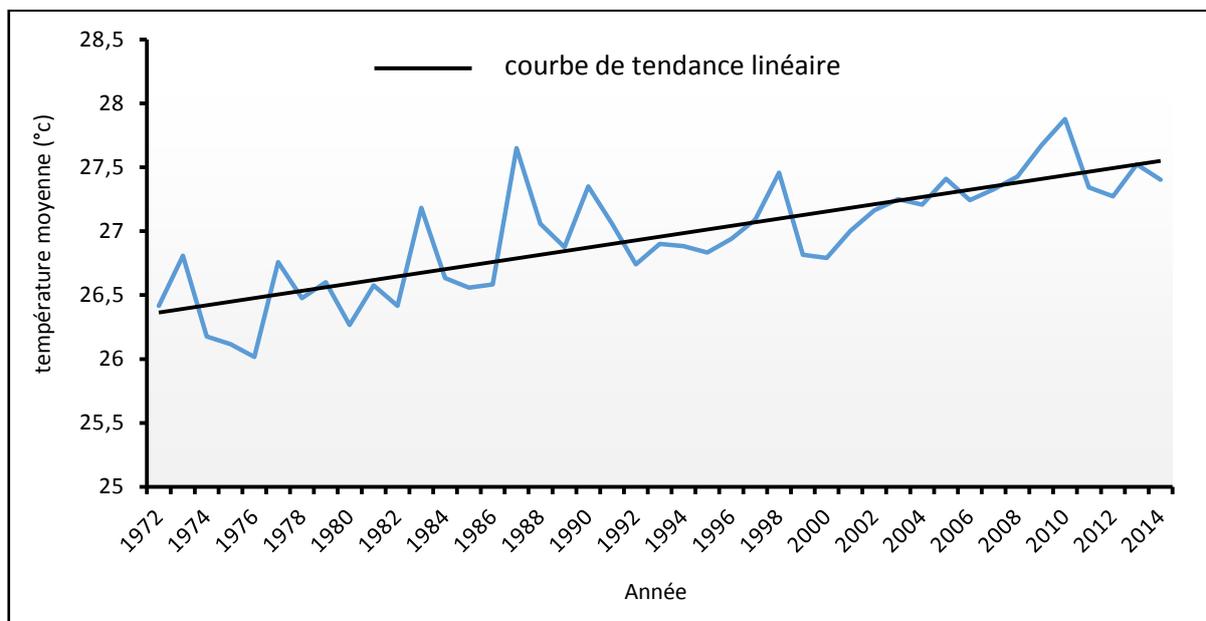
### IV-1- Variation de la température

Les valeurs moyennes de la température sur la période 1972-2014 consignées dans le tableau I permettent de suivre l'évolution moyenne du régime thermique au niveau de la ville de Korhogo.

**Tableau I** : Moyenne mensuelle de la température de la ville de Korhogo de 1972 à 2014

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	moy	Ecartype
T (°C)	26,8	29,2	29,7	28,9	27,8	26,2	25,2	24,9	25,1	26,2	27	26,5	27	1,63

Les températures moyennes mensuelles de la ville de Korhogo varient entre 24,9°C (août) et 29,7°C (mars). La variation interannuelle de la température montre que celle-ci connaît une hausse régulière sur la période 1972-2014. La température a varié de 26,4 à 27,4°C entre 1972 et 2014, soit une élévation de 1 °C sur 43 ans. Des valeurs supérieures à la moyenne interannuelle (26,9 °C) ont été enregistrées à partir de 1983. Cette tendance a été accentuée à partir des années 1987 avec des températures supérieures à 27°C en moyenne. De 1972 à 2014, la température moyenne annuelle la plus élevée était enregistrée en 2010 (27,9°C) et la plus basse était enregistrée en 1976 (26°C) (Figure 6).



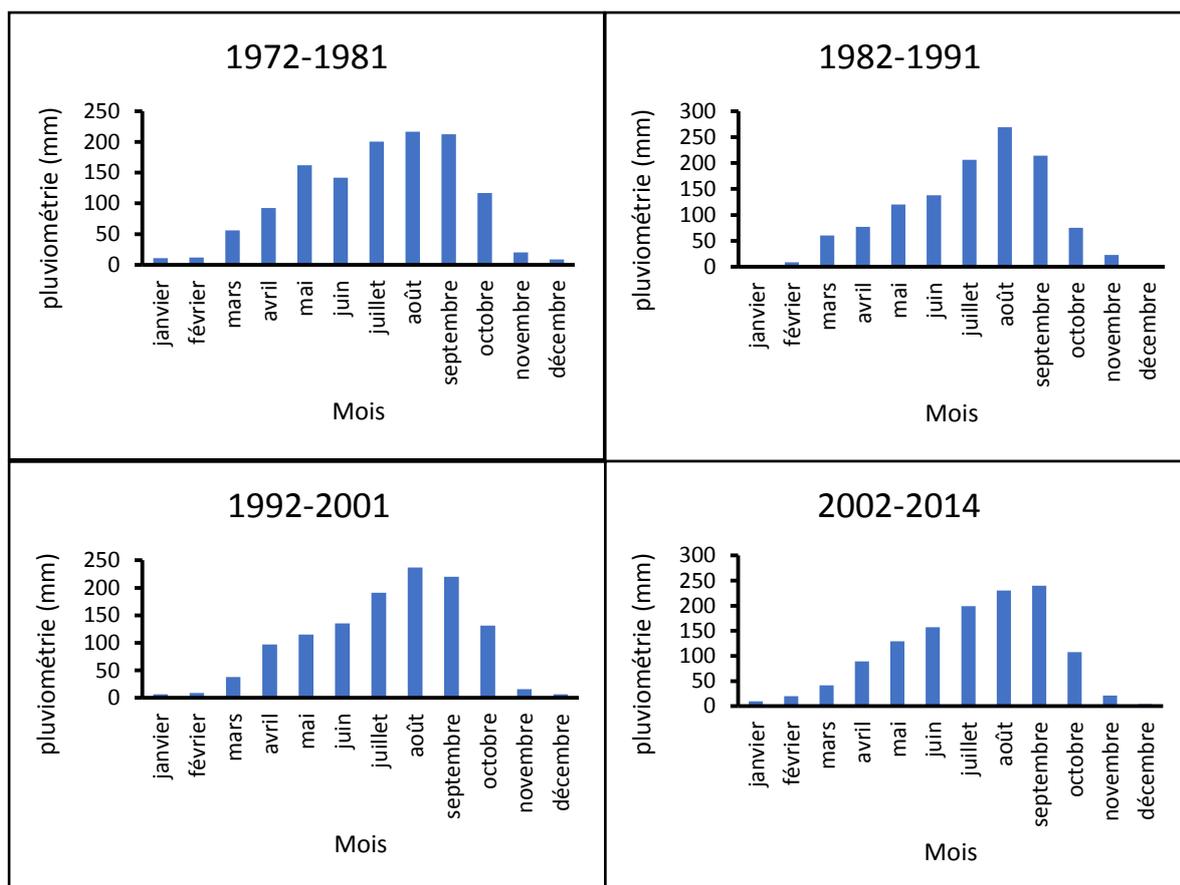
**Figure 6** : Variation interannuelle de la température moyenne de Korhogo, de 1972 à 2014

#### **IV-2- Variation des précipitations**

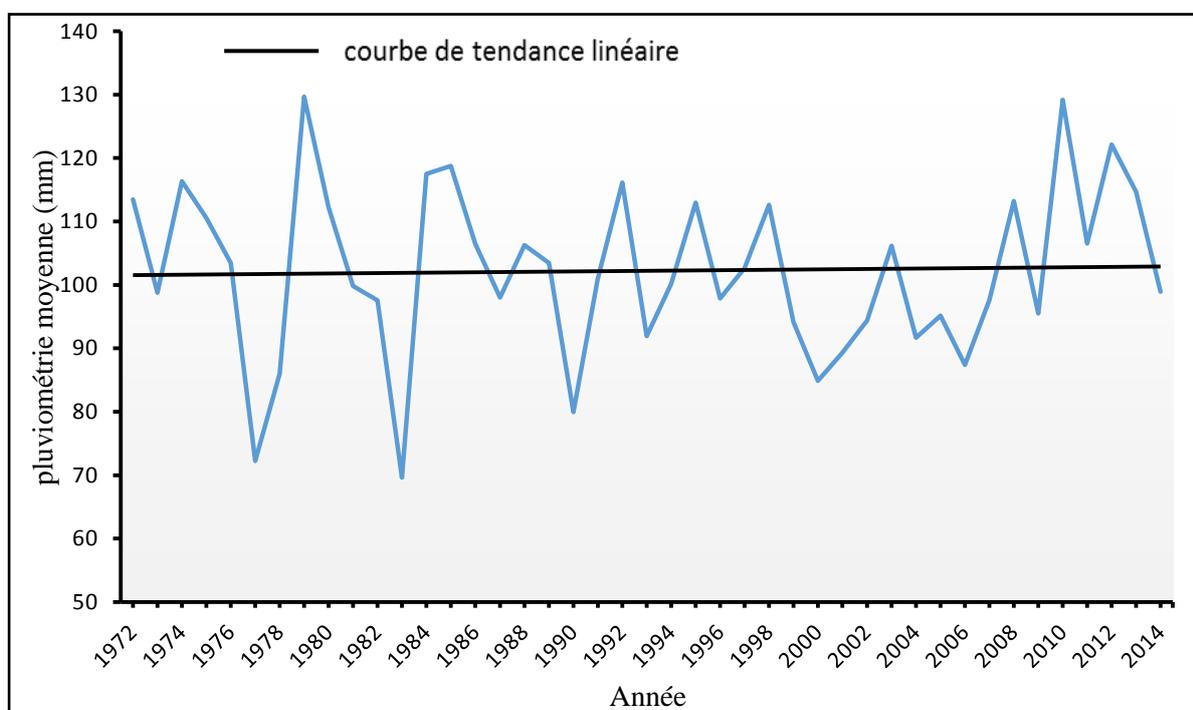
Les relevés de la pluviométrie moyenne mensuelle sur la période 1972-2014 sont consignés dans le tableau II. Les valeurs moyennes des précipitations de la ville de Korhogo varient respectivement entre 8,93 mm (décembre) et 216,5 mm (août), 1,42 mm (décembre) et 269,4 mm (août), et entre 6,46 mm (décembre) et 236,75 mm (août) pour la première, deuxième et troisième décennie. La période de 2002 à 2014 observe quant à elle une variation entre 3,86 mm et 239,68 mm respectivement pour les mois de décembre et septembre. Les trois premières décennies sont donc marquées par des pics en août (216,5 mm ; 269,42 mm ; 236,73 mm) tandis que la période 2002-2014 présente son maximum de pluie en septembre, soit 239,68 mm de pluie. On constate une variation saisonnière du régime des précipitations (Figure 7). Les variations interannuelles de la pluviométrie sur la période 1972-2014 montrent que la pluviométrie la plus élevée était enregistrée en 1979 (129,7 mm). La plus basse était enregistrée en 1983 (69,6 mm). Durant ces 43 années, les précipitations ont énormément variées d'une année à l'autre et la courbe de tendance montre une augmentation de la pluviométrie d'environ 15 mm entre 1972 et 2014 (Figure 8).

**Tableau II : Moyenne mensuelle de la pluviométrie de Korhogo de 1972 à 2014**

<b>Année</b>	<b>Jan</b>	<b>Fév</b>	<b>Mar</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Jui</b>	<b>Aoû</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Déc</b>	<b>Moy</b>	<b>Ecart-type</b>
1972-1981	10,73	12,04	55,93	92,63	162,26	141,97	200,70	216,50	212,42	116,73	20,11	8,93	104,25	82,26
1982-1991	3,56	09,00	60,56	77,30	120,21	138,21	206,60	269,40	214,13	75,43	23,00	1,42	99,87	90,94
1992-2001	6,46	9,06	37,95	97,11	115,36	135,55	190,90	236,75	220,02	131,53	16,00	6,64	100,27	85,55
2002-2014	9,67	20,03	41,64	89,39	129,40	156,99	199,20	230,13	239,68	107,53	21,00	3,86	104,04	87,29



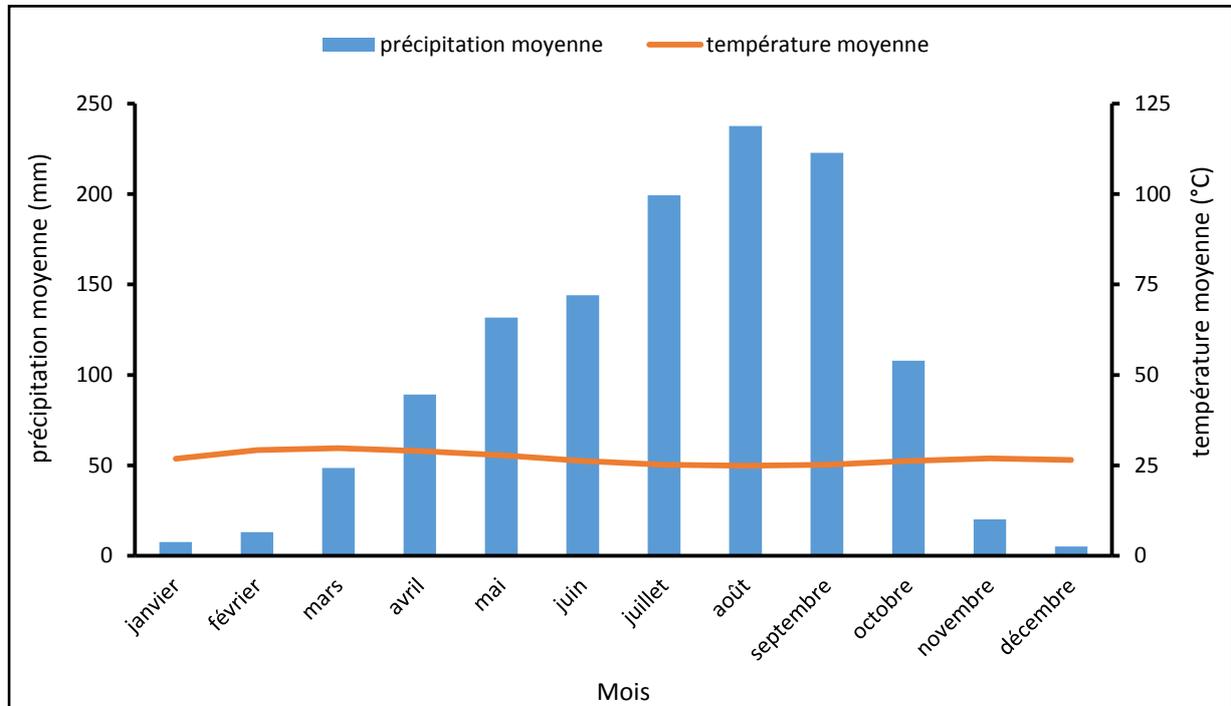
**Figure 7 :** Variation intra-annuelle de la pluviométrie moyenne à Korhogo, de 1972 à 2014



**Figure 8 :** Variation interannuelle de la pluviométrie moyenne à Korhogo, de 1972 à 2014

### IV-3- Relation entre température et précipitations

Le diagramme ombrothermique (Figure 9), sur la période 1972-2014 permet d'observer, en général, de faibles valeurs de température pendant les mois de fortes pluviométries (25,9°C en moyenne) et inversement pendant les mois de faibles pluviométries (28,01°C en moyenne).

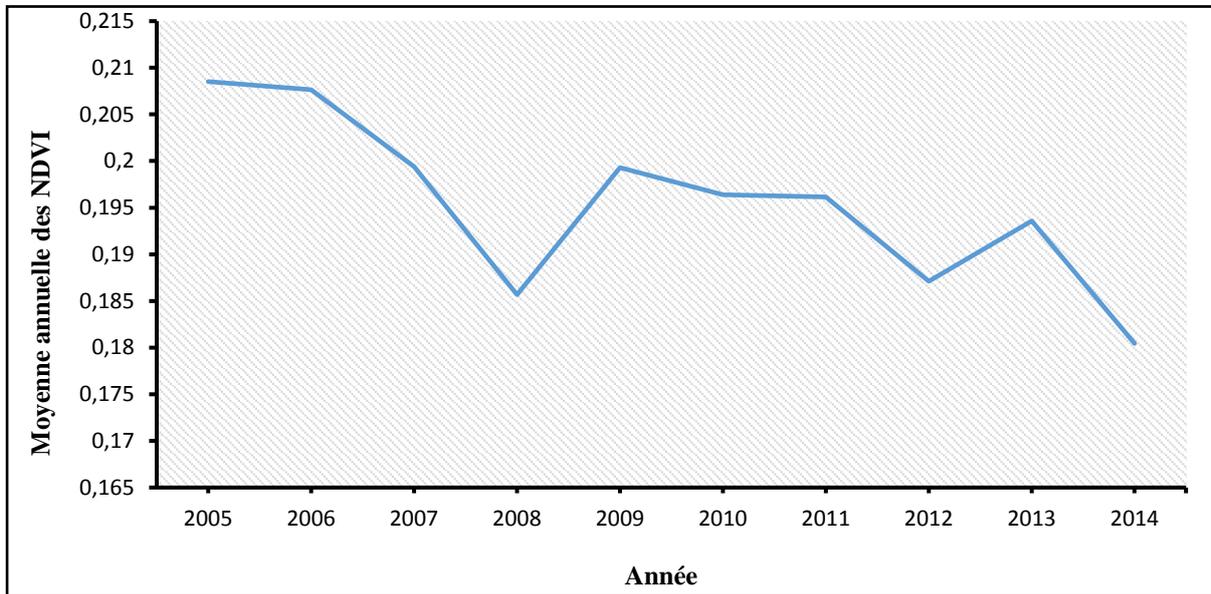


**Figure 9** : Diagramme ombrothermique de la ville de Korhogo, de 1972 à 2014

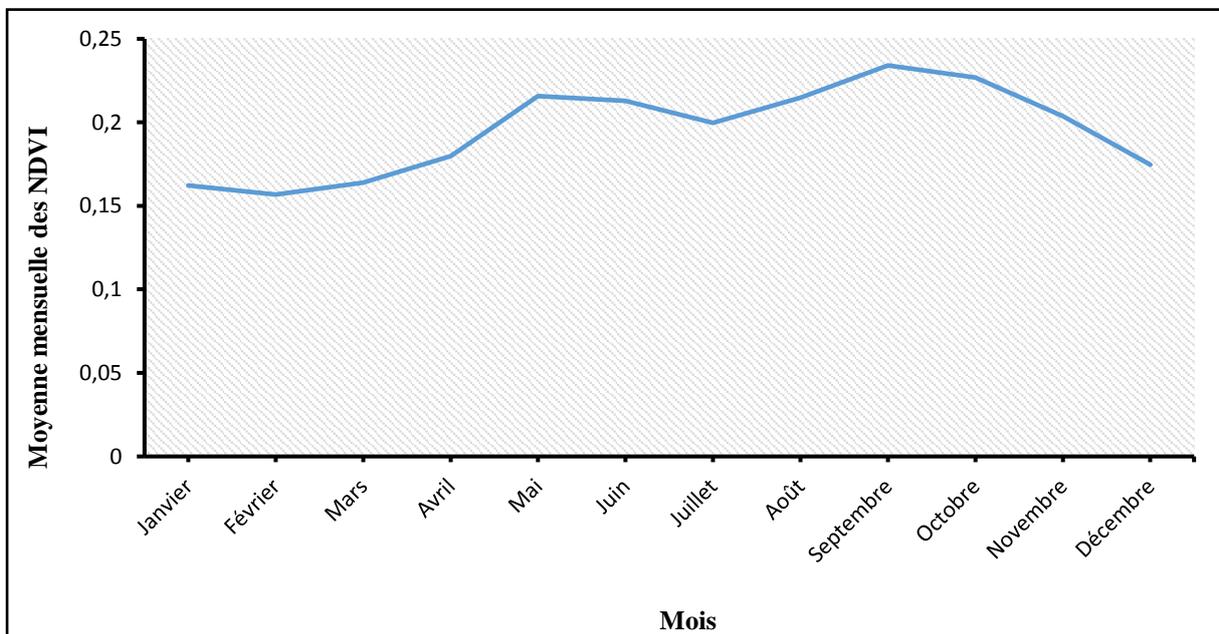
### IV-4- Variation de l'indice de végétation (NDVI)

Les valeurs de l'indice de végétation (NDVI) enregistrées de 2005 à 2014 varient entre 0,18 et 0,21. La variation interannuelle du NDVI montre que celui-ci connaît une diminution au fil des années. La valeur la plus faible a été enregistrée en 2014 (0,18) tandis que la valeur la plus élevée a été enregistrée en 2005 (0,21). Des valeurs inférieures à la moyenne annuelle des 10 dernières années (0,195) ont été enregistrées en 2008, 2012 et 2014. Cela traduit une baisse de la couverture végétale à ces périodes. Ceci pourrait expliquer les faibles cas de paludisme et bilharzioses enregistrés au cours de ces différentes années. Par contre, les années où les valeurs de NDVI sont supérieures à la moyenne des 10 dernières années (0,195) traduisent des abondances de la couverture végétale. La figure 10 montre l'évolution annuelle de l'indice de végétation de la ville de Korhogo. Au niveau intra-annuel, les valeurs des indices de végétation varient entre 0,16 (janvier) et 0,17 (décembre) (figure 11). La valeur la plus faible a été enregistrée en janvier (0,16) tandis que la plus élevée était enregistrée en septembre (0,23). De

façon générale, on remarque que les mois de novembre à avril correspondant à la saison sèche enregistrent les valeurs de NDVI les plus faibles. Contrairement à cela, les mois de mai à octobre (saison pluvieuse) enregistrent les valeurs les plus élevées.



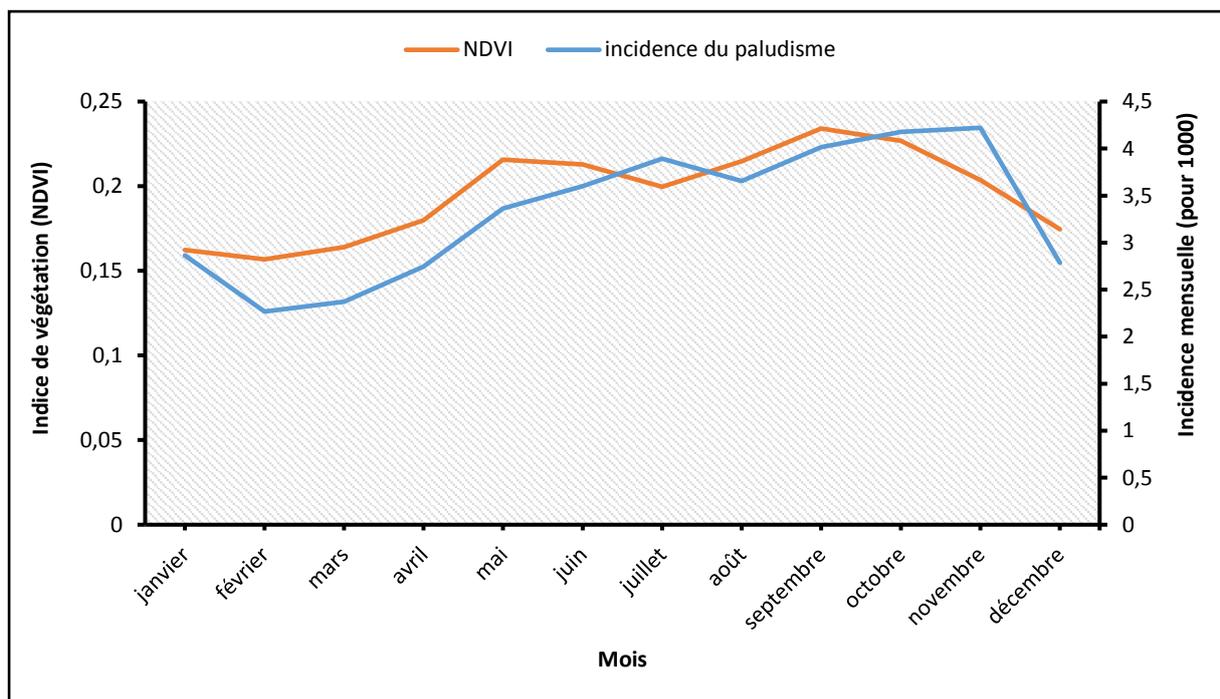
**Figure 10 :** Evolution annuelle de l'indice de végétation de la ville, de Korhogo de 2005 à 2014



**Figure 11 :** Evolution mensuelle de l'indice de végétation de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014

#### IV-5- Relation entre incidence mensuelle du paludisme et l'indice de végétation (NDVI)

La figure 12 montre l'évolution de l'indice de végétation et de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme. L'analyse de cette figure permet de constater que les deux variables évoluent de façon similaire et cela se traduit par le coefficient de corrélation positif ( $r = 0,88$ ). Une augmentation de l'indice de végétation entraîne également une augmentation de l'incidence du paludisme, tandis qu'une diminution du NDVI entraîne une diminution de l'incidence du paludisme.



**Figure 12 :** Evolution de l'indice de végétation et de l'incidence du paludisme, de 2005 à 2014

#### Conclusion partielle

Durant ces 43 années, les précipitations ont énormément varié d'une année à l'autre et l'on remarque une légère augmentation de la pluviométrie. Aussi, les températures ont-elles variées de 26,4°C à 27,4°C entre 1972 et 2014, soit une élévation de 1°C sur 43 ans. Cela illustre bien l'effet d'un changement du climat dans la ville de Korhogo. Le chapitre suivant présente la répartition annuelle et mensuelle des cas de paludisme et de bilharzioses à Korhogo.

## CHAPITRE V : EVOLUTION DES INDICATEURS SANITAIRES

### V-1- Evolution des incidences et des cas de paludisme

#### V-1-1- Variation interannuelle

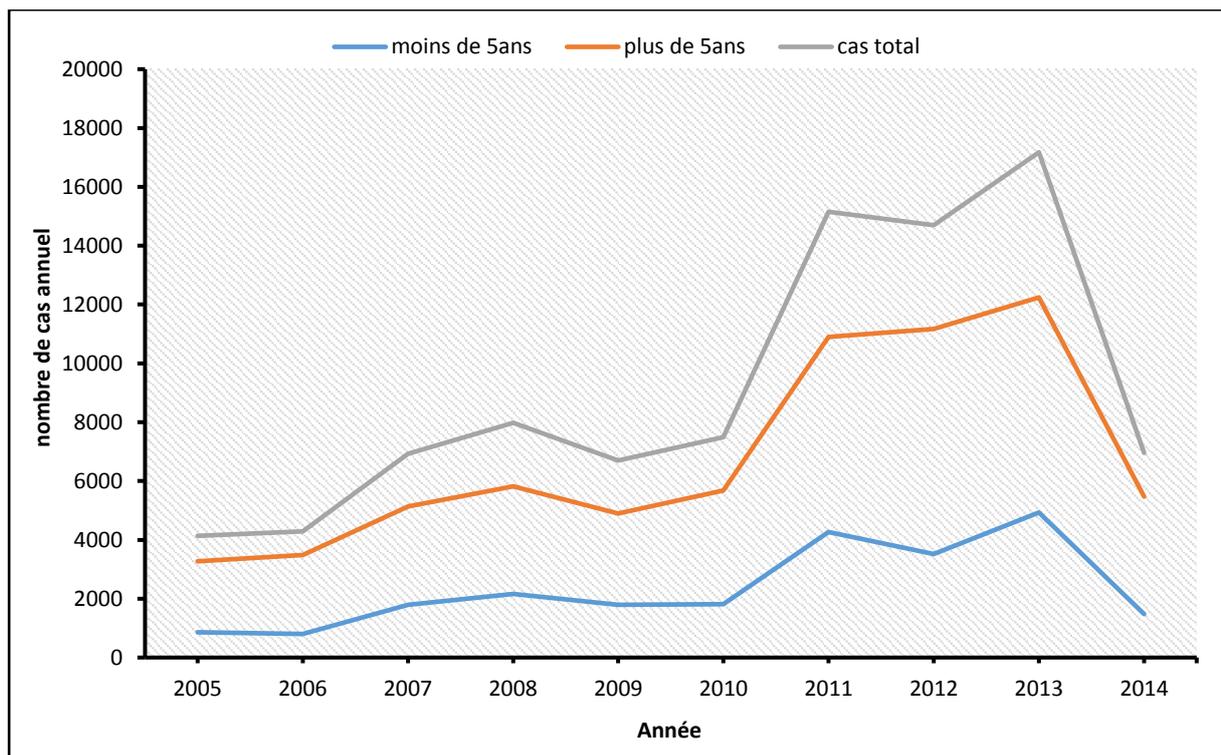
Les valeurs des cas de paludisme et des incidences annuelles sur la période 2005-2014 sont consignées dans le tableau III. Elles permettent de montrer l'évolution des cas d'une année à l'autre, tant au niveau des différentes tranches d'âges que des cas totaux.

**Tableau III** : Variation annuelle des cas et incidences de paludisme de 2005 à 2014

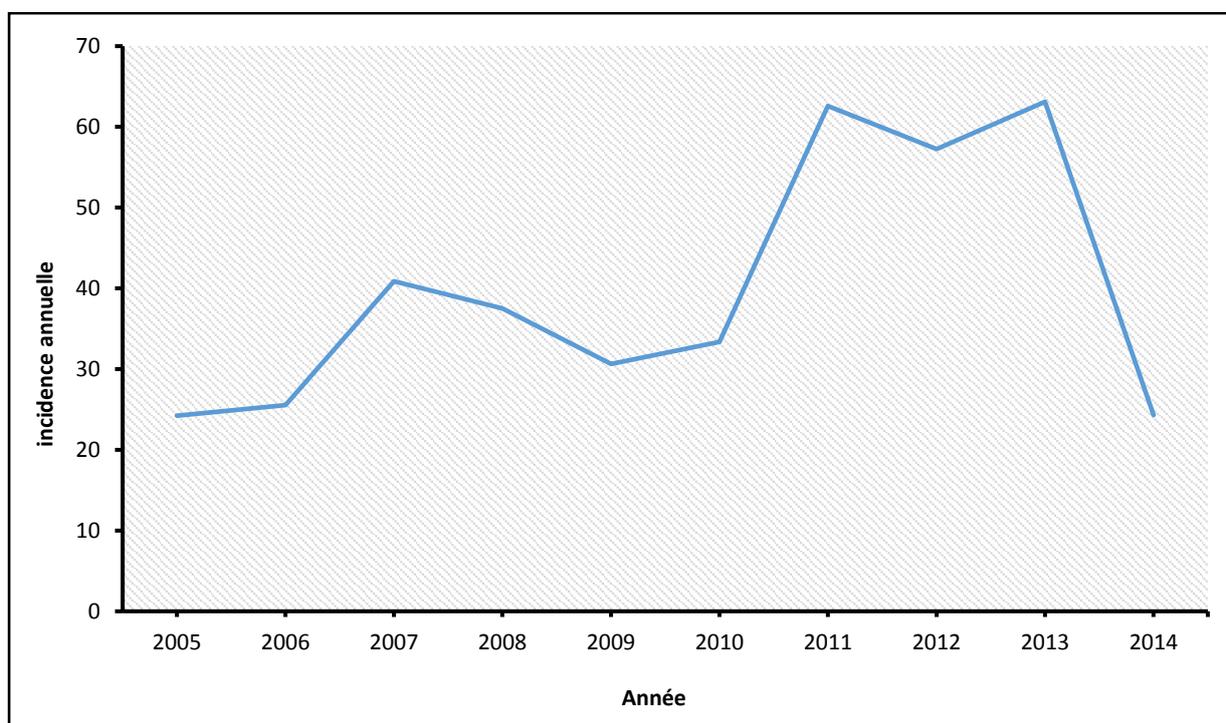
Années	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
< 5ans	864	801	1792	2156	1797	1818	4263	3523	4931	1481
>5ans	3272	3489	5137	5821	4901	5677	10893	11173	12242	5476
<b>Total</b>	4136	4290	6929	7977	6698	7495	15156	14696	17173	6957
<b>incidence pour 1000</b>	24	26	41	38	31	33	63	57	63	24

Les cas de paludisme enregistrés sur la période 2005-2014 varient entre 801 (2006) et 4931 (2013) pour les moins de 5 ans et entre 3272 (2005) et 12242 (2013) pour les plus de 5 ans. Au total, à l'échelle annuelle, la morbidité augmente au fil du temps. Ainsi, elle est la plus basse en 2005 et la plus élevée en 2013 (Figure 13). Cependant, l'augmentation interannuelle n'est pas constante. Elle a été la plus importante entre 2010 et 2011 (8%). En moyenne, chaque année 9151 personnes sont atteintes de paludisme dans la ville de Korhogo.

La figure 14 met en relief l'évolution annuelle de l'incidence palustre. L'incidence moyenne annuelle est de 40 cas pour 1000 habitants avec un maximum de 63 cas pour 1000 habitants en 2011 et 2013 et un minimum de 24 cas pour 1000 habitants en 2005 et 2014. Les années de fortes incidences représentent les années au nom desquelles la population a été la plus affectée par le paludisme tandis que les faibles incidences représentent les années où la population a été la moins affectée par la maladie.



**Figure 13 :** Evolution annuelle des cas de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014



**Figure 14 :** Incidence annuelle des cas totaux de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014

### V-1-2- Variation intra-annuelle

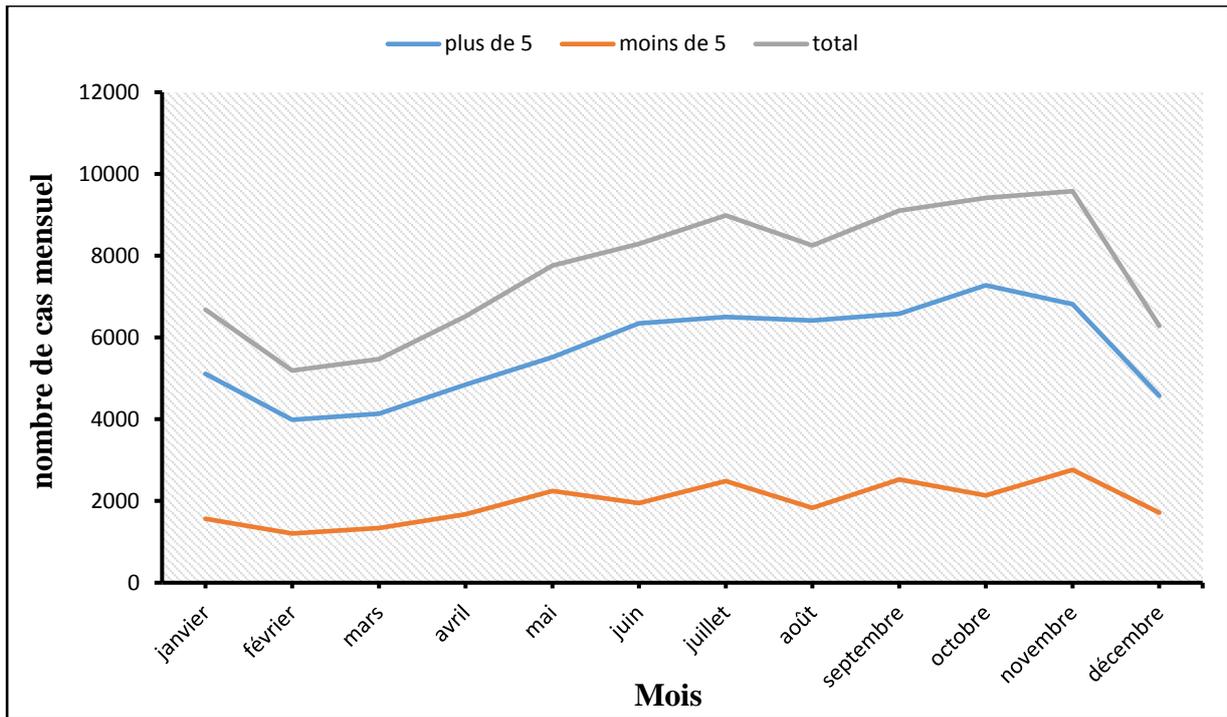
Le tableau IV présente les cas et incidences mensuelles de paludisme enregistrés sur la période 2005-2014. Ils permettent de montrer la saisonnalité du paludisme dans la ville de Korhogo.

**Tableau IV** : Variation mensuelle des cas et incidences de paludisme de 2005 à 2014

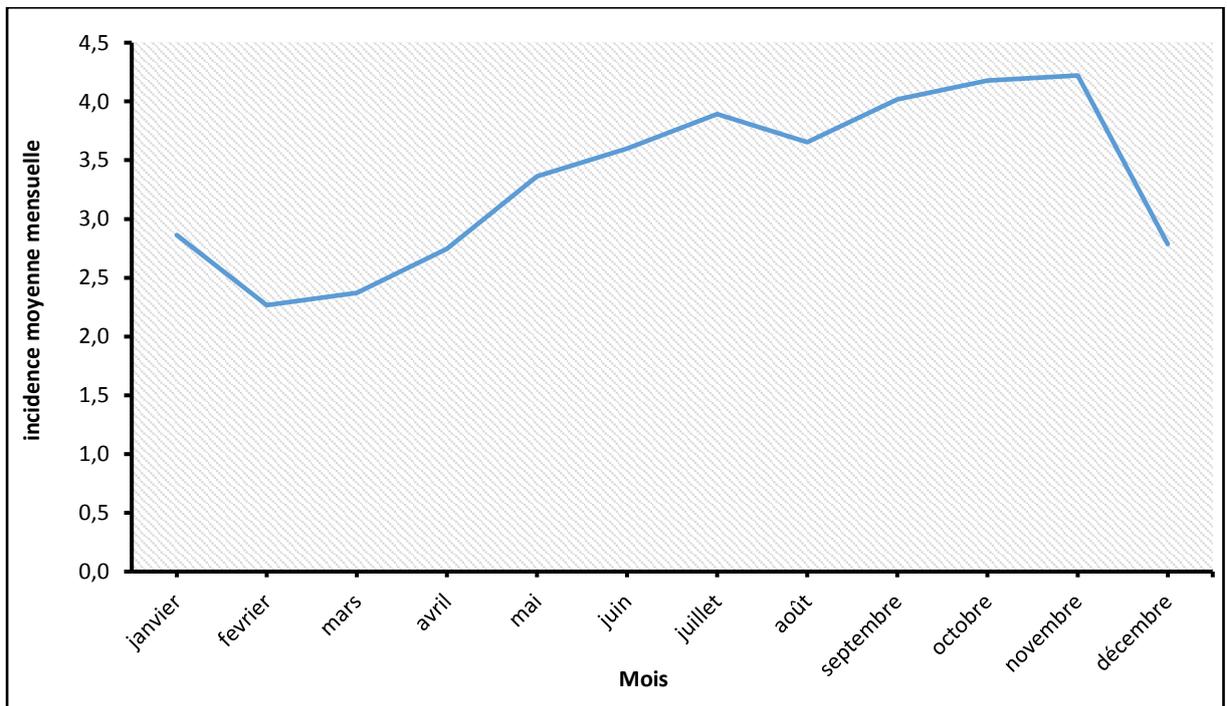
Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
< 5ans	1564	1204	1339	1673	2245	1945	2483	1833	2526	2135	2762	1717
>5ans	5115	3987	4132	4844	5515	6345	6505	6415	6578	7277	6817	4569
<b>Total</b>	6679	5191	5471	6517	7760	8290	8988	8248	9104	9412	9579	6286
<b>Incidence mensuelle</b>	2,9	2,3	2,4	2,7	3,4	3,6	3,9	3,7	4	4,2	4,2	2,8

Les cas de paludisme au niveau des moins de 5 ans varient entre 1204 (février) et 2762 (novembre) et entre 3987 (février) et 7277 (octobre). Au total, la morbidité palustre mensuelle évolue d'un mois à l'autre. La moyenne mensuelle affiche 7627 cas avec la plus faible valeur en février (5191 cas) tandis que les mois de septembre, octobre et novembre ont concentré les plus fortes morbidités avec respectivement 9104, 9412 et 9579 cas. La période de novembre à avril, correspondant à la saison sèche enregistre 39723 cas (43%) tandis que la période de pluie qui part de mai à octobre enregistre 51802 cas, soit 57% (Figure 15).

La figure 16 met en évidence l'évolution mensuelle de l'incidence palustre. En moyenne, 3 personnes sur 1 000 sont atteintes mensuellement par le paludisme, avec les plus fortes occurrences en septembre, octobre et novembre et la plus faible en février. Les incidences observées en saison sèche et pluvieuse indiquent que la population est majoritairement atteinte pendant la saison pluvieuse avec une moyenne de 4 cas pour mille habitants, contre une moyenne de 3 cas pour 1 000 habitants en saison sèche.



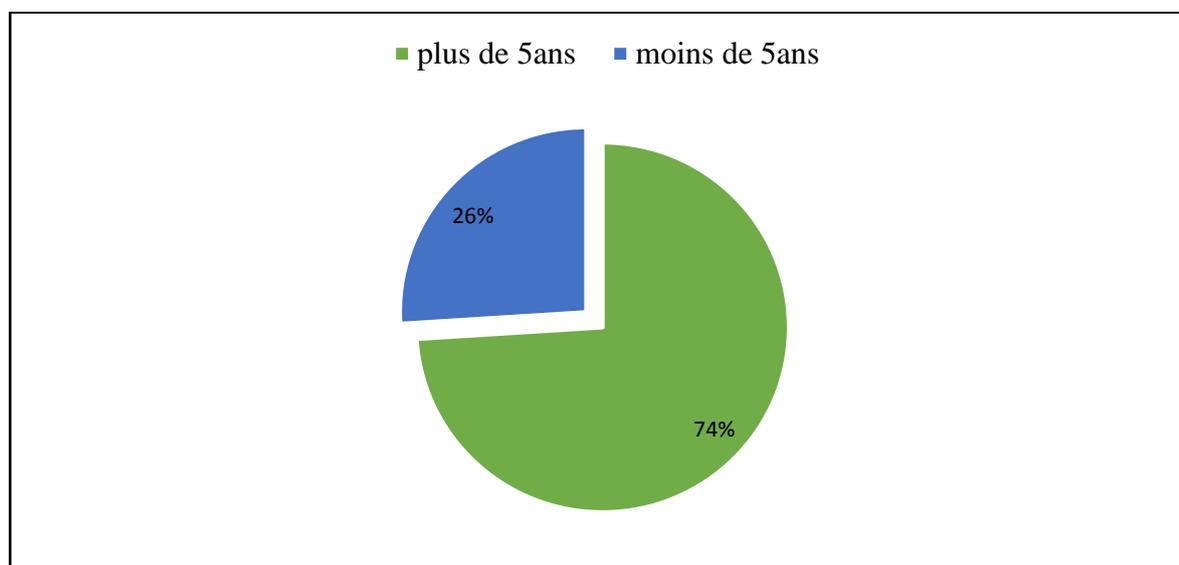
**Figure 15 :** Evolution mensuelle des cas de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014



**Figure 16 :** Incidence moyenne mensuelle des cas totaux de paludisme de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014

## V-2- Répartition des cas en fonction de l'âge

La figure 17 présente la répartition des cas de paludisme en fonction des différentes tranches d'âges. Celle inférieure à 5 ans représente 26% des cas cliniques enregistrés tandis que la proportion des personnes âgées de plus de 5 ans représente 74% des cas.



**Figure 17 :** Répartition des cas de paludisme en fonction de l'âge

## V-3- Evolution des incidences et des cas de bilharziose

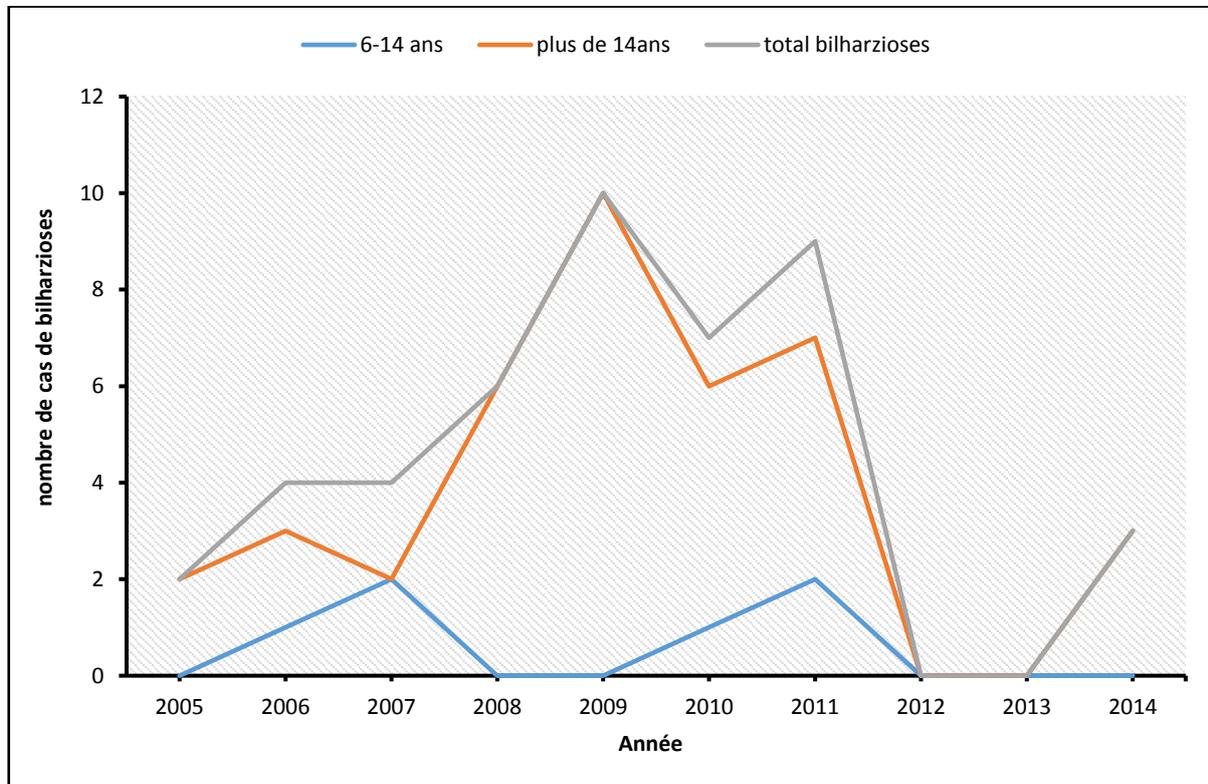
### V-3-1- Variation interannuelle

Les cas cliniques et les incidences de bilharzioses enregistrés couvrent la période 2005-2014 et sont présentés dans le tableau V. Ils permettent de mettre en évidence l'évolution interannuelle et l'incidence de la maladie sur la population.

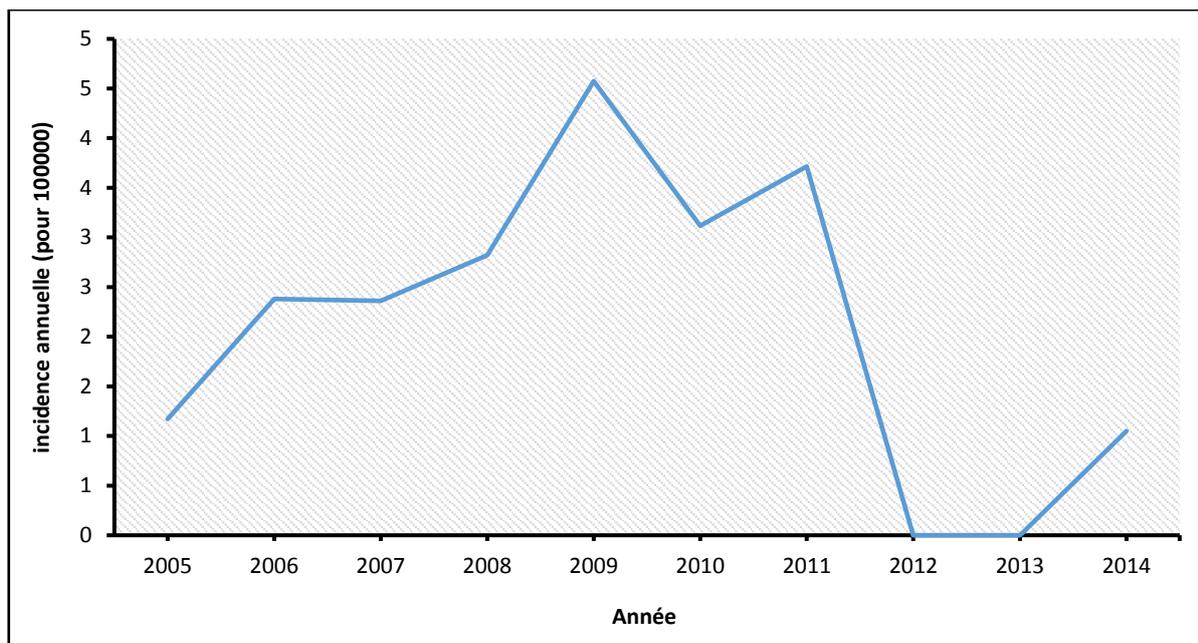
**Tableau V :** Variation annuelle des cas et incidences de bilharzioses de 2005 à 2014

Années	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
6-14ans	0	1	2	0	0	1	2	0	0	0
>14ans	2	3	2	6	10	6	7	0	0	3
<b>Total</b>	2	4	4	6	10	7	9	0	0	3
<b>Incidence (100 000)</b>	1	2	2	3	5	3	4	0	0	1

Les données cliniques montrent l'enregistrement de faibles cas de bilharzioses dans la ville de Korhogo. En effet, les cas varient entre 0 et 2 pour la tranche d'âge des 6-14 ans et entre 2 et 10 pour la tranche d'âge des plus de 14 ans. Au total, les années 2009 et 2011 enregistrent les cas les plus élevés, respectivement 10 et 9 cas. Entre 2005 et 2009, les cas évoluent de façon croissante. Cependant, à partir de 2010 on note une baisse jusqu'à atteindre la plus faible valeur (3 cas) en 2014 (figure 18). Sur la base des registres dépouillés, les années 2012 et 2013 n'enregistrent pas de cas. Les incidences annuelles calculées, nous indiquent que la population a été la plus atteinte en 2009 avec 5 cas pour 100 000 habitants. Par contre, les années 2005 et 2014 présentent les plus faibles incidences, soit 1 cas pour 100 000 habitants (figure 19). En moyenne, chaque année, 5 personnes sont atteintes de bilharzioses dans la ville de Korhogo.



**Figure 18 :** Evolution interannuelle des cas de bilharzioses de 2005 à 2014



**Figure 19 :** Incidence annuelle des cas de bilharzioses de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014

### V-3-2- Variation intra-annuelle

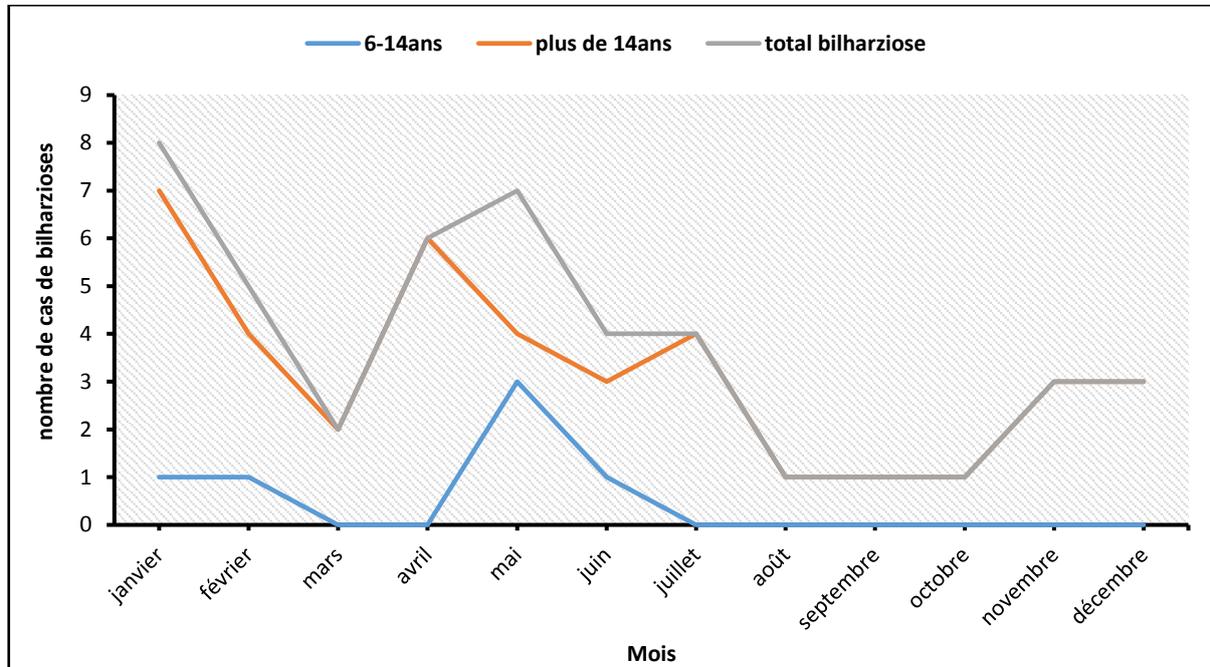
Le tableau VI présente les cas mensuels et les incidences de bilharzioses de la ville de Korhogo de 2005 à 2014. Ceci permet de faire ressortir la saisonnalité, c'est-à-dire la période de transmission favorable de la maladie.

**Tableau VI :** Variation mensuelle des cas et incidences de bilharzioses de 2005 à 2014

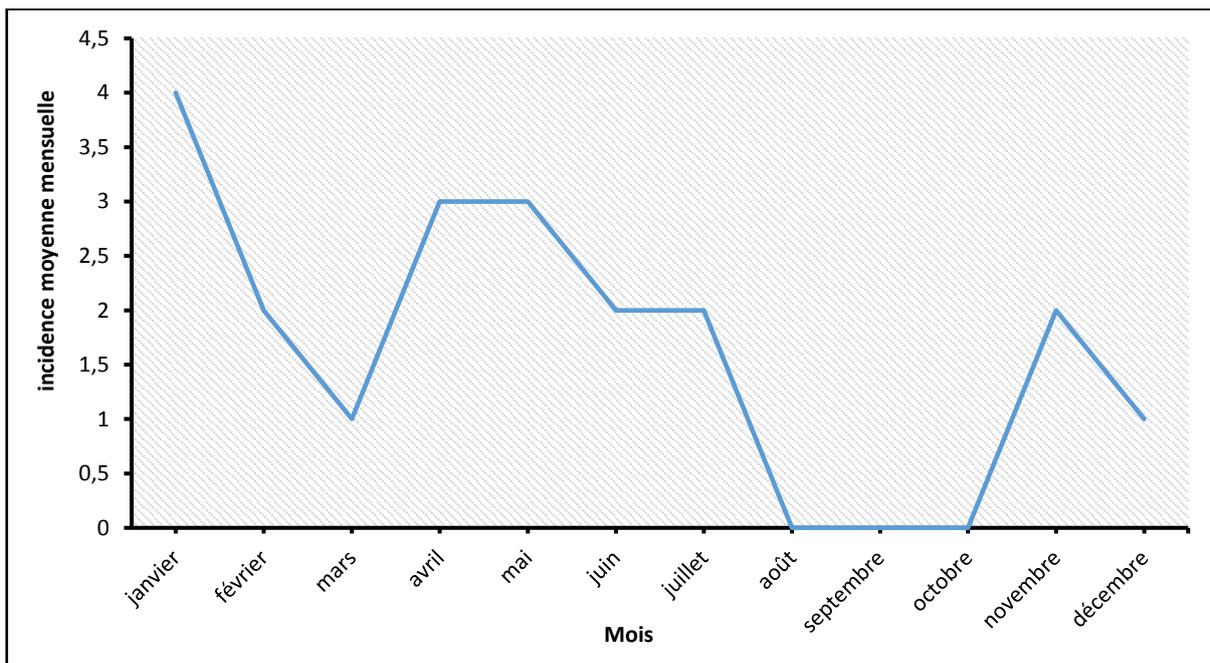
Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>6-14ans</b>	1	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0
<b>&gt;14ans</b>	7	4	2	6	4	3	4	1	1	1	3	3
<b>Total</b>	8	5	2	6	7	4	4	1	1	1	3	3
<b>Incidence mensuelle</b>	4	2	1	3	3	2	2	0	0	0	2	1

Les cas de bilharzioses varient entre 0 et 3 et entre 1 et 7, respectivement pour la tranche d'âge des 6-14 ans et des plus de 14 ans. Au total, la variation mensuelle de la morbidité des bilharzioses n'est pas constante (Figure 20). La moyenne mensuelle indique 4 cas avec les plus faibles valeurs enregistrées en août, septembre et octobre (1 cas) tandis que les plus fortes

valeurs sont observées en janvier (8 cas). Le calcul des incidences nous montre que les mois de novembre à mars, correspondants à la saison sèche enregistrent en moyenne 2 cas pour 100 000 habitants contre 1 cas pour 100 000 habitants pour la période pluvieuse qui part de mai à octobre (Figure 21).



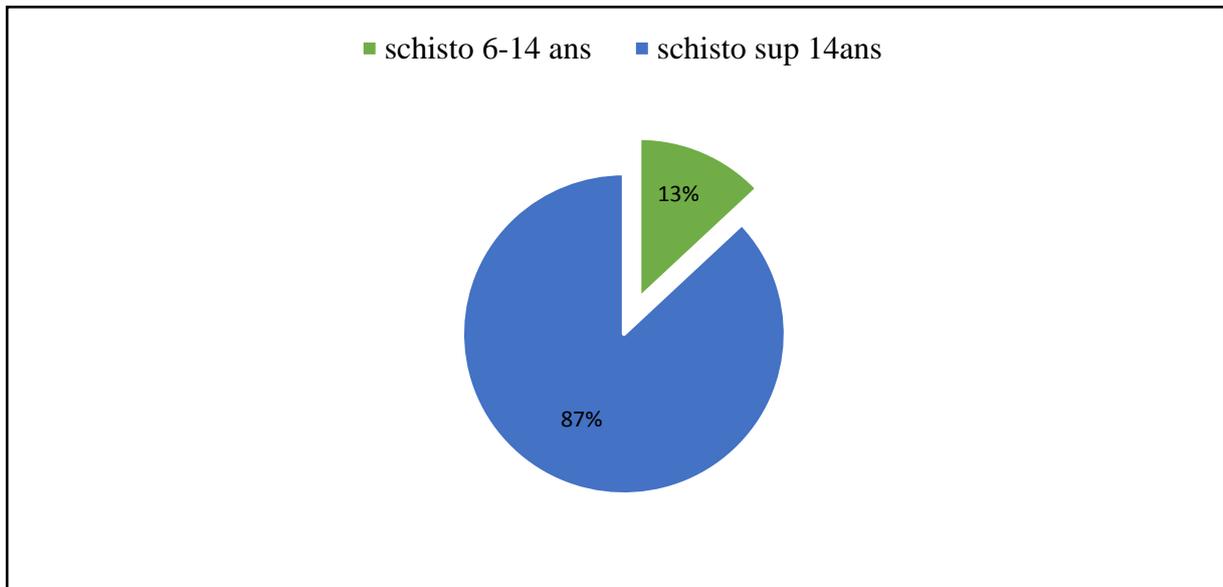
**Figure 20 :** Evolution mensuelle des cas de bilharziose de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014



**Figure 21 :** Incidence mensuelle des cas de bilharziose de la ville de Korhogo, de 2005 à 2014

#### V-4- Répartition des cas en fonction de l'âge

Les cas cliniques de bilharzioses collectés dans les structures sanitaires publiques et privées montrent que les enfants de moins de 6-14 ans représentent 13% des cas cliniques collectés tandis que la tranche d'âge de plus de 14 ans représente 87% des cas (figure 22).



**Figure 22 :** Répartition des cas de bilharzioses en fonction de l'âge

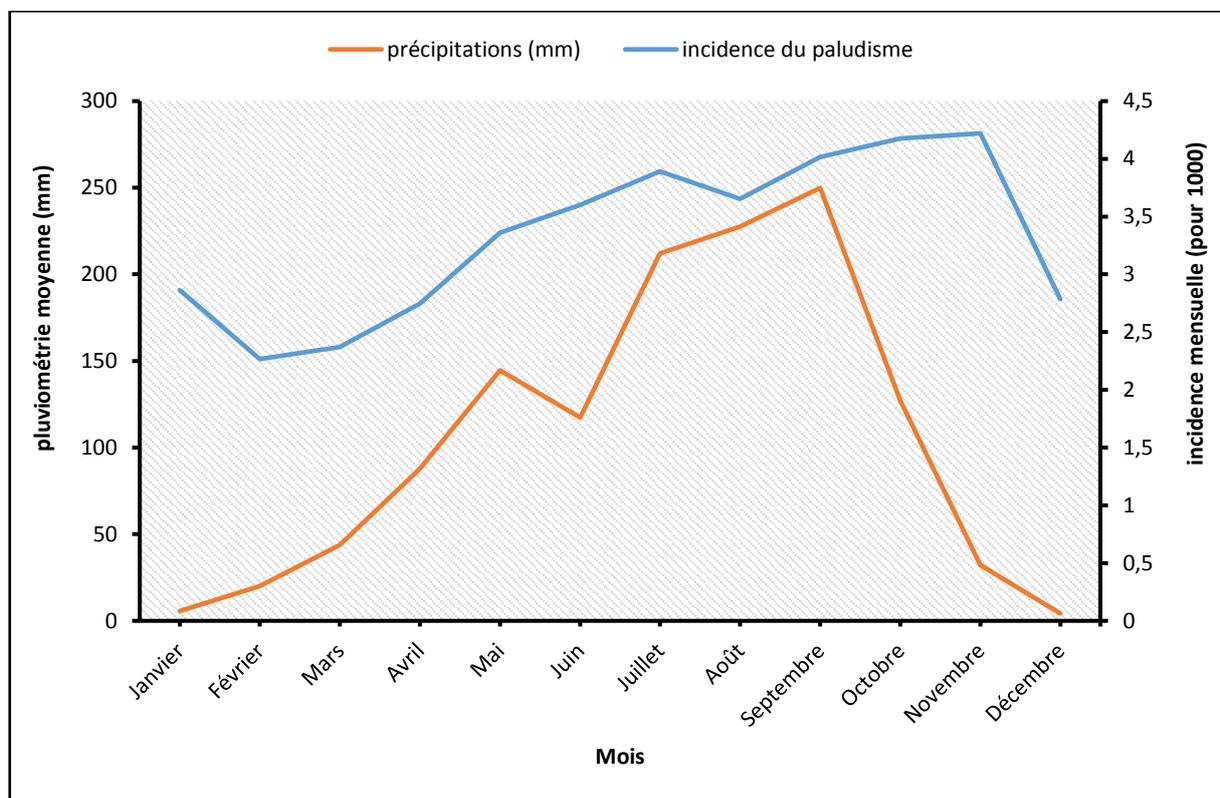
#### Conclusion partielle

Sur la période 2005-2014, les cas de paludisme ont augmenté à partir de 2011 pour atteindre leur pic en 2013. La saisonnalité du paludisme à Korhogo est marquée par une forte transmission en saison pluvieuse (mai à octobre). Au niveau des bilharzioses, les cas les plus élevés ont été enregistrés en 2009 avec une transmission favorable en saison sèche.

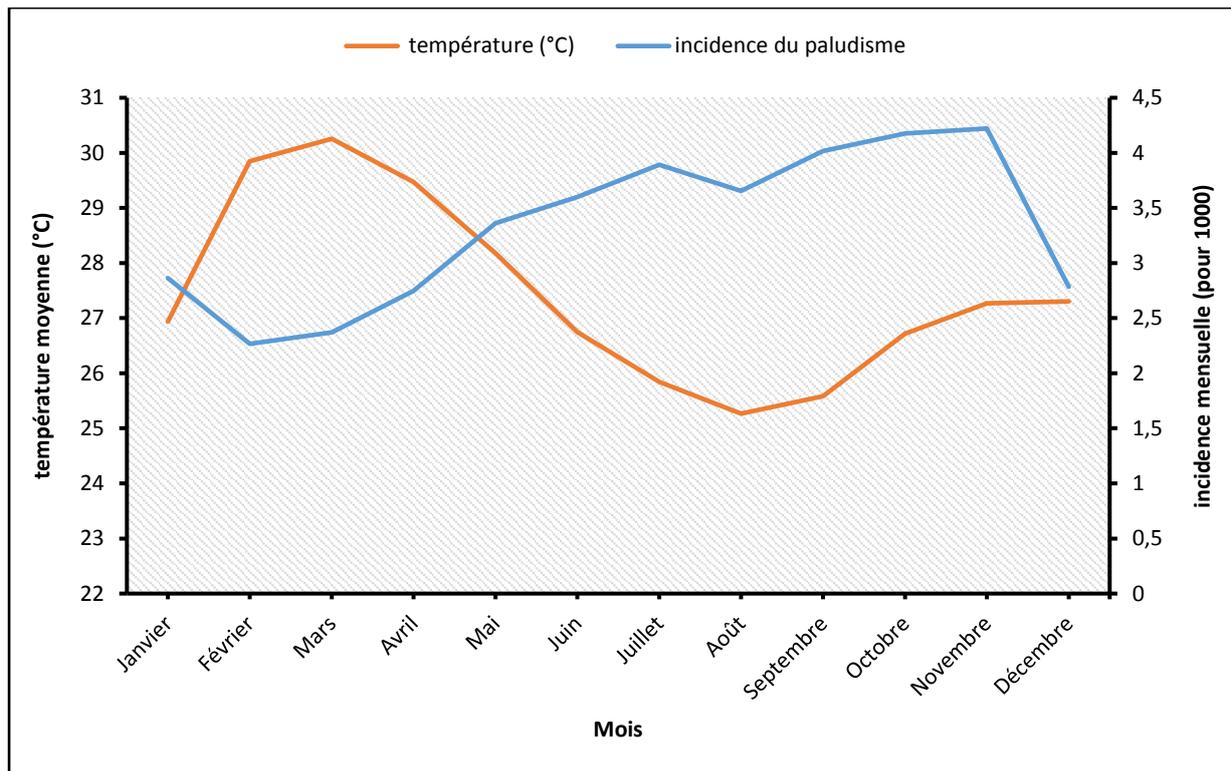
## CHAPITRE VI : RELATION ENTRE PARAMETRES METEOROLOGIQUES ET PARAMETRES SANITAIRES

### VI-1- Relation entre incidence mensuelle du paludisme et paramètres climatiques

Les figures 23 et 24 montrent respectivement l'évolution de la pluviométrie et de la température moyenne en fonction de l'incidence du paludisme. La corrélation est négative entre l'évolution du paludisme et la température ( $r = -0,78$ ). Ceci traduit le fait qu'une hausse de la température entraîne une diminution du nombre de cas de paludisme. En revanche, la corrélation est positive entre l'évolution du paludisme et la pluviométrie ( $r = 0,61$ ). Une augmentation de la pluviométrie est associée à une augmentation de l'incidence du paludisme.



**Figure 23** : Evolution de la pluviométrie moyenne mensuelle et de l'incidence du paludisme, de 2005 à 2014



**Figure 24 :** Evolution de la température moyenne mensuelle et de l'incidence du paludisme, de 2005 à 2014

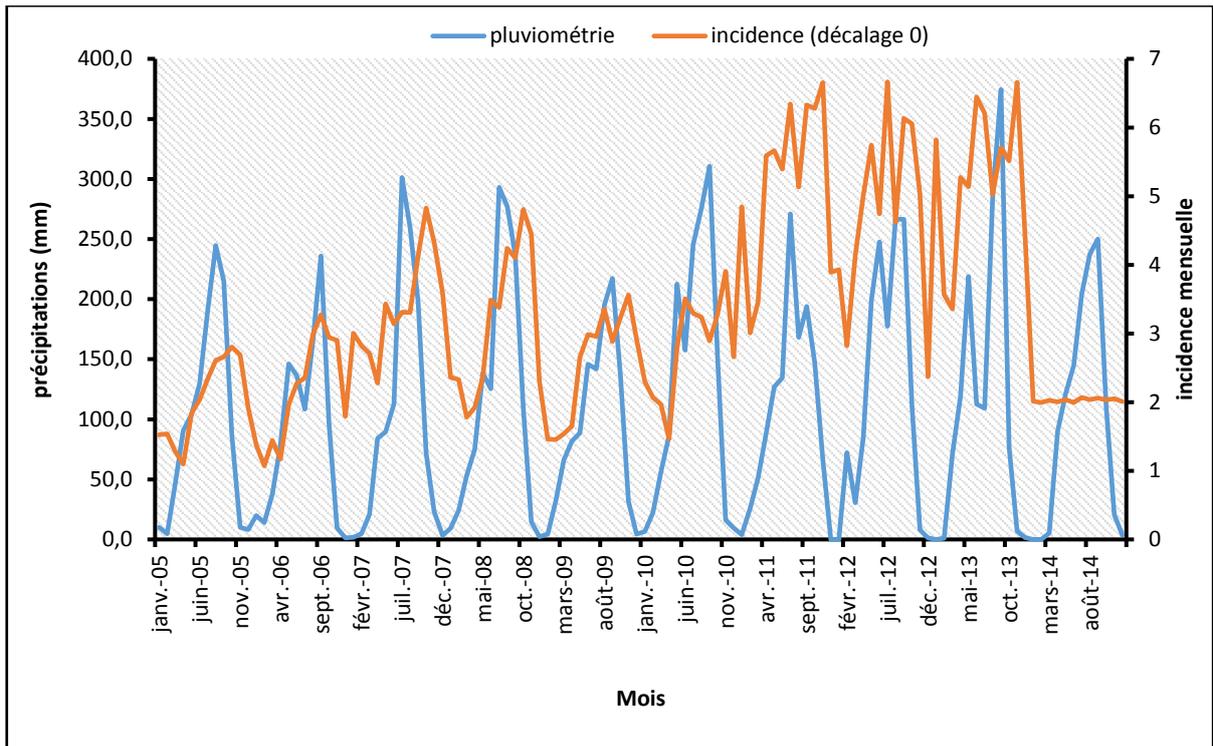
## VI-2- Paramètres météorologiques et paludisme à différents décalages

De façon générale, on remarque une augmentation de l'incidence du paludisme en saison pluvieuse. Les résultats ci-dessous établissent une relation à différents décalages de mois entre les paramètres météorologiques et les paramètres sanitaires.

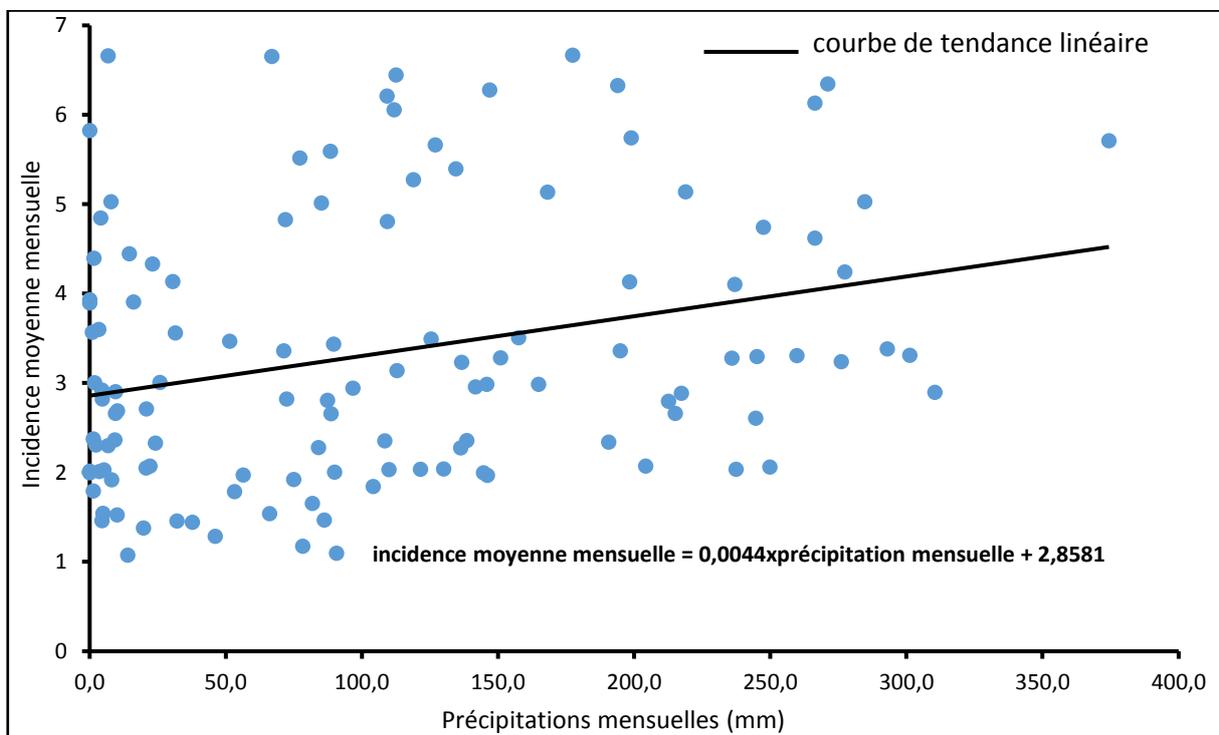
### VI-2-1- Précipitations et paludisme

#### ➤ Décalage 0

La figure 25 nous montre l'évolution des taux d'incidences du paludisme et de la pluviométrie. Le démarrage des pluies coïncide avec une augmentation progressive de l'incidence du paludisme. La figure 26 nous présente une corrélation positive et significative entre l'incidence mensuelle du paludisme et la pluviométrie du même mois ( $r = 0,30$  ;  $p = 0,002$ ). Les deux paramètres évoluent de façon similaire.



**Figure 25 :** Evolution des précipitations et de l'incidence du paludisme, au décalage 0



**Figure 26 :** Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction des précipitations mensuelles, au décalage 0

Le tableau VII présente les résultats de l'analyse par la régression linéaire entre l'incidence du paludisme et la pluviométrie du même mois (décalage 0).

**Tableau VII :** Résultat de l'analyse par régression linéaire entre l'incidence du paludisme et la pluie du même mois

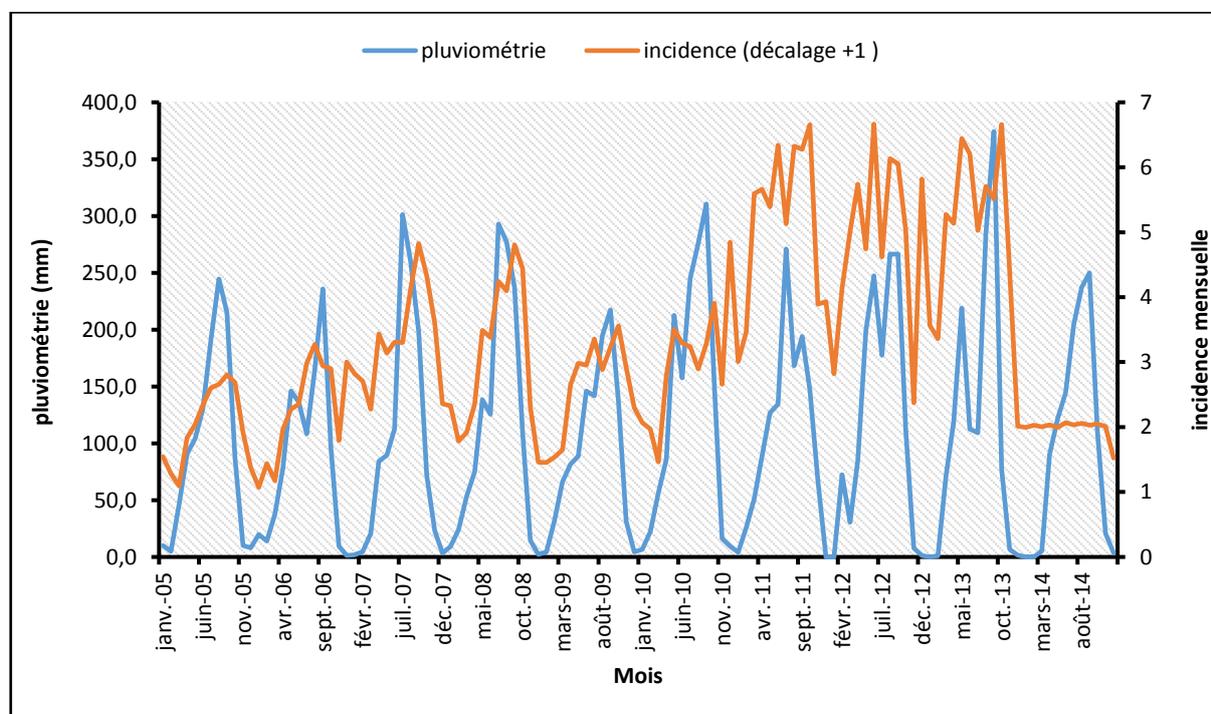
Incidence	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pluviométrie	0,0044	0,001	3,20	0,002	0,002	0,007
constante	2,858	0,199	14,34	0,000	2,460	3,248

L'équation de la régression linéaire se présente comme suit :  $Y = 0,0044 X + 2,858$

$R^2 = 0,09 = 9\%$  (seulement 9% des cas de paludisme sont expliqués par la pluviométrie)

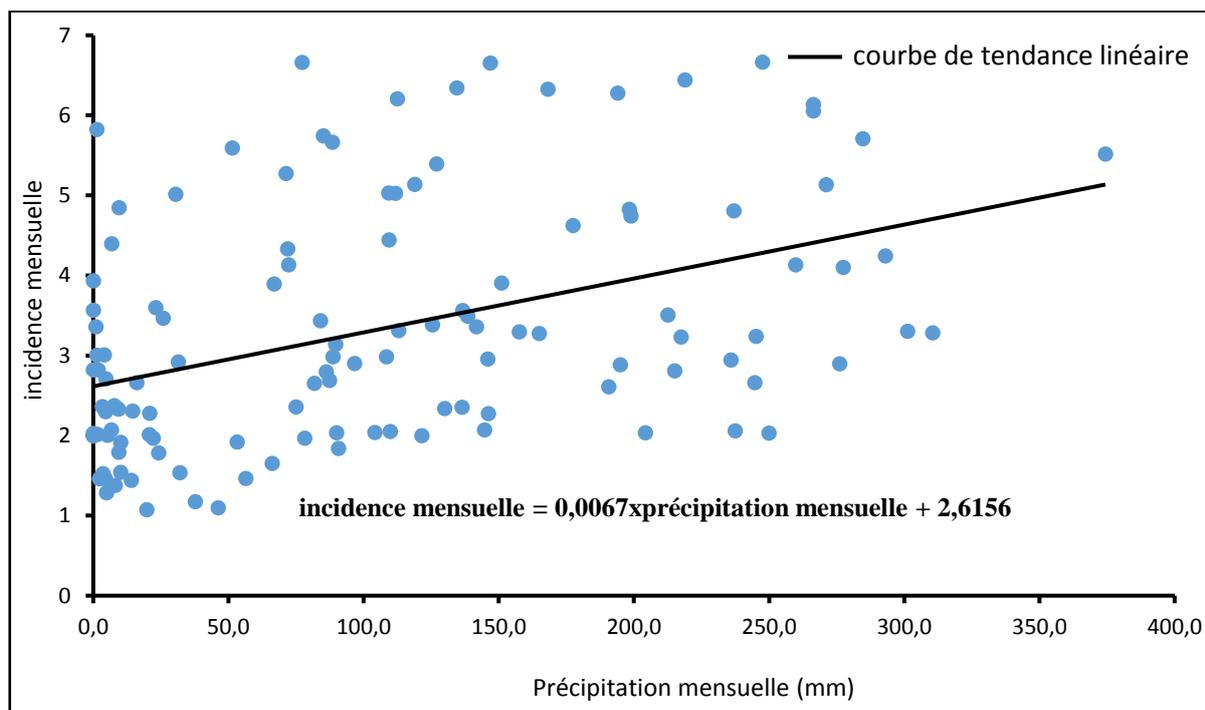
➤ **Décalage +1**

La figure 27 nous montre l'évolution des taux d'incidences du paludisme en fonction de la pluviométrie. Au décalage +1, l'évolution des deux courbes se fait de façon similaire.



**Figure 27:** Evolution des précipitations et de l'incidence du paludisme, au décalage +1

On note une association positive et significative entre la pluviométrie d'un mois et l'incidence observée le mois d'après, soit  $r = 0,42$  et  $p < 0,001$  (figure 28). Le coefficient de corrélation a augmenté par rapport à celui du décalage 0. Le tableau VIII présente les résultats de l'analyse par la régression linéaire entre la pluviométrie et l'incidence du paludisme du 1<sup>er</sup> mois suivant (décalage +1).



**Figure 28** : Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +1

**Tableau VIII** : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence du paludisme du 1<sup>er</sup> mois suivant

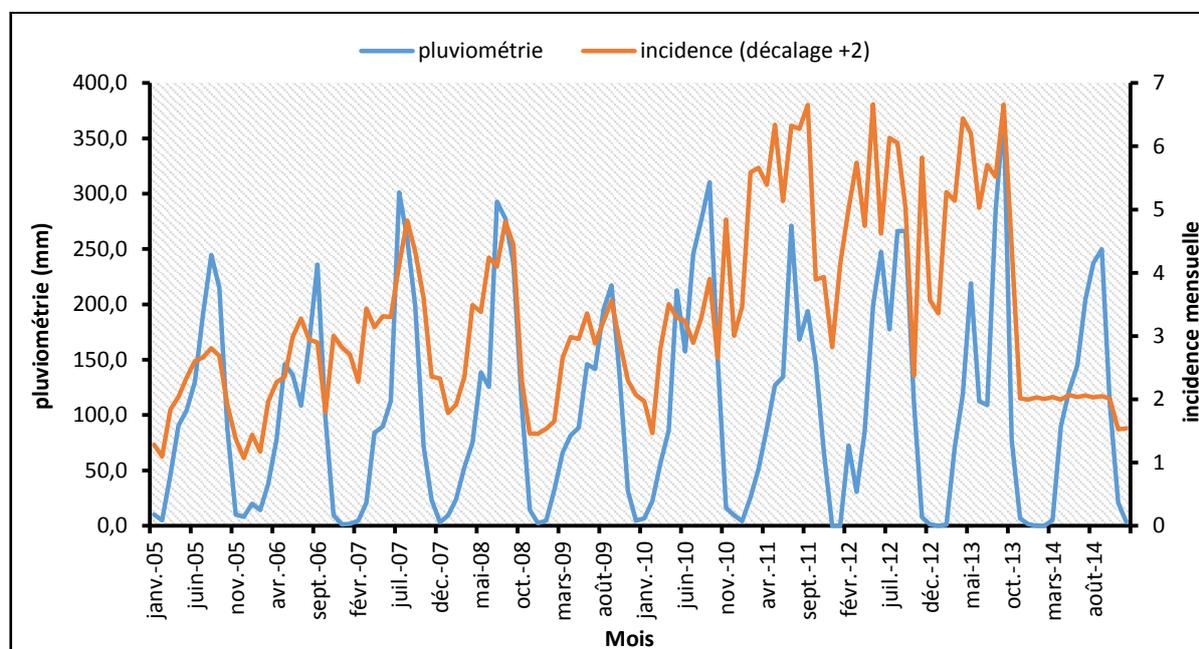
Incidence	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
pluviométrie	0,0067	0,001	5,09	0,000	0,004 0,01
contante	2,6156	0,188	13,93	0,000	2,244 2,989

Equation de la régression linéaire :  $Y = 0,0067 X + 2,6156$

$R^2 = 0,1764 = 17,64\%$  (17,64% des cas de paludisme sont expliqués par la pluviométrie)

## ➤ Décalage +2

Au décalage +2, les deux courbes évoluent toujours de la même manière. Le début des pluies commence avec une augmentation progressive de l'incidence du paludisme jusqu'à atteindre leurs pics au même moment (figure 29).



**Figure 29 :** Evolution des précipitations et de l'incidence du paludisme, au décalage +2

La figure 30 montre une association positive et significative entre la pluviométrie d'un mois et l'incidence du paludisme survenus deux mois après ( $r = 0,50$  ;  $p < 0,001$ ). Les coefficients de corrélations évoluent de façon progressive depuis le décalage 0 jusqu'au décalage +2.

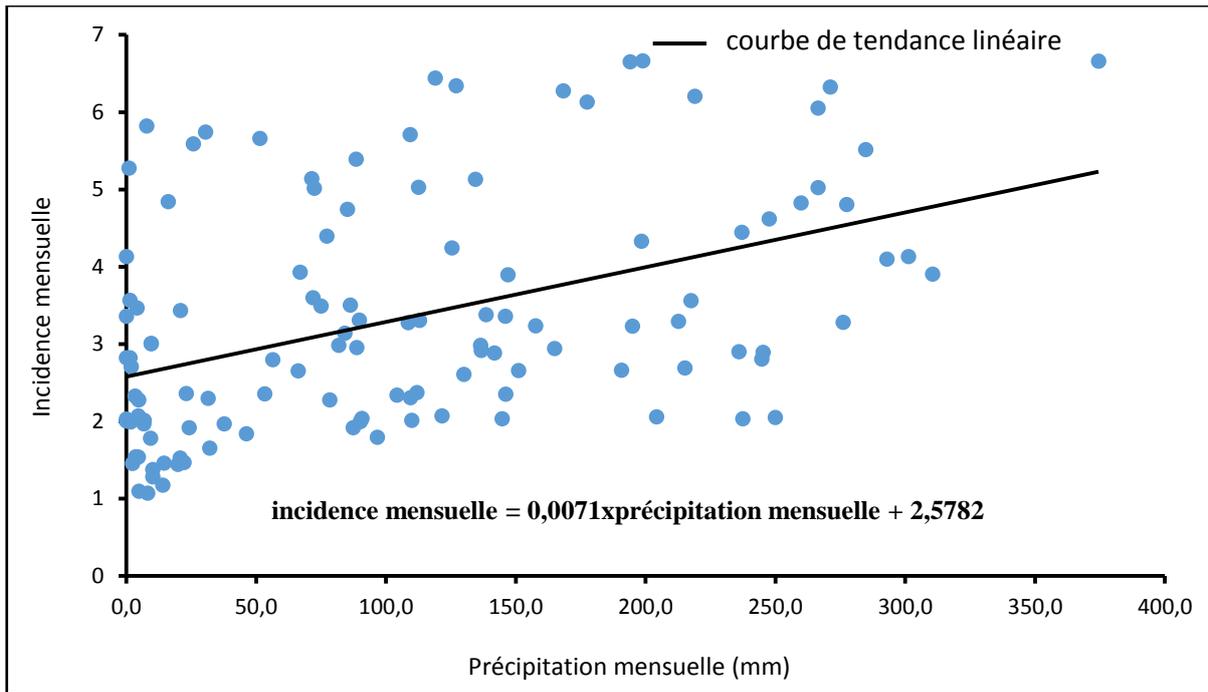
Les Résultats de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence du paludisme du 2<sup>ème</sup> mois suivant (décalage +2) sont consignés dans le tableau IX ci-dessous.

**Tableau IX :** Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence du paludisme au 2<sup>ème</sup> mois suivant

Incidence	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
pluviométrie	0,0071	0,001	5,41	0,000	0,004 0,01
constante	2,5782	0,186	13,89	0,000	2,211 2,946

Equation de la régression linéaire :  $Y = 0,0071 X + 2,5782$

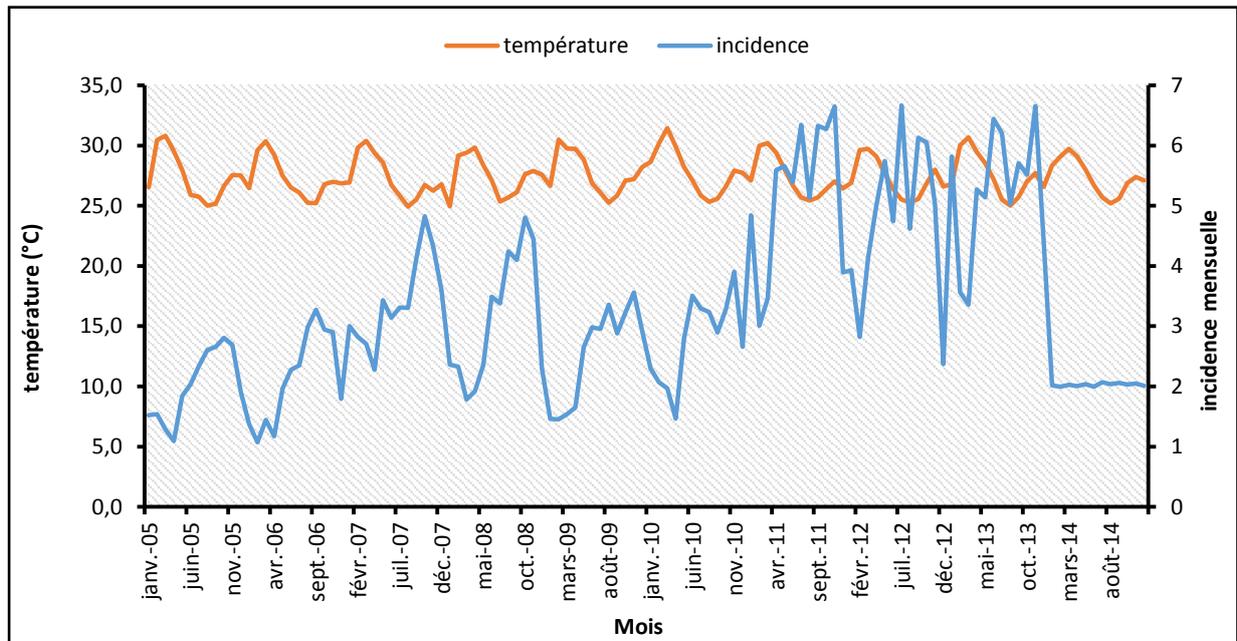
$R^2 = 0,25 = 25\%$  (25% des cas de paludisme sont expliqués par la pluviométrie)



**Figure 30 :** Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +2

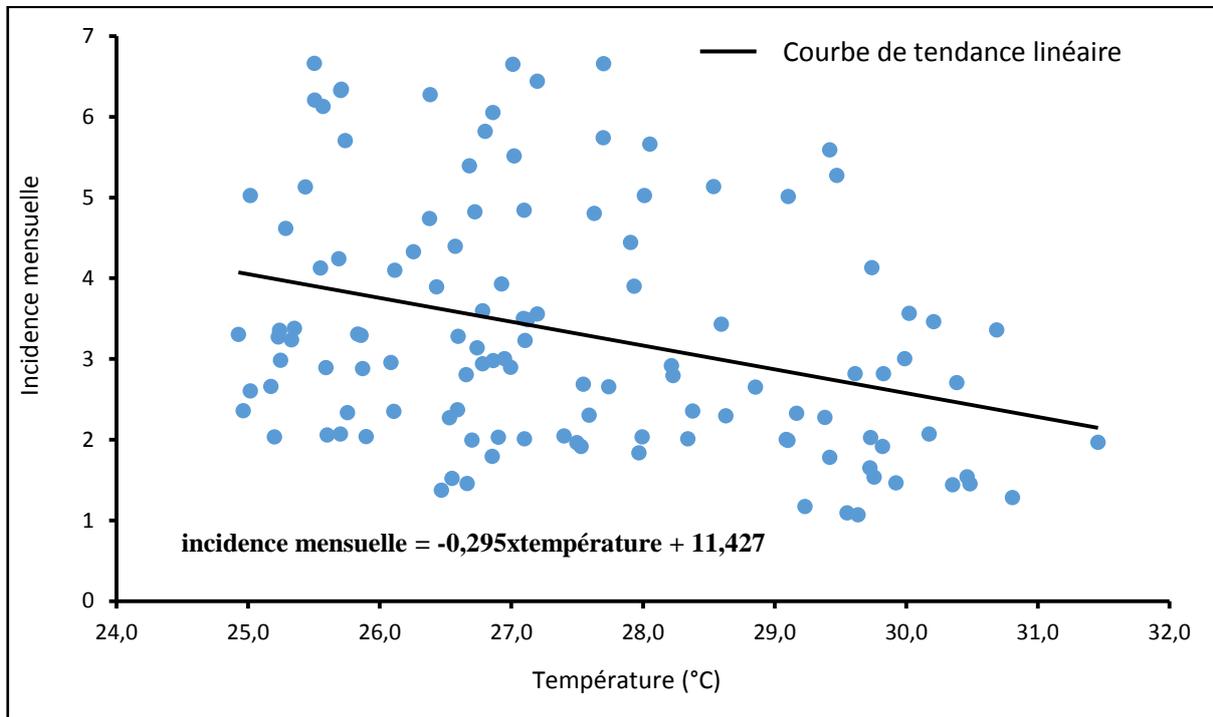
### VI-2-2- Température et paludisme

Les températures comprises entre 25°C et 30°C constituent les conditions climatiques propices à la transmission du paludisme à Korhogo (figure 31).



**Figure 31 :** Evolution de la température mensuelle et l'incidence du paludisme, de 2005 à 2014

L'incidence palustre et la moyenne de température mensuelle évoluent de façon inverse. La figure 32 présente une corrélation négative et significative ( $r = -0,33$  ;  $p < 0,001$ ).



**Figure 32 :** Evolution de l'incidence moyenne mensuelle du paludisme en fonction de la température mensuelle

Le tableau X présente les résultats de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence du paludisme du même mois. Le tableau XI quant à lui résume les différentes corrélations et valeurs des coefficients de détermination. L'analyse du tableau nous indique que la relation entre la pluviométrie et les différents décalages est significative avec des coefficients de corrélation augmentant jusqu'à atteindre une valeur de 0,5 au décalage +2. Le calcul des coefficients de détermination nous montre que les cas de paludisme expliqués par la pluie augmentent progressivement, de 9% au décalage 0 à 25% au décalage +2. On peut donc dire que le décalage +2 explique mieux les cas de paludisme dans la ville de Korhogo.

**Tableau X :** Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence du paludisme du même mois

Incidence	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
température	-0,30	0,078	-3,77	0,000	-0,450 -0,140
constante	11,427	2,152	5,31	0,000	7,166 15,689

Equation de la régression linéaire :  $Y = -0,30 X + 11,427$

$R^2 = 0,1089 = 10,89\%$  (10,89% des cas de paludisme sont expliqués par la température)

**Tableau XI :** Résumé des valeurs de corrélation et des coefficients de détermination

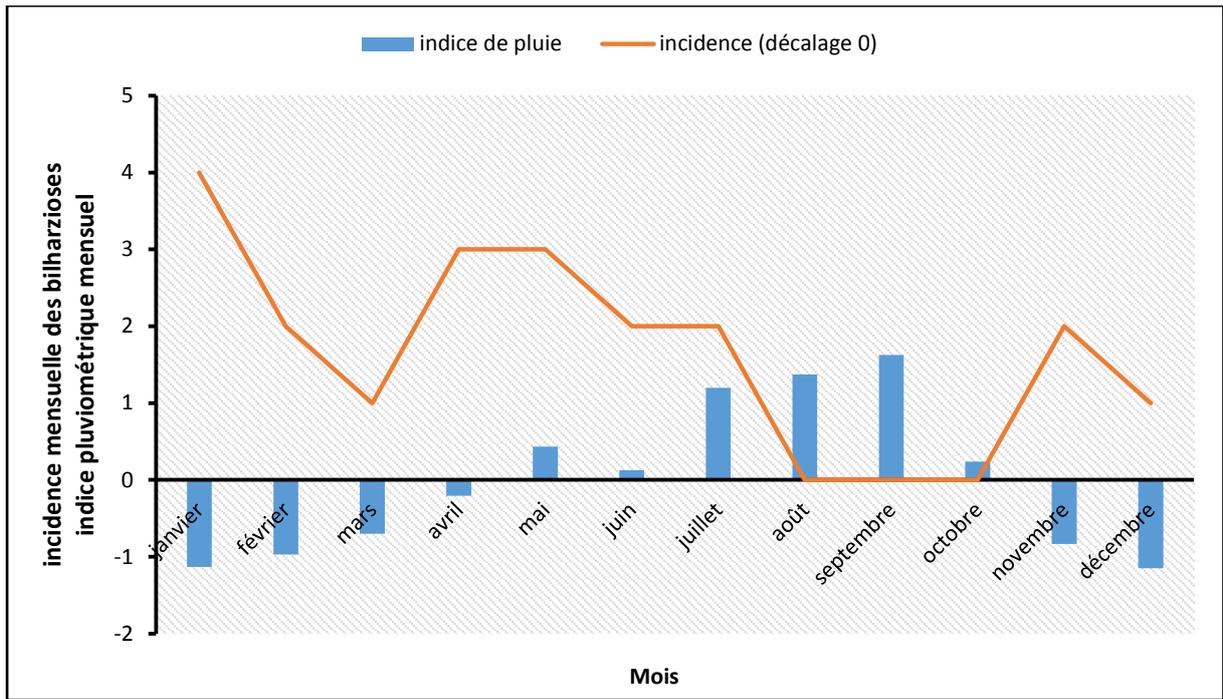
Incidence du paludisme	pluviométrie	température
Décalage 0	$r = 0,30 ; R^2 = 0,09$	$r = - 0,33 ; R^2 = 0,1089$
Décalage +1	$r = 0,42 ; R^2 = 0,1764$	
Décalage +2	$r = 0,50 ; R^2 = 0,25$	

### VI-3- Paramètres météorologiques et bilharzioses à différents décalages

#### VI-3-1- Précipitations et bilharzioses

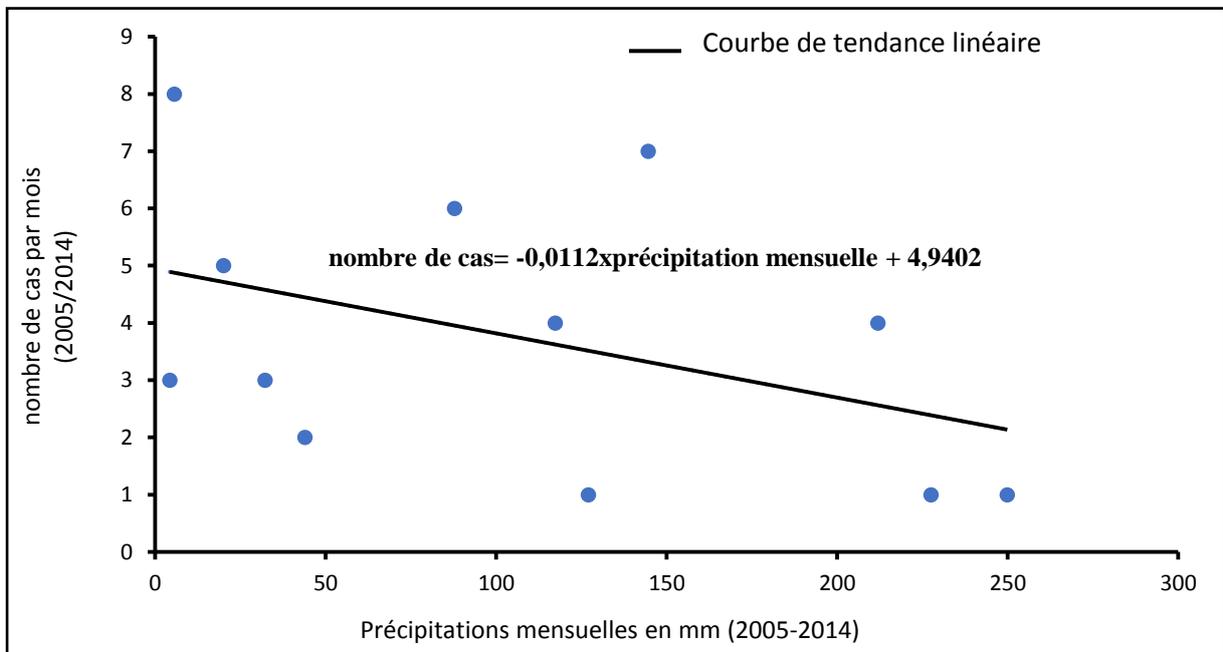
##### ➤ Décalage 0

On constate que les mois où la pluviométrie est inférieure à la moyenne mensuelle des 10 dernières années, un pic de bilharziose est constaté sauf en mai, juin et juillet. Les mois d'août, de septembre et octobre n'enregistrent pas de cas sur notre période d'étude (figure 33).



**Figure 33 :** Indices pluviométriques mensuels et évolution de l’incidence de bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage 0

La figure 34 présente une corrélation négative et pas significative entre la pluie d’un mois et le nombre de cas du même mois ( $r = -0,42$  ;  $p = 0,177$ ).



**Figure 34 :** Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des précipitations mensuelles, au décalage 0

Le tableau XII montre les résultats de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et les cas de bilharziose du même mois (décalage 0). Le coefficient de corrélation négatif signifie qu'une augmentation de la pluviométrie entraîne une diminution des cas de bilharzioses.

**Tableau XII :** Résultat de l'analyse par régression linéaire entre l'incidence des bilharzioses et la pluie du même mois

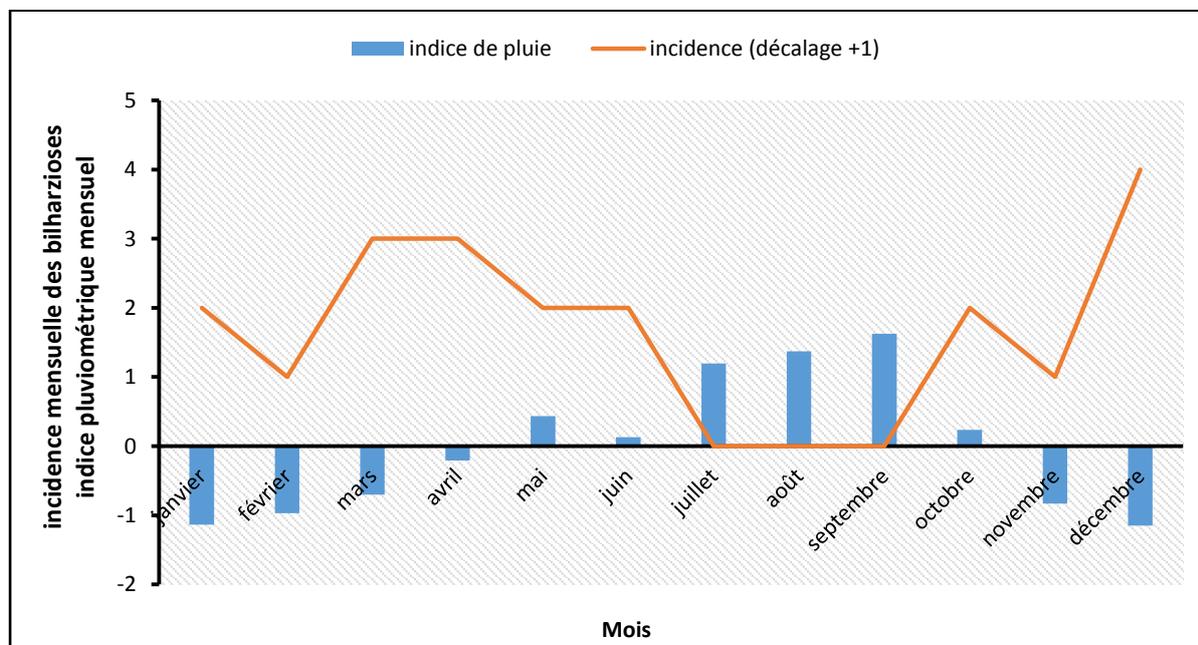
Nombre de cas	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
pluviométrie	-0,0112	0,287	-1,45	0,177	-1,058 0,222
constante	4,9402	0,275	-0,00	1,000	-0,613 0,613

Equation de la régression linéaire :  $Y = -0,0112 X + 4,9402$

$R^2 = 0,1764 = 17,64\%$  (17,64% des cas de bilharzioses sont expliqués par la pluie)

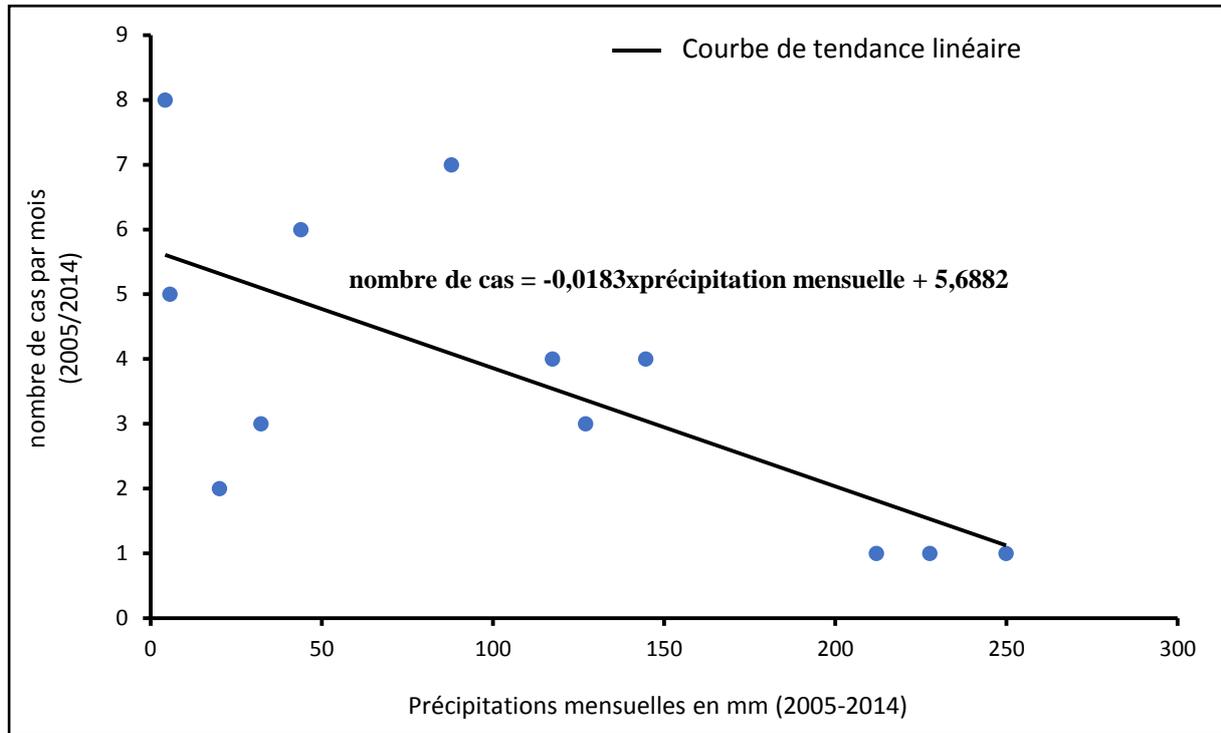
➤ **Décalage +1**

On remarque que les mois de novembre à avril correspondants à une période de déficit pluviométrique enregistrent les cas les plus élevés avec un pic principal en décembre et des pics secondaires en mars avril, comme l'indique la figure 35. Seulement les mois de mai et juin correspondant à des excédents de pluie enregistrent quelques cas.



**Figure 35 :** Indices pluviométriques mensuels et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +1

La figure 36 montre une corrélation négative, mais significative entre les précipitations d'un mois et les cas survenus un mois après ( $r = -0,68$  ;  $p = 0,015$ ). Une augmentation de la pluviométrie entrainerait une diminution des cas de bilharzioses. Le tableau XIII présente les résultats de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence des bilharzioses du 1<sup>er</sup> mois suivant (décalage +1).



**Figure 36 :** Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +1

**Tableau XIII :** Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence des bilharzioses du 1<sup>er</sup> mois suivant

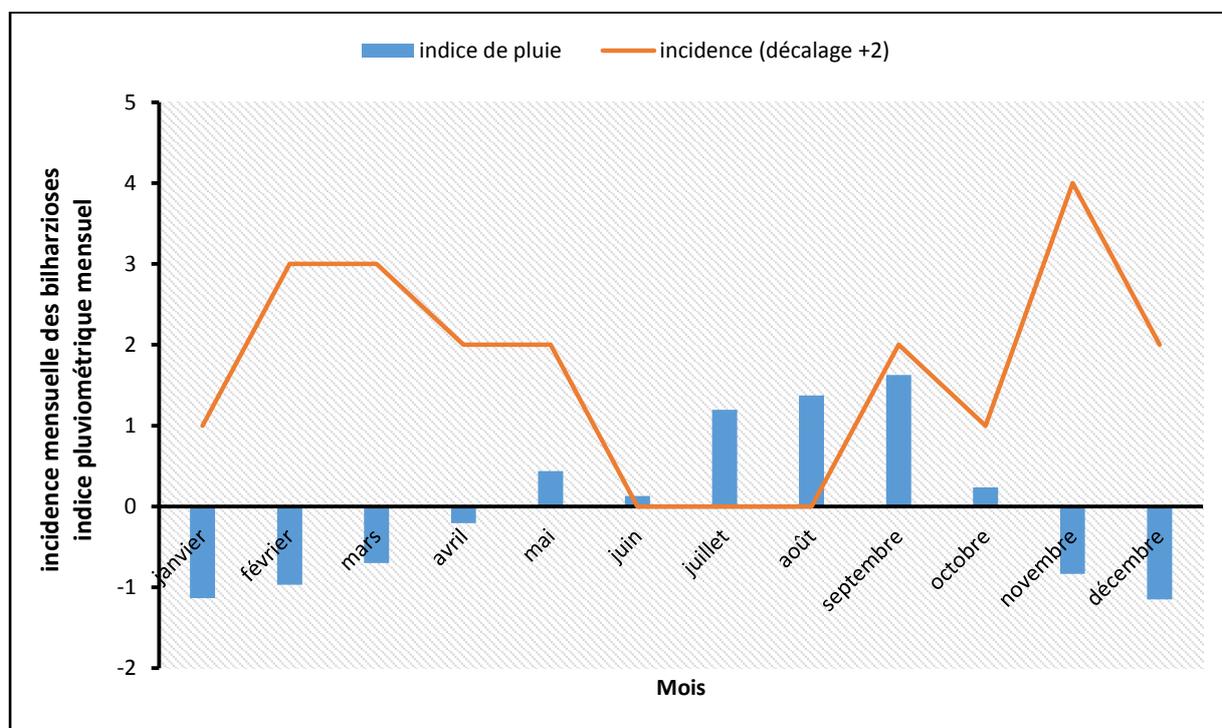
Nombre de cas	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
pluviométrie	-0,0183	0,232	-2,93	0,015	-1,197 -0,164
constante	5,6882	0,222	-0,00	1,000	-0,495 0,495

Equation de la régression linéaire :  $Y = -0,0183 X + 5,6882$

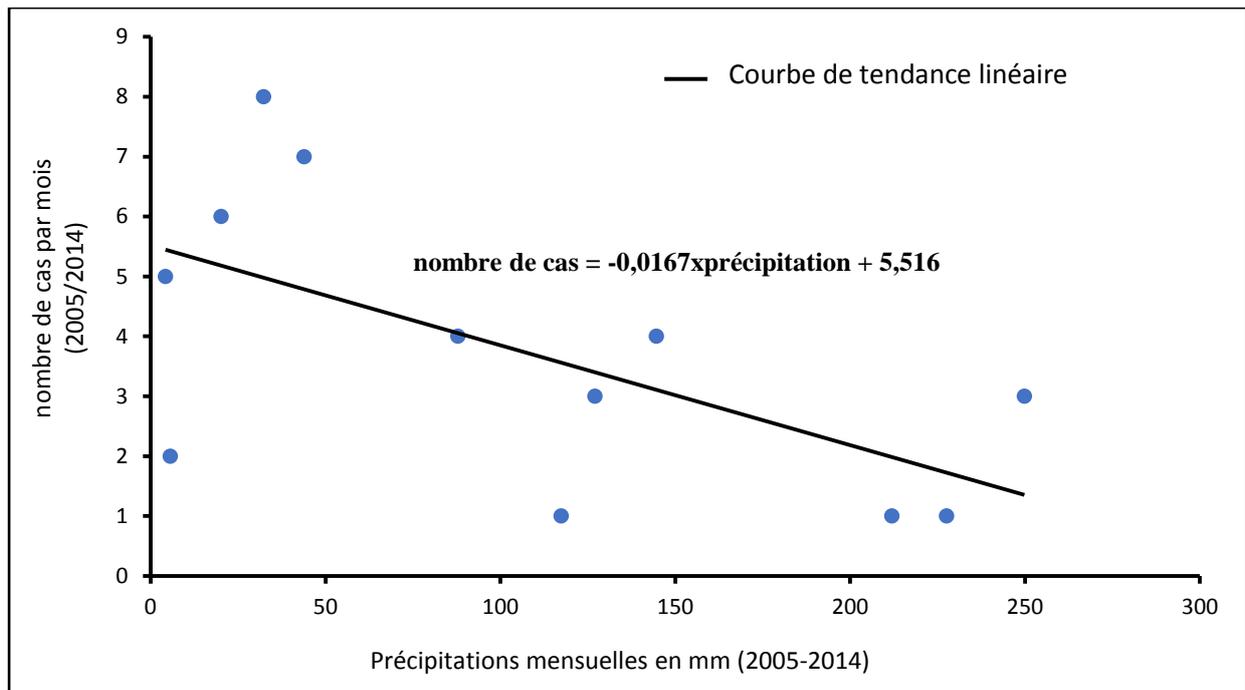
$R^2 = 0,4624 = 46,24\%$  (46,24% des cas de bilharzioses sont expliqués par la pluie)

### ➤ Décalage +2

La figure 37 présente l'évolution des incidences de bilharzioses en fonction des indices de pluviométrie. La période de déficit pluviométrique (saison sèche) enregistre la majorité des cas observés. Cependant, un pic de pluie observé en septembre correspond à une augmentation de l'incidence dans la même période. La figure 38 montre une corrélation négative et significative entre les précipitations d'un mois et les cas de bilharzioses survenus deux mois après ( $r = -0,62$  ;  $p = 0,032$ ). Le tableau XIV montre les résultats de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence des bilharzioses du 2<sup>ème</sup> mois suivant (décalage +2). Le tableau XV présente les moyennes de précipitations favorables à la transmission des bilharzioses. Les précipitations comprises entre 0 et 125 mm enregistrent entre 69 et 78% des cas de bilharzioses observés.



**Figure 37 :** Indices pluviométriques mensuels et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +2



**Figure 38** : Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des précipitations mensuelles, au décalage +2

**Tableau XIV** : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la pluie et l'incidence des bilharzioses du 2<sup>ème</sup> mois suivant

Nombre de cas	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
pluviométrie	-0,0167	0,248	-2,50	0,032	-1,172 -0,067
constante	5,516	0,238	-0,00	1,000	-0,529 0,529

Equation de la régression linéaire :  $Y = -0,0167 X + 5,516$

$R^2 = 0,3844 = 38,44\%$  (38,44% des cas de bilharzioses sont expliqués par la pluie)

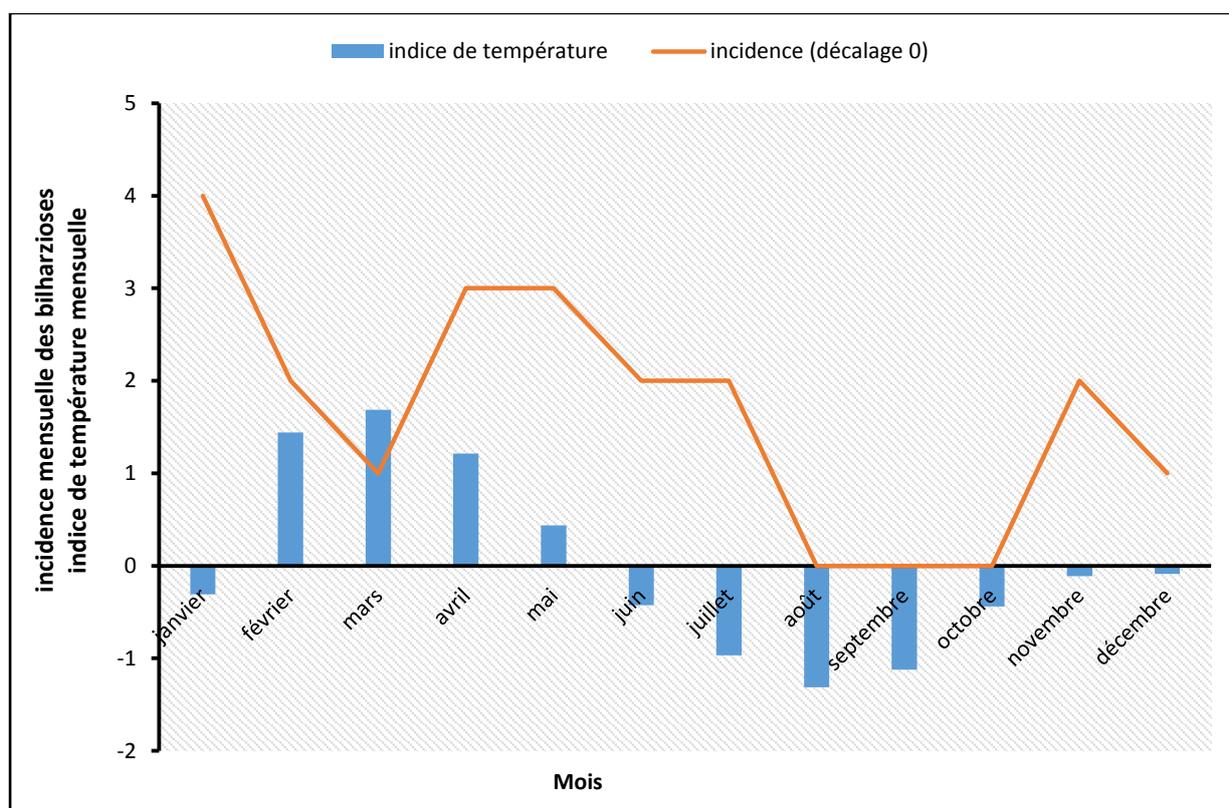
**Tableau XV** : Répartition des cas de bilharzioses en fonction des précipitations moyennes mensuelles

Pluviométrie (mm)	nombre de cas (D0)	nombre de cas (D+1)	nombre de cas (D+2)
0-125	31 (69%)	35 (78%)	33 (73%)
126-250	14 (31%)	10 (22%)	12 (27%)

## VI-3-2- Température et bilharzioses

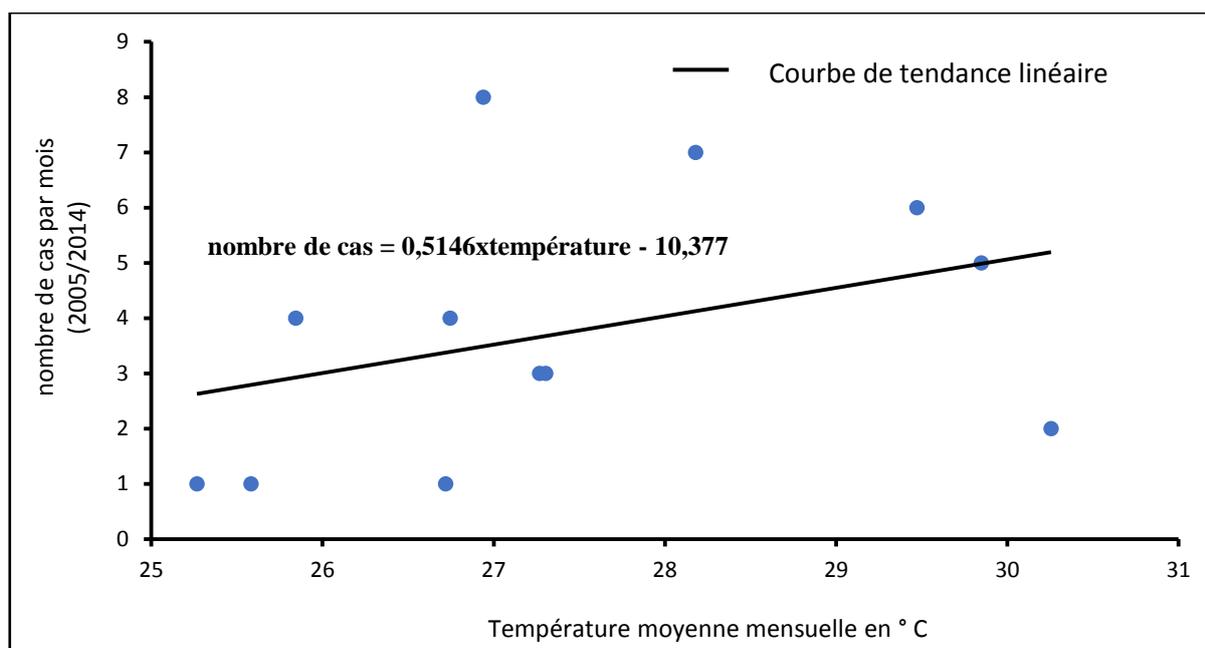
### ➤ Décalage 0

L'analyse de l'incidence des bilharzioses et de la température permet de constater des incidences relativement égale en période de température élevée par rapport à la moyenne mensuelle des 10 dernières années. Les mois de novembre, décembre et janvier, de température presque égale à la moyenne enregistrent également de forte incidences avec notamment un pic en novembre (Figure 39).



**Figure 39 :** Indices de températures mensuelles et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage 0

La corrélation est positive mais statistiquement non significative entre la température d'un mois et le nombre de cas du même mois,  $r = 0,36$  et  $p = 0,251$  (Figure 40). Les résultats de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses au même mois (décalage 0) sont regroupés dans le tableau XVI.



**Figure 40 :** Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des températures mensuelles, au décalage 0

**Tableau XVI :** Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses au même mois

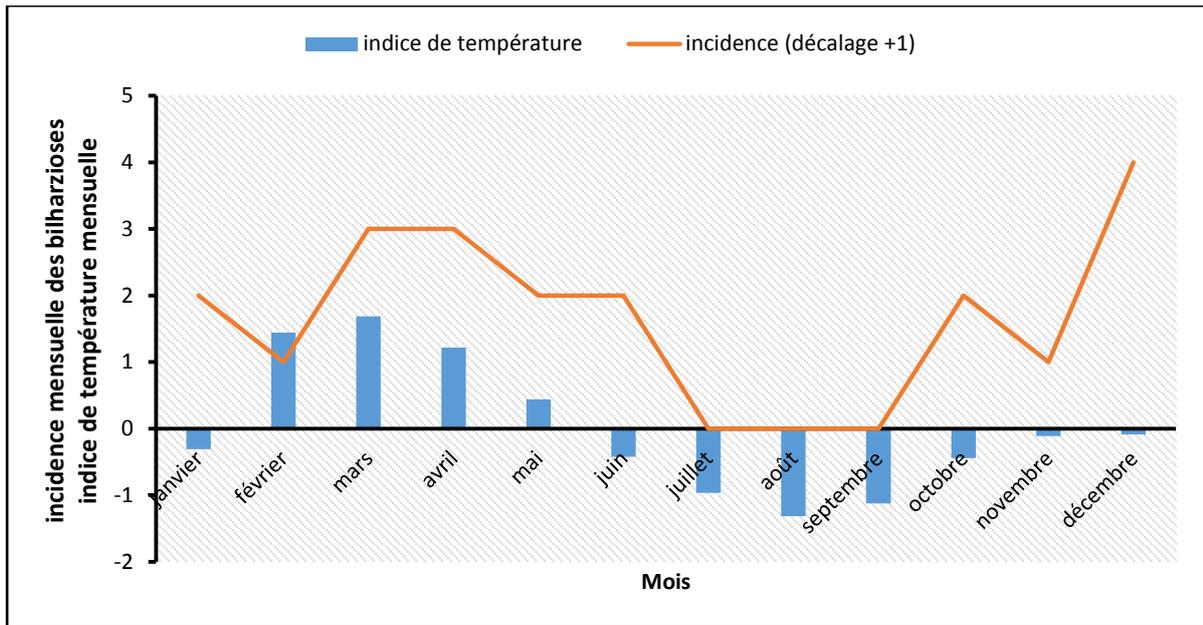
Nombre de cas	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
température	0,5146	0,295	1,22	0,251	-0,298 1,017
constante	-10,377	0,282	0	1	-0,629 0,629

Equation de la régression linéaire :  $Y = 0,5146 X - 10,377$

$R^2 = 0,1296 = 12,96 \%$  (12,96 % des cas de bilharzioses sont expliqués par la température)

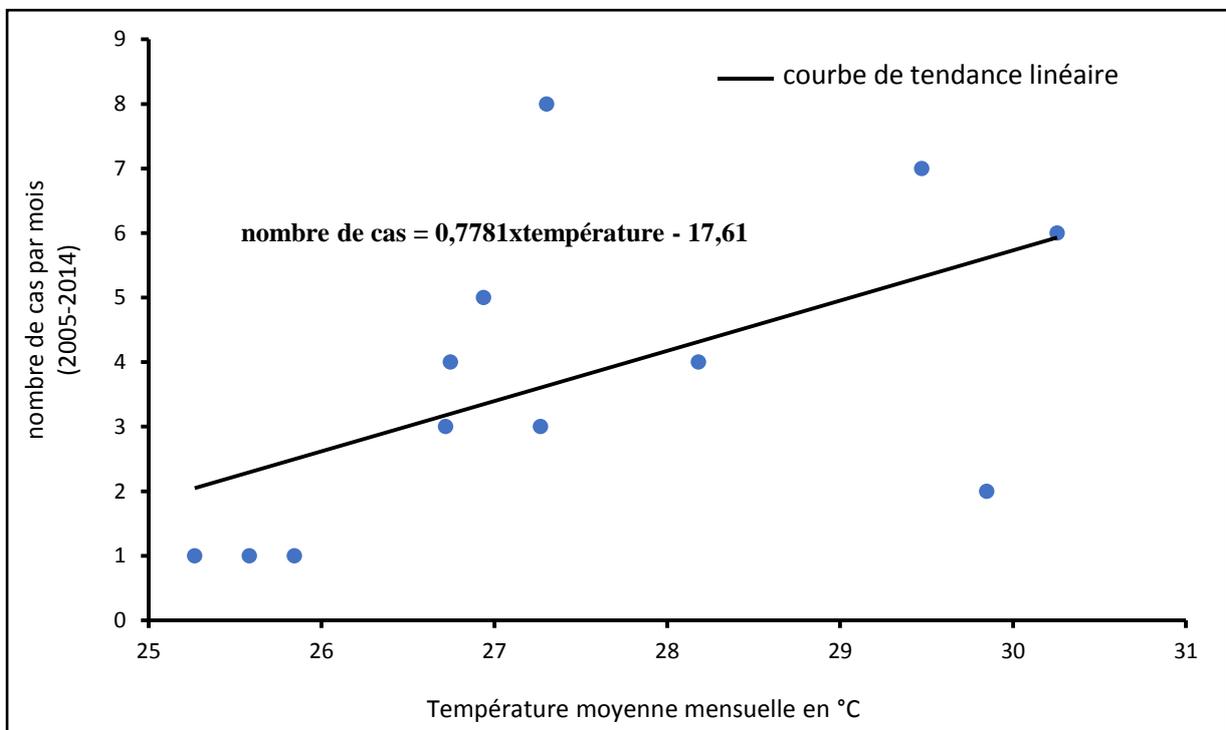
#### ➤ Décalage +1

On observe un pic en décembre où la température est relativement égale à la moyenne des températures des 10 dernières années, comme l'indique la figure 41. Les mois de mars et avril (période de forte chaleur) enregistrent des incidences de 3 cas pour 100 000 habitants.



**Figure 41 :** Indices de températures mensuelles et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +1

La température d'un mois et les cas observés le mois d'après entretiennent une corrélation positive et à la limite de la signification ( $r = 0,54$  ;  $p = 0,067$ ) (Figure 42).



**Figure 42 :** Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des températures mensuelles, au décalage +1

Ci-dessous le tableau XVII qui présente Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses du 1<sup>er</sup> mois suivant (décalage +1).

**Tableau XVII :** Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses du 1<sup>er</sup> mois suivant

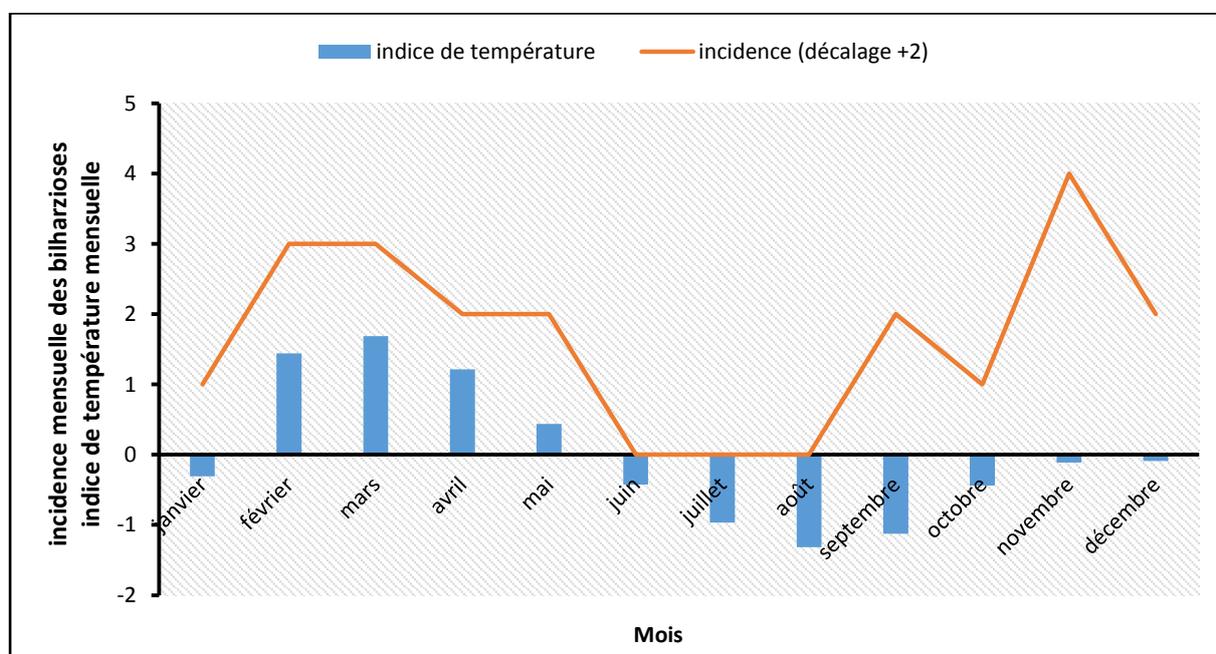
Nombre de cas	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
température	0,7781	0,265	2,05	0,067	-0,047 1,135
constante	-17,611	0,254	0	1	-0,566 0,566

Equation de la régression linéaire :  $Y = 0,7781 X - 17,611$

$R^2 = 0,2916 = 29,16 \%$  (29,16 % des cas de bilharzioses sont expliqués par la température)

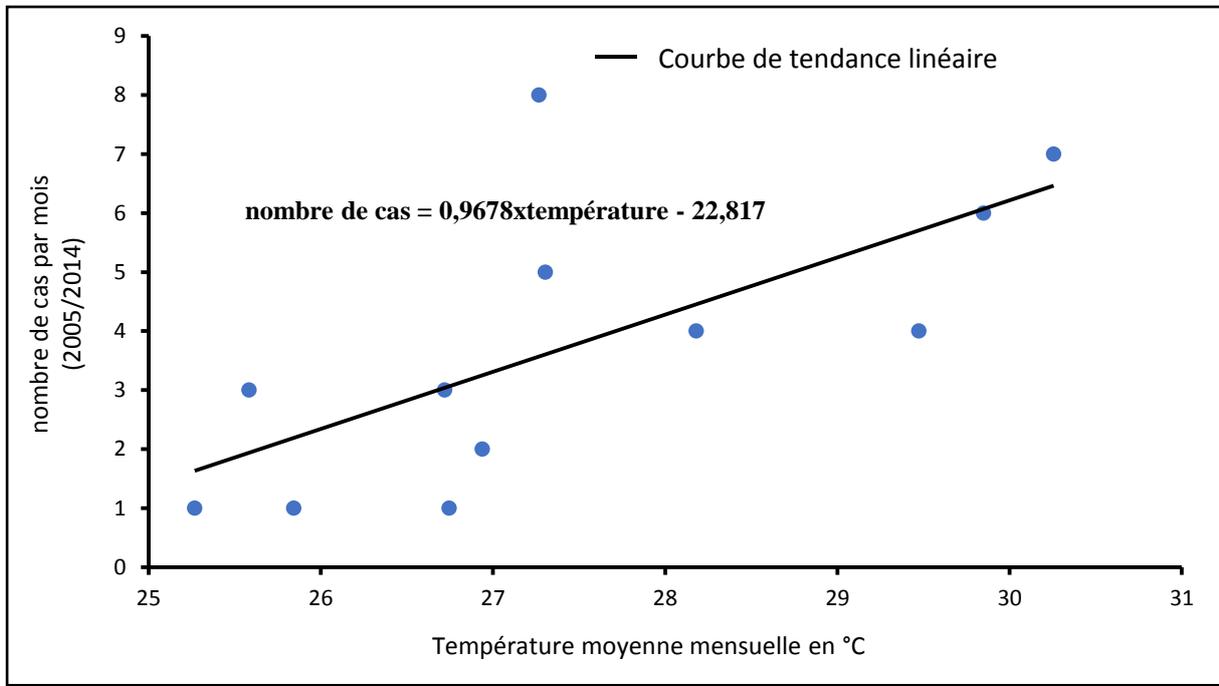
➤ **Décalage +2**

Les mois les plus chauds que sont février, mars et avril indiquent des incidences allant de 3 cas pour 100 000 habitants à 2 cas pour 100 000. Une incidence de 4 cas pour 100 000 habitants est observée en novembre. Les mois de juin, juillet et août ne présentent pas de cas (figure 43).



**Figure 43 :** Indices de températures mensuelles et évolution de l'incidence des bilharzioses sur la période 2005-2014, au décalage +2

La figure 44 montre une corrélation positive et significative entre la température d'un mois et les cas observés deux mois après ( $r = 0,68$  ;  $p = 0,016$ ). La corrélation significative signifie qu'une relation peut être établie entre les températures d'un mois et les cas observés deux mois après.



**Figure 44 :** Evolution des cas mensuels de bilharziose en fonction des températures mensuelles, au décalage +2

Le tableau XVIII présente les résultats de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses du 2<sup>ème</sup> mois suivant (décalage +2). Les températures comprises entre 26°C et 28°C enregistrent 51 à 60% des cas en fonction des décalages observés (tableau XIX). Ces températures sont donc propices pour la transmission des bilharzioses. Le tableau XX quant à lui résume les différentes corrélations et coefficients de déterminations obtenues en fonction des décalages 0, +1 et +2. On note que 46,24% des cas de bilharzioses sont expliqués par la pluviométrie au décalage +1, contre 46,24% de cas expliqués par la température au décalage +2.

**Tableau XVIII** : Résultat de l'analyse par régression linéaire entre la température et l'incidence des bilharzioses du 2<sup>ème</sup> mois suivant

Nombre de cas	Coef.	Standard error	t	P> t	[95% Conf. Interval]
température	0,9678	0,233	2,91	0,016	0,158 1,195
constante	-22,817	0,223	0,00	1,000	-0,497 0,497

Equation de la régression linéaire :  $Y = 0,9678 X - 22,817$

$R^2 = 0,4624 = 46,24 \%$  (46,24 % des cas de bilharzioses sont expliqués par la température)

**Tableau XIX** : Répartition des cas de bilharzioses en fonction des températures moyennes mensuelles

Température (°C)	Nombre de cas (D0)	Nombre de cas (D+1)	Nombre de cas (D+2)
<b>23-25</b>	6 (13%)	3 (7%)	5 (11%)
<b>26-28</b>	26 (58%)	27 (60%)	23 (51%)
<b>29-31</b>	13 (29%)	15 (33%)	17 (38%)

**Tableau XX** : Résumé des valeurs de corrélations et des coefficients de détermination

Cas de bilharzioses	pluviométrie	température
<b>Décalage 0</b>	$r = -0,42$ ; $R^2 = 17,64 \%$	$r = 0,36$ ; $R^2 = 12,96 \%$
<b>Décalage +1</b>	$r = -0,68$ ; $R^2 = 46,24 \%$	$r = 0,54$ ; $R^2 = 29,16 \%$
<b>Décalage +2</b>	$r = -0,62$ ; $R^2 = 38,44 \%$	$r = 0,68$ ; $R^2 = 46,24 \%$

## **VI-4- Discussion**

### **VI-4-1- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission du paludisme et des bilharzioses à Korhogo de 2005 à 2014**

#### **VI-4-1-1- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission du paludisme à Korhogo de 2005 à 2014**

##### **VI-4-1-1-1- Relation entre incidence mensuelle du paludisme et paramètres climatiques**

Durant les 10 années d'observations, le pic mensuel de l'incidence du palustre était observé à la fin de la saison des pluies, c'est-à-dire aux mois de septembre et octobre avec respectivement une incidence de 4 et 4,1 cas pour 1 000 habitants. La saison sèche enregistre des incidences relativement inférieures. La présence d'une incidence élevée en début de saison sèche (novembre) pourrait s'expliquer par la « non destruction » des gîtes larvaires par la pluie pendant les mois de fortes pluies, car l'abondance des eaux de pluie peut balayer les gîtes larvaires. En effet, selon une étude faite par Diallo *et al.* (1998) au Sénégal, l'infection palustre touchait la population pendant les mois d'octobre, novembre et décembre, les deux derniers mois correspondant à des périodes sèches. En saison des pluies, le niveau d'eau augmente et la température est favorable à la multiplication des vecteurs du paludisme, d'où une augmentation de l'incidence du paludisme. Des études réalisées à Abidjan par Eholié *et al.* (2004) ont montré que 62% des cas de paludisme ont été colligés pendant la saison pluvieuse contre 38% pour la saison sèche.

##### **VI-4-1-1-2- Relation entre paludisme et paramètres climatiques à différents décalages**

Nos résultats mettent en évidence un lien entre la morbidité attribuée au paludisme et les deux paramètres météorologiques étudiés. En effet, les corrélations sont positives et significatives entre les incidences de paludisme et la pluviométrie (décalage 0,  $r = 0,30$  et  $p = 0,001$  ; décalage +1,  $r = 0,42$  ;  $p < 0,001$  et décalage +2,  $r = 0,50$  ;  $p < 0,001$ ). L'hypothèse d'une relation entre la morbidité attribuée au paludisme et les paramètres climatiques est confirmée dans la ville de Korhogo. Elle permet de faire ressortir certaines conditions météorologiques favorables à la transmission du paludisme telles qu'une forte pluviométrie et, aussi, une légère baisse de la température. L'analyse du rythme des précipitations avec celui du paludisme indique une augmentation des cas pendant les mois de fortes pluies que sont mai, juin, juillet, août,

septembre et octobre. En effet, au cours de cette période, les abondantes précipitations entraînent la formation de mares et flaques pluviales, nécessaires au développement larvaire du moustique et à d'abondantes populations de vecteurs. Contrairement aux corrélations positives entre les incidences de paludisme et la pluviométrie, le coefficient de corrélation entre l'incidence du paludisme et la température est négatif ( $r = -0,33$ ). La température aurait pour effet de raccourcir le temps de développement du parasite chez le moustique, ce qui accroîtrait la capacité vectorielle de l'anophèle. Les températures des mois de mai à octobre, variant entre 24,9°C et 27,8°C, sont constamment favorables à un développement sporogonique du parasite. Les températures maximales supérieures à 29°C, telles qu'observées lors des autres mois, sont défavorables tant pour le développement sporogonique que pour la survie des moustiques adultes, ce qui entraîne une diminution de l'infection palustre. Des résultats similaires ont été trouvés au Bénin par Houssou (1998) qui a montré que jusqu'à 37°C de température ambiante, le plasmodium peut mourir dans le corps d'anophèle et entraîner une diminution du nombre de cas de paludisme. Le coefficient de corrélation entre l'incidence et la pluviométrie décalée d'un mois (+ 0,42) est sensiblement inférieur à celui obtenu entre la pluviométrie et l'incidence décalée de deux mois (+ 0,50). Toutes ces corrélations sont statistiquement significatives au seuil de 0,05. Cela signifie que dans la ville de Korhogo, les pics de morbidité attribués au paludisme sont observés soit le même mois ou un à deux mois après le début des pluies. Le coefficient de détermination du décalage +2 (0,25) traduit mieux l'apparition des cas de paludisme et signifie que 25% des cas de paludisme sont expliqués par la pluviométrie. En effet, la mise en eau par la pluie des gîtes larvaires des moustiques est suivie en quelques semaines par la pullulation des anophèles qui ont une forte capacité de multiplication due à la fois à un fort taux de reproduction (jusqu'à 2 000 œufs pondus par une femelle au cours de sa vie) et à un développement pré-imaginal ultra-rapide pour un métazoaire (une dizaine de jours). On peut donc penser que les premiers anophèles s'infecteront peu et qu'il faudra attendre la multiplication des porteurs pour voir se multiplier le nombre d'accès palustre. De plus, seuls les anophèles femelles âgés au moins de 10 jours (durée du cycle sporogonique du parasite) sont capables d'inoculer des sporozoïtes à un homme. Enfin, le parasite doit achever sa phase hépatique (une semaine) et plusieurs cycles érythrocytaires (au moins une semaine) avant, éventuellement, de provoquer un accès palustre. Au total, le décalage d'un à deux mois entre les pics de pluviométrie et de morbidité palustre semble tout à fait logique par rapport à ce que l'on connaît de la biologie du vecteur et du parasite. Ces résultats sont en adéquation avec ceux d'Ousmane *et al.* (1997) au Sénégal. En effet, l'étude réalisée par Ousmane a montré des coefficients de corrélation significatifs pour la pluviométrie avec un décalage de un et de deux

mois. Le coefficient de corrélation entre la morbidité et la pluviométrie décalée d'un mois (+ 0,43) est sensiblement inférieur à celui obtenu le mois suivant (+ 0,61).

#### **VI-4-1-2- Analyse de la relation entre les facteurs climatiques et la transmission de la bilharziose à Korhogo de 2005 à 2014**

##### **VI-4-1-2-1- Variation interannuelle et incidence des bilharzioses**

Le cycle de transmission de la maladie est très complexe et intègre plusieurs facteurs dont : le milieu (points d'eaux), l'hôte intermédiaire (mollusque) et l'hôte final (homme). La complexité du cycle est encore plus exacerbée par les facteurs environnementaux et climatiques qui conditionnent la présence d'eau (quantité et en qualité) nécessaire à l'écologie du mollusque comme du parasite. Aussi, les caractéristiques sociaux-économiques des populations affectées déterminent-elles la durée, la fréquence et la localisation de contacts (contamination/exposition) avec l'eau (Perez *et al.*, 2015). Le risque d'infection de la schistosomiase est donc lié à la présence du parasite, mais également à l'ensemble des conditions nécessaires à la réalisation du cycle de transmission. Ainsi, le contact plus ou moins fréquent et durable avec l'eau est le facteur déterminant du risque de la contamination par la schistosomiase (Etard *et al.*, 1992). Dans la ville de Korhogo, les cas de bilharzioses ont culminé en 2009 (10 cas). Une année auparavant (2008), l'une des plus fortes pluviométries de la période 2005-2014 a été enregistrée (113,24 mm). L'abondance des précipitations a entraîné une multiplication des points de contacts homme-eau, ce qui a favorisé une augmentation du nombre de cas de bilharzioses. Nos résultats concordent avec ceux de plusieurs auteurs, notamment Sutherst (2004) en Australie et Xiao *et al.*, (2008) en Chine qui ont observé une augmentation de l'incidence des bilharzioses après de fortes pluies.

##### **VI-4-1-2-2- Répartition des cas de bilharzioses en fonction de l'âge**

Dans la ville de Korhogo, il existe un barrage et différentes activités y sont menées en rapport avec ce dernier (baignade, pêche, activités hydroagricoles). Les enfants d'âges scolaires (6-15 ans) s'adonnent à la baignade durant deux heures par jour. Ils s'y baignent deux jours par semaine, soit une exposition annuelle de 104 jours. Les adultes quant à eux sont portés vers les activités hydroagricoles et la pêche. En effet, les producteurs de maraîchers passent en moyenne près de 7 heures par jour sur leur site de travail. En plus, ils y vont en moyenne 6 jours par semaine, ce qui correspond à une fréquence d'exposition annuelle de 312 jours. La pêche est pratiquée 2 heures par jour. Les pêcheurs y travaillent 6/7 jours, soit une fréquence de 312 jours

l'année (M'bra *et al.*, 2015). La répartition des cas en fonction des tranches d'âge montre que les adultes (plus de 15ans) sont plus atteints de la schistosomiase que les enfants (6-15ans), parce qu'ils sont plus fréquemment en contact avec les foyers identifiés de Schistosome. Les résultats sont confirmés par Aubry (2010) qui pense que la schistosomiase est un frein pour le développement car elle attaque les personnes qui peuvent produire dans la société. Les activités humaines jouent donc un rôle déterminant dans la transmission de la bilharziose en fonction des tranches d'âges.

#### **VI-4-1-2-3- Relation entre les paramètres météorologiques et les cas de bilharzioses**

La présente étude montre qu'il existe une corrélation négative entre les précipitations et les cas de bilharziose, mais statistiquement significative à partir du décalage +1 ( $r = -0,68$  ;  $p = 0,015$ ) et du décalage +2 ( $r = -0,62$  ;  $p = 0,032$ ). Les coefficients de détermination de 46,24% et de 38,44% respectivement des décalages +1 et +2 nous montrent que le décalage +1 explique mieux l'apparition des cas de bilharzioses à Korhogo. Les décalages effectués sont en accord avec nos connaissances du cycle du parasite et du vecteur de la bilharziose. Cela signifie que dans la ville de Korhogo, les premiers cas de bilharzioses sont observés un à deux mois après des pluies comprises entre 0-125 mm et deux mois après les températures comprises entre 26 et 28°C. En effet, pour une pluviométrie moyenne mensuelle inférieure à 125 mm, les cas enregistrés représentaient 69 à 78% des cas totaux obtenus, en fonction des décalages. De telles quantités de pluie augmentent les habitats favorables à la survie du mollusque favorisant ainsi la transmission de la maladie. Brooker *et al.*, (2001) ont trouvé des résultats similaires. Par ailleurs, Il y avait une baisse significative des cas (31 à 22%) lorsque la pluviométrie moyenne était comprise entre 126 et 250 mm. Cela se justifierait par le fait que ces fortes précipitations augmentent le volume d'eau dans les masses d'eau douces disponibles, entraînant ainsi les cercaires libérées par les mollusques dans les plans d'eau. La conséquence qui en découle est la réduction du taux de pénétration des cercaires au niveau des eaux infectées de la ville. Nos résultats sont confirmés par Davis *et al.*, (2002). Par ailleurs, la température est connue pour affecter le taux de miracidiums et l'excrétion de cercaires (Anderson *et al.*, 1982 ). Nos résultats indiquent que les températures à Korhogo entretiennent une relation positive et significative au décalage de +2 avec les cas de bilharzioses, ce qui signifie qu'une augmentation de la température entraînerait également une augmentation des cas de bilharzioses, mais seulement deux mois après. Les températures comprises entre 26°C et 28°C dans notre étude représentent les conditions optimales pour la transmission des bilharzioses, elles enregistrent 51 à 60% des cas observés. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Adie *et*

*al.*, (2014) qui ont trouvé des températures presque similaires (29-31°C) comme favorisant la transmission des bilharzioses au Ghana. Cependant, Brooker *et al.*, (2001) ont rapporté des seuils de températures de 45°C au Cameroun comme toujours adaptées à la distribution de la schistosomiase.

### **Conclusion partielle**

L'analyse des paramètres climatiques et sanitaires permet de mettre en évidence les relations qui les lient. Les corrélations ont donc été faites sur la période 2005-2014. Les résultats montrent que les corrélations sont positives et significatives entre les cas de paludisme et les précipitations au décalage de 0, +1, +2. Le décalage de +2 explique mieux les cas de paludisme avec 25% des cas de paludisme expliqués par la pluie. Contrairement à cela, les corrélations étaient négatives et seulement significatives à partir du décalage de +2 pour les bilharzioses. Aussi, les températures évoluent respectivement de façon négative et positive avec les cas de paludisme et de bilharzioses.

## CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire avait pour objectif général l'étude de l'influence de la variabilité climatique sur la transmission du paludisme et des bilharzioses dans la ville de Korhogo. Une base de données comprenant les données météorologiques et sanitaires a été établie. Les données sanitaires proviennent des structures de santé (publiques et privées) de la ville de Korhogo, tandis que les données météorologiques ont été fournies par la *Data Library*. Différentes analyses épidémiologiques et statistiques ont été réalisées pour déterminer le type de liaison existant entre ces variables. La méthodologie adoptée a permis d'obtenir différents résultats. En effet, il existe une relation entre l'évolution des paramètres climatiques et la morbidité attribuée au paludisme et aux bilharzioses. L'augmentation de la pluviométrie accroît la prévalence du paludisme tandis qu'une trop grande augmentation de la température constitue un facteur réducteur du risque palustre. Nos résultats mettent en évidence une relation entre la pluviométrie d'un mois et les incidences de paludisme enregistrées au cours des deux mois qui suivent (décalage 0,  $r = 0,30$  et  $p = 0,001$  ; décalage +1,  $r = 0,42$  ;  $p < 0,001$  et décalage +2,  $r = 0,50$  ;  $p < 0,001$ ). Cependant, il reste clair, au vu des coefficients de détermination, que les conditions climatiques n'expliquent pas à elles seules, la totalité des variations de la morbidité palustre. La saisonnalité des bilharzioses à Korhogo se traduit par une plus importante transmission en saison sèche plutôt qu'en saison pluvieuse. Les précipitations ont été négativement corrélées avec les cas de bilharzioses obtenus un à deux mois après, avec une corrélation plus significative à un mois de décalage (décalage 0,  $r = -0,42$  et  $p = 0,177$  ; décalage +1,  $r = -0,68$  ;  $p = 0,015$  et décalage +2,  $r = -0,62$  ;  $p = 0,032$ ). La température a, quant à elle, montré des associations positives avec les cas de bilharzioses observés à différents décalage, mais significatif seulement à deux mois (décalage 0,  $r = 0,36$  et  $p = 0,251$  ; décalage +1,  $r = 0,54$  ;  $p = 0,067$  et décalage +2,  $r = 0,68$  ;  $p = 0,016$ ). Ces décalages de un à deux mois pourraient être utiles pour les responsables de santé publique, car, ils permettent, à l'avance, de faire des prévisions sur l'importance de la morbidité attendue et d'en tenir compte, notamment par rapport à la prise en charge des cas de paludisme et de bilharzioses.

## PERSPECTIVES

Ce travail prend en compte uniquement les variables climatiques. Il reste clair que les conditions climatiques n'expliquent pas à elles seules la totalité des variations des cas de paludisme et de bilharzioses. Beaucoup d'autres facteurs interviennent, notamment, l'accès aux soins de santé, les ressources économiques, les ressources hydriques, la mauvaise gestion de l'environnement,

les mauvaises conditions d'hygiène et d'assainissement, qui créent des écosystèmes propices au développement des germes pathogènes. Il serait intéressant, pour des études futures, d'associer aux facteurs climatiques les autres facteurs environnementaux, mais aussi modéliser le comportement des paramètres du paludisme et des bilharzioses en fonction des paramètres météorologiques, économiques, etc. Aussi, des enquêtes ménages pourraient-elles expliquer les caractéristiques socio-économiques des populations affectées.

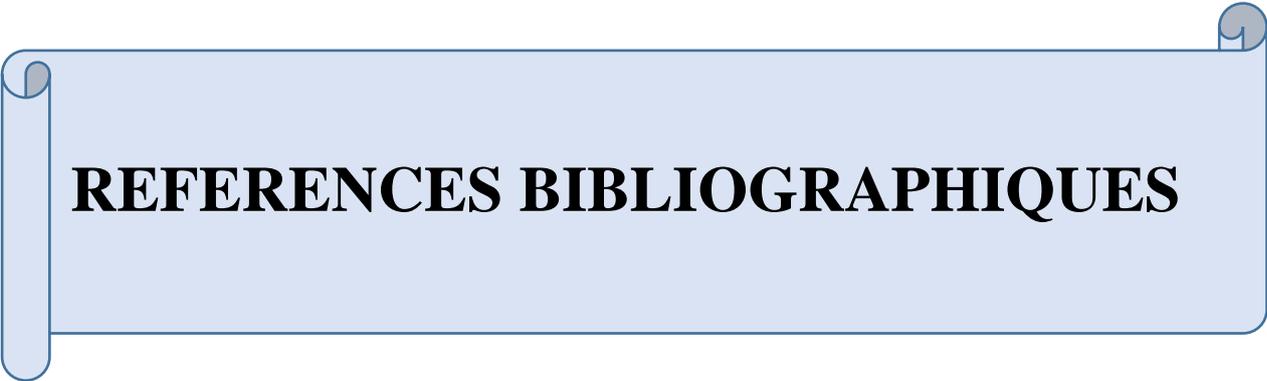
A la fin de cette étude, les recommandations suivantes sont proposées aux chercheurs, aux décideurs locaux, nationaux ainsi qu'aux communautés :

**Pour les chercheurs et les décideurs :**

- mettre en place d'un système de prévention et de riposte aux maladies climato-sensibles, notamment le paludisme et les bilharzioses ;
- élaborer de stratégies de lutte contre ces maladies adaptées aux variations climatiques ;
- favoriser l'accès à l'eau potable ;
- informer, éduquer et sensibiliser les populations sur le mode de transmission du paludisme et des bilharzioses ainsi que les moyens de protection contre ces maladies.

**Pour les communautés :**

- assainir l'environnement et promouvoir une bonne hygiène publique ;
- utiliser régulièrement les moustiquaires imprégnées d'insecticide à longue durée d'action (MILDA) ;
- éviter de se laver dans les points d'eau contaminés ;
- éviter les contacts avec les eaux infestées ou porter des gants et de longues bottes en plastiques pour tous travaux dans les eaux douces.



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**Adie H.A., Okon O.E., Arong G.A., Ekpo U.F. Et Braide E.I. (2014).** Environmental Factors and Distribution of Urinary Schistosomiasis in Cross River State, Nigeria. *International Journal of Zoological Research*, Vol. 10, N°2, pp. 42-58.

**Akoto E. M. (1990).** Christianisme et inégalités en matière de mortalité des enfants en Afrique noire. *Population*, Vol. 6, 1990, pp. 971-992.

**Anderson R.M., Mercer J.G., Wilson R.A. et Carter N.P. (1982).** Transmission of *Schistosoma mansoni* from man to snail: Experimental studies of miracidial survival and infectivity in relation to larval age, water temperature, host size and host age. *Parasitology*, Vol. 85, N°2, pp. 339-360.

**Anonyme. (2009).** Mission de suivi de la saison agricole et de la sécurité alimentaire de l'année 2008. Rapport final de mission, 16 p.

**Armatte M. (2001).** Le statut changeant de la corrélation en économétrie. *Revue économique*, Vol. 52, N° 3, pp. 617-631.

**Assoumou A., Adoubryn K.D. et Aboum S. (2008).** Portage symptomatique et asymptomatique de *Plasmodium falciparum* chez les enfants de 6 mois à 6 ans à l'hôpital général d'Abobo (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, Vol. 101, N°1, pp. 50-53.

**Aubry P. (2010).** Schistosomoses ou bilharzioses : Actualités 2010. *Médecine Tropicale*, 7 p.

**Banza B A. B. (2004).** Environnement urbain et santé : La morbidité diarrhéique des enfants de moins de cinq ans à Yaoundé (Cameroun). Thèse de doctorat en géographie de la santé, Université Paris X- Nanterre, 374 p.

**Barbosa F.S. et Barbosa C.S. (2010).** The Bioecology of Snail Vectors for Schistosomiasis in Brazil. *Cad. Saúde Públ.*, Rio de Janeiro, Vol. 10, N°2, pp. 200-209.

**Beaudou A.G. (1977).** Note sur la quantification et le langage typologique. *Cahier ORSTOM*, série pédologique, Vol. 15, N° 1, pp. 35-41.

**Bourque A. (2000).** Les changements climatiques et leurs impacts. *VertigO*, Vol.1, N°2, 27 p.

- Brooker S., Hay S.I., Issae W., Hall A. et Kihamia C.M. (2001).** Predicting the distribution of urinary schistosomiasis in Tanzania using satellite sensor data. *Tropical Medicine and International Health*, Vol. 6, N° 12, pp. 998-1007.
- Confais J. et Le Guen M. (2006).** Premiers pas en régression linéaire avec sas. *Revue Modulad*, N° 35, pp. 220-335.
- Costello A., Abbas M. et Allen A. (2014).** Managing the health effects of climate change. *The Lancet*, Vol. 373, N°1, pp. 1693-1733.
- Coulibaly A. (1978).** Le pays sénoufo. Les nouvelles éditions Africaines, Abidjan-Dakar, 47 p.
- Daouda M. (2008).** Changement climatique et développement. *Magazine trimestriel d'informations générales*, N°7, pp. 11-13.
- Davis S.A., Pech R.P. et Catchpole E.A. (2002).** Populations in variable environments: The effect of variability in a species' primary resource. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B Biological Sciences*, Vol. 357, N°1425, pp. 1249-1257.
- Diallo S., Konate L., Faye O., Ndir O. et Faye M. (1998).** Le paludisme dans le District sanitaire sud de la ville de Dakar. *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, Vol. 91, N°3, pp. 259-263.
- Doumbia S. (2010).** Impact des changements climatiques sur l'incidence du paludisme au Mali de 1998 à 2007. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bamako (Mali), 86 p.
- Doumenge J.P., Mott K.E, Cheung C., Villenave D. et Chapuis O. (1987).** Atlas of the global distribution of schistosomiasis. World Health Organization, Geneva, 398 p.
- Eholie S.P., Ehui E. et Adou B. (2004).** Paludisme grave de l'adulte autochtone à Abidjan (Côte d'Ivoire). *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, Vol. 97, N°5, pp. 340 -344.
- Etard J.F., Borel E. et Segala C. (1992).** *Schistosoma haematobium* infection in Mauritania: two years of follow-up after a targeted chemotherapy- alifetable approach of the risk of reinfection. *Tropical Medicine Parasitology*, Vol. 3, N°100, pp. 399-406.
- Fisher, R. A. et Yates F. (1963).** *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*. Edition Oliver et Boyd, Edinburgh and London, 146 p.

**GIEC (1995).** Deuxième rapport d'évaluation du Groupe d' Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, 64 p.

**GIEC (2007).** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse, 103 p.

**Ginet R. et Roux A.L. (1989).** Les plans d'organisation du règne animal. Editions DOIN, Paris, France, 247 p.

**Githeko A.K., Lindsay S.W., Confalonieri U.E. (2015).** Climate change and vector-borne diseases: A regional analysis. Bulletin of the WHO, Vol. 78, N°9, pp. 1136-1147.

**Houssou S.C. (1998).** Les bioclimats humains de l'Atacora (Nord-Ouest du Bénin) et leurs implications socioéconomiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bourgogne, 331 p.

**IRD (2007).** L'eau en partage : Les petits barrages de Côte d'Ivoire. IRD Éditions, collection Latitudes 23, 300 p.

**Jourda J.P., Saley M.B., Kouame K.J., Kouadio B.H., Biemi J. et Razack M. (2005).** Gestion et protection des ressources en eaux souterraines : contribution d'un SIG à la réalisation de la carte de vulnérabilité à la pollution des aquifères fissurés de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) selon la méthode DRASTIC. Dans les Actes de la Conférence francophone SIG 2005, du 5 au 6 octobre 2005, Paris, 16 p.

**Koffi N.M. (2016).** Maraichage urbain à Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : utilisation des intrants agricoles chimiques et risques sanitaires associés. Mémoire de Master 2, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 67 p.

**Konan Y.L., Kone A.B., Doannio J.M.C., Fofana D. et Odehouri K.P. (2009).** Transmission du paludisme à Tiassalékro, village de riziculture irriguée situé en zone sud forestière de Côte d'Ivoire. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, Vol. 102, N°1, pp. 26-30.

**Kone B., Boko K.N., Kouakou E., Koffi G.R., Houenou P.V. et Cisse G. (2009).** Sécheresse et inondation dans la ville de Korhogo (Côte d'Ivoire) : de la compréhension des causes à l'adaptation des populations aux effets sur les ressources en eaux et la santé. Présentation orale, 5<sup>ème</sup> symposium de recherches urbaines: «Villes et changements climatiques ; répondre à un agenda urgent». 28-30 juin, Marseille, France, 2 p.

**Kouakou E., Kone B., N'go A., Gueladio C. et Savane I. (2013).** Environmental Vulnerability Index: Application to the White Bandama Basin in the Northern Côte d'Ivoire. *Internationale Journal of Conservation Science*, Vol. 4, N°, pp. 357-369.

**Kouamelan A.N. (1996).** Géochronologie et géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte D'Ivoire. Implications pour la transition Archéen-Protérozoïque. Thèse Univ. Rennes 1, 284 p.

**Laomrani E.I., Lyagoubi M., Barkia A., Ayousi M. et Mahjour J. (1999).** Prévalence des parasitoses intestinales au niveau de trois provinces au Maroc. *Eastern Mediterranean health journal*, Vol. 5, N°1, pp. 86-102.

**Lemoine S. (1988).** Evolution géologique de la région de Dabakala (NE de la Côte d'Ivoire) au protérozoïque inférieur. Possibilité d'extension au reste de la Côte d'Ivoire et au Burkina Faso : Similitudes et différences ; les linéaments Greenville-Ferkessédougou et Grand Cess-Niakaramadougou. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand II), 334 p.

**Lindsay S. et Birley M.H. (1996).** Climate change and malaria transmission. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, Vol. 90, N°6, pp. 573-588.

**Mbaye I. (2014).** Perceptions des impacts sanitaires du changement climatique par les communautés de la ville de Ziguinchor (Sénégal). Actes du XXVIIe. Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), pp. 678-683.

**M'bra K.R., Kone B., Kouakou Y.E., Silue B., Cisse G. et Soro N. (2015).** Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo (Nord- Côte d'Ivoire). *Environ Risque Sante*, Vol. 14, N°3, pp. 230-241.

**MEFE (2000).** Communication Nationale Initiale de la Côte d'Ivoire. Bureau Projet Changements Climatiques. pp. 24-61.

**Millet P. (2011).** Le traitement du paludisme en Afrique subsaharienne : des progrès notables, mais des mesures pas toujours applicables. *Médecine Tropicale*, Vol. 71, N°1, pp. 5-6.

**Mouchet J., Carnevale P., Coosemans M., Julvez J., Manguin S., Richard D. et Sircoulon J. (2004).** Biodiversité du paludisme dans le monde. Edition John Libbey Eurotext, Paris, France, 107 p.

**N'goran K.E. (1987).** Situation épidémiologique des Schistosomoses en zone rurale du centre de la Côte d'Ivoire : influence d'un barrage à vocation agropastorale. Thèse du 3<sup>ème</sup> cycle, Université d'Abidjan, 108 p.

**Olds G.R. et Dasarathy S. (2001).** Recent Advances in Schistosomiasis. *Current Infectious Disease Reports*, Vol. 3, N°1, pp. 59-67.

**OMS (1993).** Lutte contre la schistosomose. Rapport d'un comité d'expert de L'OMS, Genève, série des rapports techniques, 99 p.

**OMS (1998).** Rapport de la consultation informelle de l'OMS sur la lutte contre la Schistosomiase, Genève 2-4 décembre. WHO/CDS/SIP/99.2, 65 p.

**OMS (2013).** Aperçu de la stratégie de coopération avec la Côte d'Ivoire. WHO/DGR/CCO/09.03/ Côte d'Ivoire, 2 p.

**OMS (2013).** Schistosomiase : nombre de personnes traitées dans le monde en 2013. Relevé épidémiologique hebdomadaire, Vol. 90, N ° 5, pp. 25-32.

**Ousmane N., Hesran J.Y., Etard J.F., Diallo A. et Simondon F. (1997).** Variations climatiques et mortalité attribuée au paludisme dans la zone de Niakar, Sénégal, de 1984 à 1996. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*, Vol. 11, N°1, pp. 25-33.

**Patz J.A. et Olson S.H. (2013).** Malaria risk and temperature: Influences from global climate change and local land use practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, Vol. 103, N°15, pp. 5635–5636.

**Paul S.H. et Johnson P.T. (2011).** High temperature enhances host pathology in a snail–trematode system: possible consequences of climate change for the emergence of disease. *Freshwater Biology*, Vol. 56, N°1, pp. 767–778.

**Perez S. J., Mari L., Bertuzzo E., Casagrandi R., Sokolow S. H., Mande T., Ceperley N., Froehlich J.M., Sou M., Karambiri H., Yacouba H., Maiga A., Gatto M. et Rinaldo A. (2015).** A Theoretical Analysis of the Geography of Schistosomiasis in Burkina Faso Highlights the Roles of Human Mobility and Water Resources Development in Disease Transmission. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, Vol. 9, N° 10, pp. 27-41.

**Poda J.N. et Sawadogo L. (1994).** Hôtes intermédiaires et prévalences de la bilharziose au Burkina Faso. *Science et Technique*, Vol. 20, N°1, pp. 54-67.

**Richard L.D. et Thanh H. (2007).** Bilharzioses ou schistosomoses. *La Revue du Praticien*, Vol. 57, N°1, pp. 149-155.

**Rollinson D., Knopp S., Levitz S., Stothard J.R. et Tchuem L.A. (2012).** Time to set the agenda for schistosomiasis elimination. *Acta Tropica*, Vol. 128, N°2, pp. 423-440.

**Rozendaal J.A. (1997).** Vector control. Methods for use by individuals and communities. WHO Geneva. World Health Organisation, 412 p.

**SEDES (1965).** Région de Korhogo : Etude de développement socio-économique. Rapport pédologique, Vol. 4, N°1, pp. 10-20.

**Sellin B. et Boudin C. (1981).** Les schistosomes en Afrique de l'Ouest. *Etudes Médicales*, N°1, pp. 3-86.

**Servat E., Paturel J.E., Kouame B., Travaglio M., Ouedraogo M. et Boyer J.F. (1998).** Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale. IAHS Publication, Vol. 252, N°1, pp. 323-337.

**Stensgaard A.S. (2011).** Large-scale determinants of intestinal schistosomiasis and intermediate host snail distribution across Africa: Does climate matter? *Acta Tropica*, Vol. 10, N°2764, pp. 1-13.

**Sturrock R.F. (1993).** The parasites and their life cycles. *In* JORDAN P., WEBBEG. et STURROCK R. F. Human schistosomiasis, Wallingford CAB International, pp. 1-32.

**Sutherst R.W. (2004).** Global Change and Human Vulnerability to Vector-Borne Diseases. *Clinical Microbiology Reviews*, Vol. 17, N°1, pp. 136-173.

**Swierczynski A. et Mandlik A. (2007).** Corynebacterium diphtheria employs specific minor pilins to target human pharyngeal epithelial cells. *Mol Microbiol*, N° 64, Vol. 1, pp. 111-124.

**WWFN (2001).** Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *BioScience*, Vol. 51, N° 11, pp. 935-938.

**Xiao N.Z., Guo J.Y., Kun Y. et Xian H.W. (2008).** Potential Impact of Climate Change on Schistosomiasis Transmission in China. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Vol. 78, N° 2, pp. 188-194.

**Yapi Y.G. (2008).** Endémie schistosomienne en zones de savane et de forêt montagneuse de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan, 200 p.

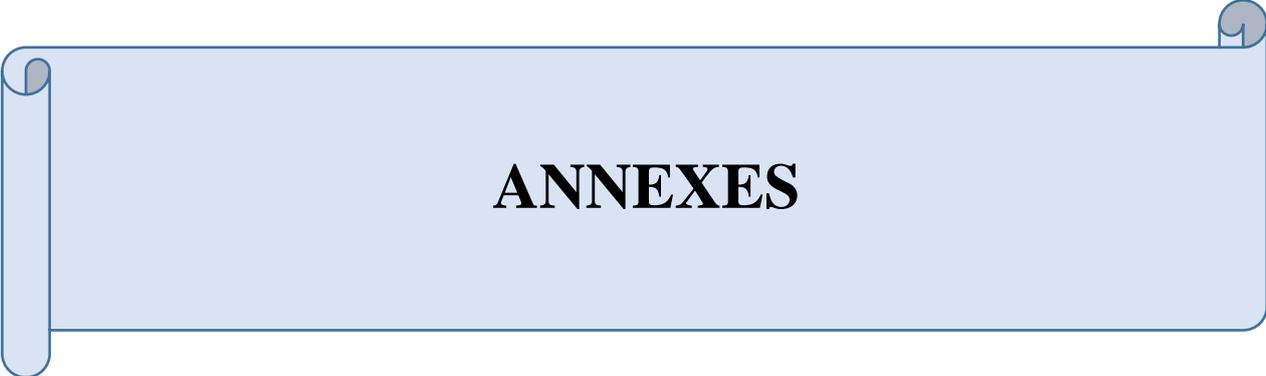
### **Références Web**

**Cyrielle H. (2007).** Le changement climatique : ses causes. Dans les amis de la terre. Disponible auprès de <http://www.amisdelaterre.org/le-changement-climatique-ses.tml>  
Consulté en mars 2016.

**OMS (2015).** Rapport sur le paludisme dans le monde, 32 p. Disponible auprès de <http://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2015/report/fr/>.  
Consulté en mai 2016.

**RGPH (2014).** Recensement Général de la Population et de l'Habitat, Côte d'Ivoire. Rapport d'exécution et présentation des principaux résultats, 49 p. Disponible auprès de <http://www.ins.ci/n/RESULTATS%20GLOBAUX.pdf>.  
Consulté en juin 2016.

**UN (2007).** Special update on floods in West Africa 25 September 2007. West Africa Regional. Disponible auprès de <http://www.reliefweb.int/rw/dbc.nsf/doc108>.  
Consulté en juin 2016.



# **ANNEXES**

**ANNEXE 1 : Données de température de la ville de Korhogo de 1972 à 2015**

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1972	26,9	28,5	28,8	27,4	26,3	25,1	24,9	24,6	24,9	25,6	27,1	26,9
1973	27,1	30,2	29,3	28,9	27,7	25,9	25,2	24,3	24,7	26	26,5	25,9
1974	25,8	28,6	28,7	27,9	27,7	26	24,2	24,2	23,9	25,2	26,3	25,6
1975	25,7	28,5	28,7	27,6	26,8	25,5	23,9	24	24,3	25,6	26,7	26,1
1976	26,3	27,8	28,5	28,3	27	25,1	24,5	24,6	24,7	24,4	25,2	25,8
1977	27,2	28,6	29,8	29,2	26,9	25,7	24,8	24,5	24,8	26,1	27,1	26,4
1978	27,7	29,6	28,6	27,1	26,7	25,4	24,3	24,7	24,7	25,7	26,5	26,7
1979	27,6	28,8	28,9	28,4	27,1	24,9	24,5	26,1	24,4	25,9	26,8	25,8
1980	24,5	28,9	29,6	28,5	27	26,1	24,6	24,4	24,9	25,4	26	25,3
1981	26,4	29,3	28,3	28,4	26,7	25,7	24,4	24,5	24,6	26,6	26,8	27,2
1982	26,4	28,8	28,5	27,7	28	25,9	24,9	24,2	25,1	25,5	26,1	25,9
1983	25,1	29,2	30,7	30	28,1	26,2	25,3	25,3	25,3	27,3	27,1	26,6
1984	27	28,7	29,1	28,8	27,4	25,9	24,7	24,9	24,9	26,2	26,7	25,3
1985	27,4	28,4	29,8	28,9	26,8	25,8	24,2	24,3	24,5	26,5	27	25,1
1986	26	29,9	29,2	28,9	28,2	25,8	24,9	24,4	24,9	25,9	25,9	25
1987	27,7	29,7	29,7	31	28,8	26,7	26,6	25,2	25,7	26,7	27,6	26,4
1988	26,7	29,6	30	29,9	29,3	26,6	25	24,5	25,2	26,6	26,5	24,8
1989	26	28,2	29	28,9	28,1	26,2	25	24,9	25	26,6	28,1	26,5
1990	27,3	28,8	30,8	29,4	28,1	26,9	25,3	25	25,4	26,6	27,5	27,1
1991	28,1	30	30	28,4	26,9	26,7	25,1	24,9	25,5	25,5	27,2	26,4
1992	25,8	29,2	29,9	29,1	27,3	25,6	24,9	24,8	25,2	26,1	26,1	26,9
1993	26,1	28,9	28,2	28,4	28,1	26,4	25,4	25,2	25,1	26,5	27,5	27
1994	27	28,7	30	29,5	28,4	26,2	25,2	24,8	25	25,2	26,8	25,8
1995	25,7	28,8	29,6	28,6	27,6	26,7	25,1	25,3	25,5	25,7	26,8	26,6
1996	27,9	29,1	29,8	28,6	28	25,9	25,3	24,8	24,7	25,9	26,9	26,4
1997	27,6	28,4	29,8	28,5	28	25,6	25,6	25,2	25,4	26,6	27,5	26,9

1998	27,4	30,7	31,5	29,6	28,8	27	25,5	24,9	25,3	25,7	26,8	26,3
1999	27,3	28,6	29,7	28,7	28,2	26,7	25,1	24,6	24,7	25,6	26,7	25,9
2000	27,7	27,4	30,1	29,6	27,6	25,8	24,7	24,6	25	26,1	26,8	26,1
2001	26,9	28,2	30,1	29,4	28,1	26,6	25,4	24,8	24,9	26,4	26,6	26,6
2002	26,2	29	30,4	29,1	28,8	25,9	25,7	25,1	25,0	26,3	27,5	27,0
2003	27,2	30,5	30,2	28,9	28,6	26,0	25,2	24,9	25,0	26,9	27,1	26,5
2004	27,3	29,3	29,7	28,5	27,3	26,6	25,0	25,0	25,6	26,7	27,2	28,2
2005	26,5	30,5	30,8	29,6	28,0	25,9	25,8	25,0	25,2	26,7	27,5	27,5
2006	26,5	29,6	30,4	29,2	27,5	26,5	26,1	25,2	25,2	26,8	27,0	26,9
2007	26,9	29,8	30,4	29,4	28,6	26,7	25,8	24,9	25,5	26,7	26,3	26,8
2008	25,0	29,2	29,4	29,8	28,4	27,1	25,4	25,7	26,1	27,6	27,9	27,6
2009	26,7	30,5	29,8	29,7	28,9	26,9	26,1	25,2	25,9	27,1	27,2	28,2
2010	28,6	30,2	31,5	29,9	28,2	27,1	25,9	25,3	25,6	26,6	27,9	27,7
2011	27,1	30,0	30,2	29,4	28,1	26,7	25,7	25,4	25,7	26,4	27,0	26,4
2012	26,9	29,6	29,7	29,1	27,7	26,4	25,5	25,3	25,6	26,9	28,0	26,6
2013	26,8	30,0	30,7	29,5	28,5	27,2	25,5	25,0	25,7	27,0	27,7	26,6
2014	28,3	29,1	29,7	29,1	28,0	26,7	25,7	25,2	25,6	26,9	27,4	27,1

**ANNEXE 2 : Données de précipitations de la ville de Korhogo de 1972 à 2014**

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1972	0,0	15,5	58,6	72,5	354,4	192,2	175,7	202,5	145,9	120,4	0,0	23,9
1973	0,0	0,0	18,8	140,1	122,2	126,3	202,0	259,4	228,1	82,8	5,6	0,0
1974	0,0	0,0	93,7	157,6	76,1	105,3	245,7	259,9	263,9	179,9	13,9	0,0
1975	0,0	0,0	96,7	116,5	118,0	115,4	271,1	292,5	229,6	65,9	5,3	15,4
1976	5,4	53,2	107,1	45,7	96,4	117,4	150,8	99,0	181,9	267,0	117,3	0,0
1977	20,2	13,1	40,8	20,4	155,2	182,6	36,4	140,1	181,3	76,0	0,7	0,0
1978	0,0	0,0	25,1	168,9	170,8	85,5	244,9	87,2	167,4	80,0	1,8	0,0
1979	23,9	12,0	50,1	75,5	141,0	236,6	283,1	287,0	321,9	63,2	31,8	29,9
1980	57,8	0,0	8,4	37,5	185,0	72,4	227,5	266,2	256,3	198,0	17,2	20,1
1981	0,0	26,6	60,0	91,6	203,5	186,0	169,8	271,2	147,9	34,1	7,5	0,0
1982	0,0	15,0	196,7	120,5	40,0	149,1	121,8	235,1	179,2	103,9	9,4	0,0
1983	0,0	41,8	3,2	48,7	98,0	205,4	144,6	103,9	154,3	2,1	29,3	4,3
1984	0,0	0,0	85,0	114,4	156,2	171,0	229,5	207,3	260,6	156,3	29,8	0,0
1985	0,0	1,9	103,3	91,4	155,5	118,7	226,4	373,5	283,4	63,1	7,8	0,0
1986	0,0	8,1	2,3	88,3	127,4	167,3	197,3	261,9	321,2	53,7	50,5	0,0
1987	30,9	17,4	22,2	10,4	65,6	179,8	135,7	455,5	111,2	111,8	35,7	0,0
1988	0,0	0,0	75,1	31,3	86,4	85,8	255,1	307,8	317,3	63,3	53,1	0,0
1989	0,0	0,0	22,7	110,4	152,7	88,1	334,9	238,4	252,7	31,1	0,8	9,9
1990	0,0	4,7	18,6	58,4	127,5	107,0	192,9	220,3	146,3	80,6	3,1	0,0
1991	0,0	1,1	76,5	99,2	192,8	109,9	227,6	290,5	115,7	88,4	10,5	0,0
1992	0,0	11,2	38,0	117,9	264,9	112,4	366,0	216,6	102,0	123,1	41,9	0,0
1993	0,0	1,2	103,1	152,4	124,7	138,5	110,9	165,4	208,0	77,6	21,3	0,0
1994	39,5	16,1	46,0	60,5	97,5	84,9	207,5	228,7	223,6	189,6	8,4	0,0
1995	0,0	0,0	76,3	108,7	113,2	201,1	246,0	215,2	213,4	132,4	9,2	40,3
1996	0,0	61,6	36,0	63,4	62,8	116,1	125,9	276,8	310,8	94,8	0,0	26,1
1997	11,5	0,0	14,1	75,8	72,4	181,2	128,2	290,5	298,5	154,6	5,2	0,0

## XVIII

1998	0,0	0,0	0,4	205,6	28,7	123,5	268,4	237,7	246,2	215,8	25,0	0,0
1999	0,0	0,5	31,5	50,5	86,9	125,3	108,2	305,7	219,2	192,8	9,3	0,0
2000	13,6	0,0	10,1	61,7	187,7	133,7	206,7	184,5	142,2	69,4	9,2	0,0
2001	0,0	0,0	24,0	74,6	114,8	138,8	141,2	246,4	236,3	65,2	30,2	0,0
2002	37,6	0,0	27,1	94,7	40,1	281,5	164,9	168,2	200,1	104,1	6,4	8,3
2003	6,3	40,5	39,0	93,2	87,8	202,9	211,6	231,6	224,4	108,3	28,4	0,0
2004	25,6	18,9	36,4	95,8	108,4	109,2	171,1	217,5	192,5	86,8	31,8	6,3
2005	10,1	4,9	46,1	90,7	104,1	130,0	190,6	244,6	215,1	87,3	10,2	8,1
2006	19,8	14,0	37,7	78,3	146,1	136,3	108,5	164,9	235,9	96,7	9,5	1,3
2007	1,8	4,7	20,9	84,1	89,6	112,9	301,2	259,8	198,3	71,8	23,1	3,3
2008	9,3	24,1	53,2	75,0	138,5	125,4	292,9	277,4	236,9	109,4	14,5	2,3
2009	4,5	32,1	66,2	81,8	88,7	145,9	141,7	194,9	217,4	136,6	31,5	4,6
2010	6,7	22,2	56,4	86,2	212,6	157,6	245,1	276,1	310,5	151,0	16,1	9,5
2011	4,0	25,8	51,4	88,4	126,9	134,5	271,1	168,2	194,0	146,9	66,9	0,0
2012	0,0	72,3	30,5	85,1	198,9	247,5	177,4	266,4	266,4	111,8	7,8	1,3
2013	0,0	1,0	71,3	118,9	218,9	112,5	109,2	284,7	374,4	77,2	6,8	1,6
2014	0,0	0,0	5,2	90,0	121,5	144,7	204,2	237,4	249,9	109,9	20,7	3,6

**ANNEXE 3 : Cas de paludisme de la ville de Korhogo de 2005 à 2014**

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2005	260	263	219	187	314	348	399	445	454	479	459	327
2006	231	180	242	197	330	382	395	501	550	494	487	301
2007	509	478	459	386	582	532	561	560	700	818	734	610
2008	502	495	379	408	501	742	719	902	872	1022	945	490
2009	319	318	336	361	580	652	646	734	630	706	778	638
2010	516	465	442	329	628	787	740	727	650	737	877	597
2011	1173	728	839	1354	1371	1306	1536	1243	1532	1520	1611	943
2012	1009	724	1061	1287	1474	1217	1711	1186	1574	1554	1290	609
2013	1584	970	914	1435	1398	1753	1689	1368	1553	1501	1812	1196
2014	576	570	580	573	582	571	592	582	589	581	586	575

XIX

**ANNEXE 4 : Cas de bilharzioses de la ville de Korhogo de 2005 à 2014**

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2005	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2006	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
2007	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
2008	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
2009	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	2
2010	0	0	1	2	2	0	1	0	0	0	0	1
2011	1	3	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0

**ANNEXE 5 : Indice de végétation (NDVI) de la ville de Korhogo de 2005 à 2014**

<b>Année</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>
2005	0,18	0,17	0,19	0,17	0,20	0,25	0,22	0,24	0,22	0,23	0,22	0,18
2006	0,16	0,16	0,18	0,18	0,25	0,21	0,19	0,24	0,29	0,21	0,22	0,16
2007	0,14	0,14	0,15	0,17	0,23	0,20	0,18	0,24	0,30	0,20	0,23	0,19
2008	0,15	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,17	0,20	0,25	0,18	0,20	0,19
2009	0,17	0,14	0,16	0,19	0,25	0,21	0,27	0,23	0,18	0,23	0,19	0,16
2010	0,16	0,17	0,16	0,16	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21	0,31	0,20	0,17
2011	0,16	0,16	0,16	0,18	0,22	0,21	0,16	0,21	0,27	0,25	0,20	0,17
2012	0,17	0,15	0,15	0,19	0,20	0,18	0,19	0,22	0,22	0,20	0,20	0,17
2013	0,16	0,16	0,17	0,19	0,21	0,21	0,19	0,23	0,20	0,24	0,17	0,18
2014	0,16	0,14	0,14	0,17	0,20	0,24	0,20	0,13	0,20	0,21	0,20	0,16

**ANNEXE 6 : Table du coefficient de corrélation (Fisher et Yates, 1963)**

<b>ddl \ <math>\alpha</math></b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>
<b>1</b>	0,9877	0,9969	0,9995	0,9999
<b>2</b>	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900
<b>3</b>	0,8054	0,8783	0,9343	0,9587
<b>4</b>	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172
<b>5</b>	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745
<b>6</b>	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343
<b>7</b>	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977
<b>8</b>	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646
<b>9</b>	0,5214	0,6021	0,6851	0,7348
<b>10</b>	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079
<b>11</b>	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835
<b>12</b>	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614
<b>13</b>	0,4409	0,5139	0,5923	0,6411
<b>14</b>	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226
<b>15</b>	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055
<b>16</b>	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897
<b>17</b>	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751
<b>18</b>	0,3783	0,4438	0,5155	0,5614
<b>19</b>	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487
<b>20</b>	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368
<b>25</b>	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
<b>30</b>	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487
<b>35</b>	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182
<b>40</b>	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
<b>45</b>	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721
<b>50</b>	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541
<b>60</b>	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248
<b>70</b>	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017
<b>80</b>	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830
<b>90</b>	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673
<b>100</b>	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540

## ANNEXE 7 : Extraction des données de précipitations, de température et de NDVI

### Extraction des données de précipitations et de température

L'extraction des données de précipitations commence par l'accès au site internet de IRI. Cela se fait à travers le lien suivant : [iri.columbia.edu](http://iri.columbia.edu). Une fois accéder à l'interface, cliquer successivement sur les fenêtres Map rooms, puis sur climate Data Library. Cette partie concerne aussi bien l'extraction des données de précipitations, de température et de l'indice de végétation.

#### Etape 1 : extraction des données de précipitation

Les données étant organisées par source, il faut cliquer sur la fenêtre donnée par source pour voir à quelle source correspond les données de précipitations. Ces dernières sont à rechercher à l'Université de Santa Barbara matérialisée par le sigle UCSB. Après le clic, deux variables s'affichent et le choix se porte sur la 2<sup>nd</sup>e (CHIRPS). Des différentes versions qui apparaissent, il faut cliquer sur la version V2.0 qui comprend les données journalières, décadaires et mensuelles. On Choisit ensuite la période qui nous intéresse parmi les trois précédentes citées puis on clique sur « global ». Le lien CHIRPS precipitation qui apparait permet d'accéder à la fenêtre mode expert qui est la fenêtre de commandes de la *Data Library*. Un espace de travail apparait. Il faut y entrer les coordonnées de la zone d'étude (degré décimal) puis la durée de la série pluviométrique que nous souhaitons extraire. On valide en appuyant sur ok et on clique ensuite sur data tables pour accéder aux différentes données de précipitations de la zone d'étude.

#### Etape 2 : extraction des données de température

Pour ce qui concerne la température, la source est à rechercher à la Surveillance Géologique des Nations Unies notée USGS. Différentes variables apparaissent et on clique sur LandDAAC qui comprend le capteur MODIS. Ensuite, on clique sur la résolution de 1km/250m où les données sont respectivement disponibles chaque 8 et 16 jours. On sélectionne la version 005 qui apparait puis on clique sur le lien Aqua. Pour accéder aux données de température de l'Afrique de l'ouest où se trouve notre zone d'étude et on choisit l'abréviation WAF. Il sera ensuite demandé de choisir les données de température de jours (WestAfrica day) ou de nuit (WestAfrica night). Une fois le choix effectué, on clique sur la variable LST puis sur la fenêtre mode expert qui est la fenêtre de commandes de la *Data Library*. Un espace de travail apparait et on entre les coordonnées de la zone d'étude (degré décimal). On valide en appuyant sur ok

et on clique ensuite sur data tables pour accéder aux différentes données de précipitations de la zone d'étude.

### **Etape 3 : extraction des données du NDVI**

La procédure d'extraction des données du NDVI est la même que celle des données de température jusqu'au lien contenant le capteur MODIS. Ensuite, on clique sur la Version 005 puis sur WestAfrica où les données du NDVI sont stockées. La fenêtre mode expert qui est la fenêtre de commandes de la *Data Library* apparaît. Un espace de travail apparaît et on entre les coordonnées de la zone d'étude (degré décimal). On valide en appuyant sur ok et on clique ensuite sur data tables pour accéder aux différentes données de précipitations de la zone d'étude.