



ISSN NO. 2320-5407

Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/17354
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/17354>



INTERNATIONAL JOURNAL OF
ADVANCED RESEARCH (IJAR)
ISSN 2320-5407
Journal Homepage: <http://www.journalijar.com>
Journal DOI: 10.21474/IJAR01

RESEARCH ARTICLE

INFLUENCE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR L'ABONDANCE DES ANOPHELES DANS LES DIFFERENTS AGROECOSYSTEMES DE LA VILLE DE NIAMEY

Noura Mamane Salé^{1,2}, Halima Zamanka Naroua², Wilfried Zoukifouly Hounkarin², Rabi'ou Labbo², Ibrahim Maman Laminou², Ali Djibo Souley², Amadou Soumana², Ibrahima Issa Arzika², Ronan Jambou^{2,3} and Ali Doumma¹

1. Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni Niamey, Niger.
2. Unité de Paludologie et d'Entomologie Médicale, Centre de Recherche Médicale et Sanitaire, BP10887, Niamey Niger.
3. Département Santé Globale, Institut Pasteur, Paris, France.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 05 June 2023
Final Accepted: 09 July 2023
Published: August 2023

Key words:-

Anopheles, Abondance, Season, Environment, Agroecosystem, Niamey

Abstract

Niamey is characterized by an unprecedented expansion due to a galloping increase in its population and a development of the hydro-agricultural sector favorable to the development of *Anopheles* and the maintenance of malaria transmission. This study describes the spatial and temporal dynamics of *Anopheles* in relation to environmental factors. Mosquito sampling was carried out at six different sites, with two passes during each of three seasons (rainy, cold and warm) of year. Twenty-four houses were surveyed during each run at each site. Mosquitoes were collected by intra-domiciliary spraying and CDC light traps, then transported to laboratory for identification according to genus, sex and species. Ecological data were collected at each site, and climatic data were provided by research institute for development (IRD). Overall, 22340 Culicidae females were captured and the genus *Anopheles* was most abundant with 81.20% (N=18141) and *Anopheles gambiae s.l.* was the predominant species with a special and temporal distribution significantly different ($p < 0.05$). In most sites, the genus *Anopheles* was most abundant during the rainy season ($p < 0.05$). *Anopheles* abundance was linked to habitat type, dirtiness, presence of large ruminants, distance house-larval site and agricultural practice $p < 0.05$. *Anopheles* dynamics were positively correlated with rainfall, humidity and dew point, with correlation coefficients $r = 0.53$; $r = 0.59$ and $r = 0.39$ respectively. These results are interest for national malaria control program, as they will enable it to better adapt its control interventions based on seasons, typology and proximity of site to hydro agricultural installations.

Copy Right, IJAR, 2023., All rights reserved.

Introduction:-

Le paludisme humain, parasitose causée par quatre principaux espèces plasmodiales et transmise par les moustiques du genre *Anopheles*, est l'un de principaux problèmes de santé publique en Afrique Sub-saharienne. En 2020, l'OMS a enregistré 228 millions de cas dans le monde avec 602.000 cas de décès. La région d'Afrique de l'OMS a

Corresponding Author:- Noura Mamane Salé

Address:- Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni Niamey, Niger.

enregistré 95% et 96% respectivement de cas et de décès mondiaux [1]. L'Afrique de l'Ouest reste la partie du monde la plus touchée enregistrant 55% des cas à l'échelle planétaire [1].

La transmission palustre est très hétérogène entre le milieu urbain et rural. En Afrique de l'Ouest, le paludisme urbain a fait l'objet de plusieurs études [2–4] et reste encore un problème de santé publique [5]. Une augmentation de la transmission palustre en milieu urbain a été mise en évidence de 2003 à nos jours par [2]. Cependant, les variables influant sur l'intensité de la transmission palustre urbaine sont mal définies d'une ville à l'autre et d'une partie à l'autre au sein d'une même ville [6]. La différence entre les villes pourrait provenir de l'échelle du développement urbain, de la taille de la population et de l'ampleur de l'urbanisation non planifiée. Celle-ci est caractérisée par un système de drainage médiocre, la présence fréquente d'eaux stagnantes du fait du mauvais état des routes et de l'habitat précaire, sans gestion des écoulements hydriques et peu étanche aux moustiques. Ces facteurs sont considérés comme affectant la distribution de la population de vecteurs et le mode de transmission du paludisme [7].

En effet, plusieurs études ont montré que l'amélioration des habitats humains limite considérablement la présence et l'entrée des moustiques dans les maisons [8–11]. Des ouvertures modernes, de bonne qualité offrent une protection élevée contre les piqûres de moustiques et donc la transmission palustre, relativement aux habitats traditionnels [10,12].

D'autres paramètres écologiques locaux tels que la pratique agricole dans le péri- et centre-urbain, mais aussi la pluviométrie et l'humidité ont un impact profond sur la distribution de la population de vecteur et l'intensité de la transmission du paludisme [5,13]. Les variables climatiques influencent l'abondance des moustiques adultes en modifiant la quantité et la qualité des habitats de reproduction [14].

La connaissance de la dynamique saisonnière des populations et espèces de moustiques, et de leur distribution spatiale est essentielle pour développer les futurs outils pour une surveillance et une lutte anti-vectorielle efficace [5,15,16] par de meilleures stratégies de gestion des maladies transmises par les moustiques [17,18]. En effet, il a été montré que la mise sur pied d'une méthode de lutte antivectorielle efficace dépend de la disponibilité, pour un faciès éco-climatique donné, des informations entomologiques fiables et actualisées pouvant rendre compte de l'identité et de la bio-écologie des moustiques-vecteurs et aussi de la distribution spatio-temporelle [19]. Ces données sont nécessaires parcequ'elles permettent aux organismes de lutte contre le paludisme de connaître les endroits exacts où la transmission du paludisme est élevée et la période optimale pour l'application d'une méthode de lutte afin d'en obtenir l'impact maximum sur le pic de piqûre des vecteurs du paludisme [20]. Le succès de la planification, de la mise en œuvre et de l'évaluation des interventions de lutte antivectorielle en dépend [21]. C'est donc pour cette raison que la disponibilité de données entomologiques à jour devrait être une priorité pour guider l'élaboration des stratégies de lutte antivectorielle [5,22].

A ce jour, la ville de Niamey fait face à une urbanisation rapide et non planifiée, transformant au fil du temps certains villages, situés jusqu'à 25km, en quartiers périphériques [23]. En effet, l'extension de la ville peut contribuer à l'augmentation du nombre de gîtes larvaires, et donc du risque de la prolifération et de piqûres des moustiques envers une population humaine elle-même croissante conduisant à une augmentation de la transmission du paludisme [24]. La modernisation urbaine, déjà amorcée, reste un grand défi au développement de la ville de Niamey. Dans la plupart des quartiers périphériques, les habitats humains sont rudimentaires. Le fleuve Niger traverse plusieurs de ces quartiers, ce qui offre à la population riveraine l'opportunité de pratiquer la riziculture et les cultures de maraichage afin de subvenir aux besoins alimentaires grandissant d'une population en croissance exponentielle. Malheureusement, ces activités agricoles sont de nature à créer de conditions favorables à la formation de collections d'eau parfois permanentes, constituant, en plus du fleuve Niger et des mares déjà existantes, des potentiels gîtes larvaires supplémentaires. En effet, selon le Programme de Nations Unies pour le Développement (UNDP), l'agriculture urbaine, promue pour accroître la sécurité alimentaire et réduire la pauvreté, pourrait, en particulier lorsqu'elle est irriguée, exposer la population locale à l'augmentation de gîtes de moustiques vecteurs [25,26] et ainsi augmenter le risque de la transmission du paludisme urbain [24,25,27]. Ceci serait de nature à différencier encore l'épidémiologie du paludisme urbain de celle des zones rurales [6].

Au Niger, peu des données entomologiques sont disponibles pour aider le programme national de lutte contre le paludisme à mieux cerner les contours épidémiologiques du paludisme, y compris pour le contrôle des facteurs environnementaux favorables au développement des anophèles. L'analyse des facteurs environnementaux sur la

distribution spatio-temporelle des moustiques anophèles vecteurs du paludisme est donc primordiale. C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée pour décrire la distribution spatiale et temporelle des anophèles et analyser les facteurs environnementaux influençant cette distribution à Niamey.

Méthodologie:-

1. Typologie et période d'étude

C'est une étude descriptive, transversale et répétée, avec deux passages pendant les trois saisons: saison froide, saison chaude et saison pluvieuse. Cette étude a été conduite entre janvier et décembre de l'année 2020.

2. Sites d'étude

L'étude a été conduite à Niamey, (13°31'17''S, 2°26'19''E), capitale du Niger. La ville de Niamey, érigée en région, est subdivisée en 5 arrondissements et couvre une superficie de 250 km² avec environ 110 quartiers et villages administratifs. Avec un taux d'accroissement annuel de 3,83%, la population de la ville de Niamey est estimée à environ 1, 56 million d'habitants en 2019 avec une densité de 4876,3 habitants/km²[28].

Les conditions climatiques sont semi-arides avec une saison des pluies relativement courte s'étendant sur 4 mois (juin à septembre). Les précipitations annuelles moyennes sont de 550 mm avec près de 80% des pluies survenant au cours des mois de juillet et août. Les températures varient en moyenne de 41°C en avril à 19°C en décembre [29]. Le réseau hydrologique est constitué pour l'essentiel du fleuve Niger et ses affluents et des mares semi et permanentes.

Six quartiers/sites ont été prospectés dans cette étude (**Figure 1**), à savoir: Tondibiah, Goudel, Lamordé, Gamkallé, Banigoungou et Koira-Tegui. Les cinq premiers sont des quartiers riverains situés respectivement d'amont en aval le long du fleuve.

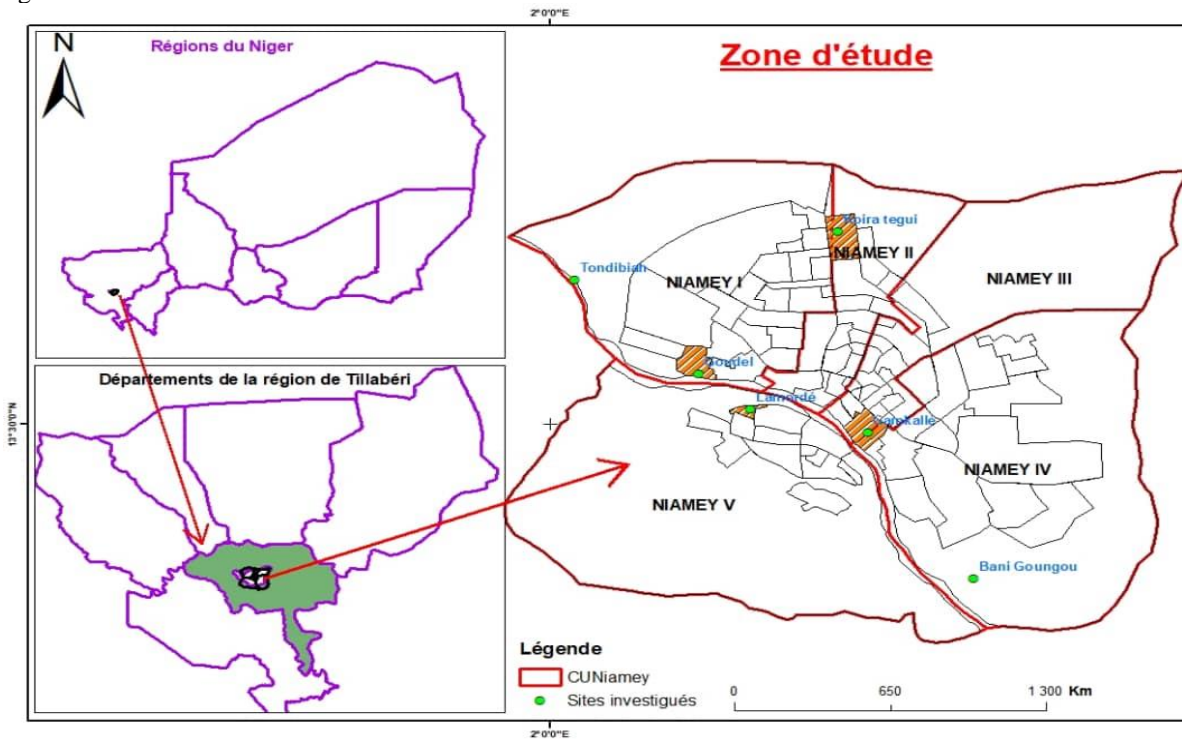


Figure 1:- Carte présentant les sites de collecte (en point vert) des moustiques.

L'ensemble de ces sites présentent un agroécosystème varié: rizicole, maraichage, industriels... (**Tableau1**).

Tableau 1:- Caractéristiques des sites d'étude et leur position par rapport au fleuve.

Site	Tondibiah	Goudel	Lamordé	Gamkallé	Banigoungou	Koira-Tegui
Population	18602	24260	22868	65102	7160	35000
Position/fleuve Niger	Amont	Amont	Intermédiaire	Intermédiaire	Aval	Non riverain
Longitude	2°00'97''1	2°05'83''7	2°07'87''4	2°12'48''7	2°16'55''5	2°11'31''4

Latitude	13°56'58''8	13°52'28''8	13°50'69''4	13°49'64''4	13°41'88''2	13°58'77''6
Pratique agricole dominante	Riziculture	Maraichage	Riziculture	Maraichage	Riziculture	Culture saisonnière
Type de gîte permanent	Fleuve	Fleuve-mare	Fleuve-mare carrière	Fleuve	Fleuve-mare carrière	Mare
Type de quartier	Traditionnel	Semi-moderne	Semi-moderne	Traditionnel	Traditionnel	Moderne

3. Capture des moustiques adultes

Deux méthodes de capture ont été utilisées pour la collecte de moustiques adultes: capture par pyréthrage et capture par Piège lumineux CDC.

- ✓ **Sélection des maisons:** Au niveau de chaque site, vingt-quatre maisons ont été sélectionnées au hasard de façon dispersée. Le consentement éclairé oral et préalable de leurs propriétaires est acquis après information sur l'étude. Les 24 maisons échantillonnées par quartier ont été utilisées tout au long de l'étude: 20 pour le pyréthrage et 4 pour les pièges lumineux. Au niveau de chaque maison prospectée, les paramètres suivants ont été collectés : le nombre de dormeurs, l'usage de moustiquaire imprégnée à longue durée d'action (MILDA), le type d'habitat, la propreté (présence d'ordures, fiente d'animaux, débris...) la présence ou absence de végétation (type de végétation), des gros ruminants, petit ruminants ou pas dans la concession ou l'environnement immédiat (à la porte ou à côté du mure), la pratique agricole majeure pratiquée par la population, la distance maison-gîte larvaire.
- ✓ **Capture par pyréthrage:** Cette technique consiste à obstruer toutes les issues et à traiter les chambres tôt le matin (07-10h) au moyen de pulvérisation d'insecticides puis à collecter, après 10-15 minutes, les moustiques tombés par effet « Knock-down » sur les draps clairs préalablement étalés [30].
- ✓ **Capture par Piège Lumineux:** huit pièges lumineux de type CDC ont été utilisés au niveau de chaque quartier par passage. Ces pièges, installés à 1,5 m de sol, ont été posés à 18h et relevés à 6h du matin ; les moustiques capturés ont été transportés au laboratoire pour identification [31].
- ✓ **Identification morphologique et conservation des moustiques:** Tous les moustiques récoltés ont été acheminés au laboratoire d'entomologie médicale puis identifiés selon le genre, le sexe et l'espèce sur la base de critères morphologiques. Les clés de détermination de Gillies et Coetzee (1987) et celle de Gillies et de Meillon (1968) ont été utilisées pour identifier les espèces anophéliennes à l'aide de la loupe binoculaire. Après identification et dénombrement de tous les échantillons, les résultats ont été enregistrés dans une base des données et les moustiques anophèles conservés dans les plaques 96 puits au congélateur -20°C pour analyse moléculaire ultérieure.

4. Collecte des données climatiques

Les données climatiques (pluviométrie, humidité, température et point de rosée) ont été obtenues à partir de la station IRD basée à Niamey. Nous avons évalué l'effet des variables obtenues à partir d'une seule station sur l'ensemble des données, tous sites confondus.

5. Saisie et analyse des données

Après recueil sur des fiches de terrain pour les facteurs environnementaux et dans le registre pour les dénombrements des échantillons, les données ont été saisies sur Excel et Word (Office 2010). Les analyses statistiques ont été effectuées avec R version v.3.6.0. et SPSS (Statistical Package for Social Sciences) Version 25.

Les abondances ont été comparées selon les sites, la méthode de capture et les saisons par test Kruskal-Wallis. Les variations de la densité moyenne ont été comparées selon les facteurs environnementaux par ANOVA. Le seuil de significativité a été fixé à 0,05. Les relations entre les variables climatiques et les données entomologiques ont été analysées par corrélation linéaire avec logiciel R et les graphes ont été générés avec le logiciel Excel.

Résultats:-

1. Abondance et distribution spatiale de moustiques

Au total 22340 femelles Culicidae ont été capturées sur l'ensemble des sites pendant la période d'étude. Trois genres de moustiques ont été récoltés: *Culex*, *Aedes* et *Anopheles*. Le genre *Anopheles* était le plus abondant avec 18141 moustiques, soit 81,2%, suivi de 4086 *Culex* (18,3%) et *Aedes* comptant un effectif de 113 moustiques soit 0,51%. La distribution des moustiques anophèles diffère selon les sites ($p < 0,05$, **Tableau II**). La majorité (15060 soit 67,41%) des moustiques collectés proviennent du quartier le plus aval, Banigoungou, avec 94,4% d'anophèles. A Tondibiah, le site le plus en amont était le second site en termes d'abondance avec 2886 moustiques dont 49%

anophèles. A Lamordé; Gamkallé; Goudel et Koira-Tegui, le nombre de Culicidae collectés et le pourcentage d'anophèles étaient respectivement de 1562 (69,27%); 1201 (20,98%); 1198 (64,44%) et 433 (23,79%)

Tableau II. Les analyses des données qui suivront prendront en compte l'ensemble des espèces du genre *Anopheles* collectées en sachant qu'ils'agit essentiellement d'*An gambiae s.l.* collectés avec les deux méthodes.

Tableau II:- Abondance et distribution spatiale des moustiques.

Quartier	<i>Anopheles</i> (%)	Culicinae		Total/Quartier
		<i>Culex</i> (%)	<i>Aedes</i> (%)	
Banigoungou	14520 (96.41)	540 (3.59)	0 (0.00)	15060 (67.41)
Gamkallé	252 (20.98)	839 (69.86)	110 (9.16)	1201(5.38)
Goudel	772 (64.44)	426 (35.56)	0 (0.00)	1198 (5.36)
Koira-Tegui	103 (23.79)	327 (75.52)	3 (0.69)	433 (1.94)
Lamordé	1082(69.27)	480 (30.73)	0 (0.00)	1562 (6.99)
Tondibiah	1412 (48.93)	1474 (51.07)	0 (0.00)	2886 (12.92)
Total général	18141 (81.20)	4086 (18.29)	113 (0,51)	22340 (100)

La comparaison de l'abondance des anophèles selon la méthode de capture et par site montre qu'il n'y a pas de différence statistique au niveau de tous les sites selon que les anophèles soient capturés par aspersion intra domiciliaire ou par piège lumineux exceptés à Banigoungou ($p=0,01$). Par contre, l'analyse de résultat total par méthode de capture montre qu'il y a une différence statistiquement différent ($p=0,007$) **Tableau III.**

Tableau III:- Abondance d'*Anopheles* capturés selon la méthode de capture.

Méthode de capture	Banigoungou	Gamkallé	Goude l	Koira-Tegui	Lamordé	Tondibia h	Total par méthode capture
FR	13664	234	665	95	758	1063	16479
PL	856	18	107	8	324	349	1662
Total par site	14520	252	772	103	1082	1412	18141
P-value	0,01*	0,261ns	0,515ns	0,71ns	0,835ns	0,103ns	0,007*

FR : Faune résiduelle ; PL: Piègelumineux; *: test significatif; ns: non significatif

2. Variation saisonnière de l'abondance des anophèles selon les sites d'étude

L'étude a mis en évidence une variation saisonnière de la densité anophélienne selon les sites.

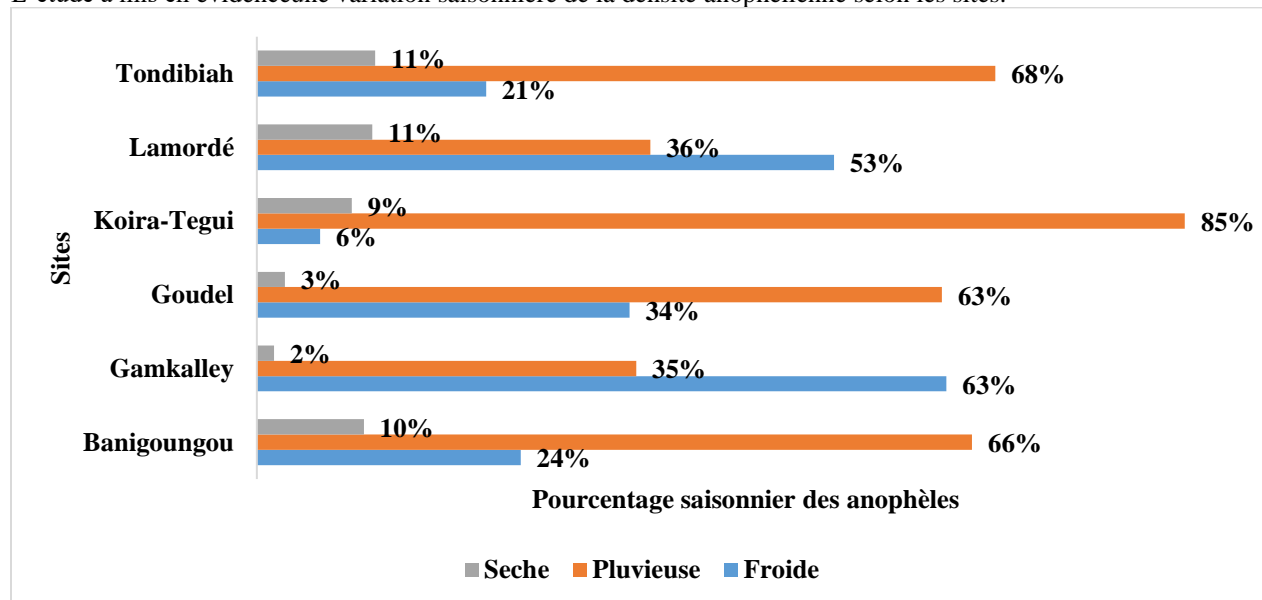


Figure 2:- Fluctuation saisonnière de l'abondance anophélienne selon les sites.

Le Test de Kruskal-Wallis a montré que la variation de la densité des anophèles selon les saisons était significativement différente, tous sites confondus ($p < 0,05$). Les plus grandes densités anophéliennes relatives ont été observées pendant la saison pluvieuse au niveau de quatre sites; seuls Gamkallé et Lamordé ont montré une plus grande abondance relative en saison froide (63% et 53%, respectivement) qu'en saison des pluies. En effet, à Goudel, Banigoungou, Tondibiah et Koira-Tegui la répartition des anophèles en saison pluvieuse a été nettement supérieure à la moitié du total de moustiques échantillonnés. Elle a été respectivement de l'ordre de 63%, 66%, 68% et 85% (**Figure 2**). On remarque la persistance à proportion faible des anophèles au niveau de tous les sites en saison chaude. En cette saison, la densité anophélienne la plus faible a été enregistrée à Gamkallé (2%). La variation saisonnière de la densité anophélienne entre les quartiers n'était pas statistiquement significative ($p > 0,05$)

3. Evaluation du lien entre les facteurs environnementaux et la variation de la densité moyenne de la faune anophélienne

Il existe une variation de la densité moyenne des anophèles en fonction de type d'habitation, de leur éloignement des gîtes et des pratiques agricoles. La densité moyenne d'anophèles collectés était significativement plus importante dans les habitations en banco que dans celles en ciment ou en paillote ($p = 0,000$ **Tableau III**).

Tableau4:- Variation de la densité moyenne des anophèles en fonction de type d'habitation. L'analyse a été faite par genre.

Type de Maison	<i>Anopheles</i>	<i>Culex sp</i>	<i>Aedes</i>
Dur (ciment)	4,548 ± 17,03 b	2,806 ± 8,68 a	0,005 ± 0,07 a
Semi-Dur	5,484 ± 10,69 ab	5,212 ± 9,21 a	0,15 ± 0,63 a
Banco	29,336 ± 101,23 a	5,364 ± 20,97 a	0,165 ± 1,59 a
Paillote	6,133 ± 16,56 b	4,833 ± 14,48 a	0,067 ± 0,25 a
Sous-Paillote	2,250 ± 5,65 b	1,417 ± 3,14 a	0,500 ± 1,73 a
p-value	0,000 ***	0,115 ns	0,170 ns

<<a, a>>ou<<b, b>>ou<<ab, ab>> ne sont pas significativement différents; <<a, b>>sont statistiquement différents; *** hautement significatif; ns non significatif; Sous-paillote (paille en haut et banco en bas).

L'analyse des variances (ANOVA) a révélé une densité moyenne d'anophèles fortement liée à l'absence de végétation constituée presque à 100% des nems dans les concessions ($p < 0,001$): moins il y a de végétation dans la maison plus la densité d'anophèles était élevée (**Figure 3a**). Par ailleurs, il y a une différence très significative de la densité moyenne d'anophèles entre les maisons avec moustiquaires (MILDA) et celles sans moustiquaires (**Figure 3c**). Le test statistique a révélé paradoxalement une densité significativement plus élevée dans les maisons en couverture de MILDA que celles qui n'en possédant pas ($p = 0,006$). L'abondance d'anophèles était également liée à l'hygiène dans les chambres et dans la cour des maisons (**Figure 3e & Figure 3f**). La densité moyenne des anophèles a été significativement plus élevée au niveau des chambres et des cours sales par rapport à celles propres ($p = 0,004$ et $p = 0,009$ respectivement). La distance gîte larvaire-domicile influence aussi l'abondance des anophèles dans les maisons (**Figure 3k**). En effet, la densité était significativement plus élevée au niveau des maisons situées dans le périmètre immédiat de gîtes larvaire (0 à 100m) qu'au niveau de maisons distales (100 à 500 et 500m a plus) ($p < 0,05$). La présence de gros ruminants dans les habitations (**Figure 3g**) et la pratique de la riziculture (**Figure 3j**) sont des facteurs significativement associés à une densité élevée d'anophèles ($p < 0,05$). Par contre, la présence de petits ruminants, de volaille, l'encombrement des chambres et le nombre de dormeurs n'ont pas d'influence sur la distribution des anophèles (**Figure 3h**).

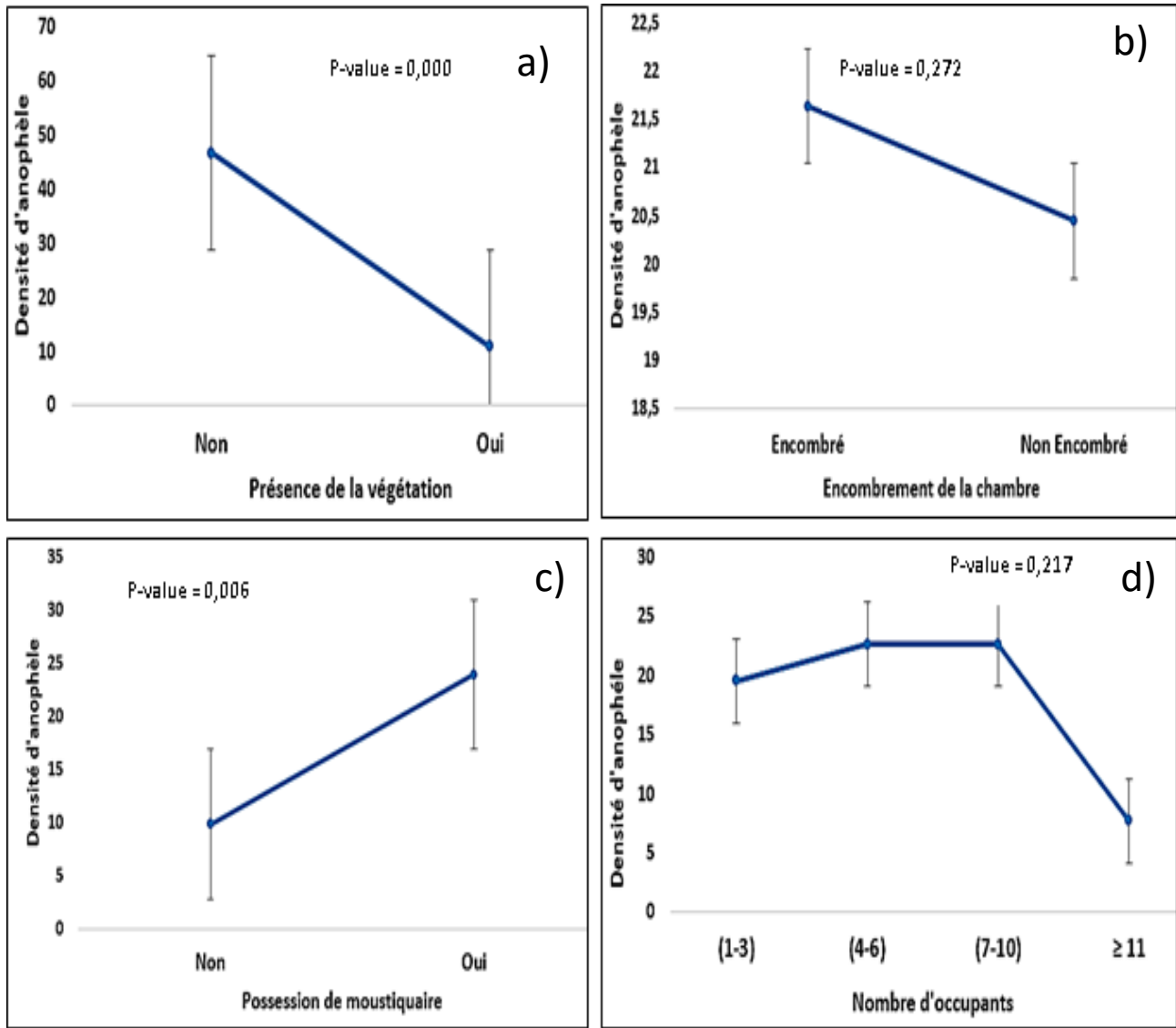


Figure 3-1:-Lien entre les facteurs environnementaux et l'abondance des anophèles : a) Présence de la végétation ; b) Encombrement de la chambre ; c) Possession moustiquaire et d) Nombre dormeur.

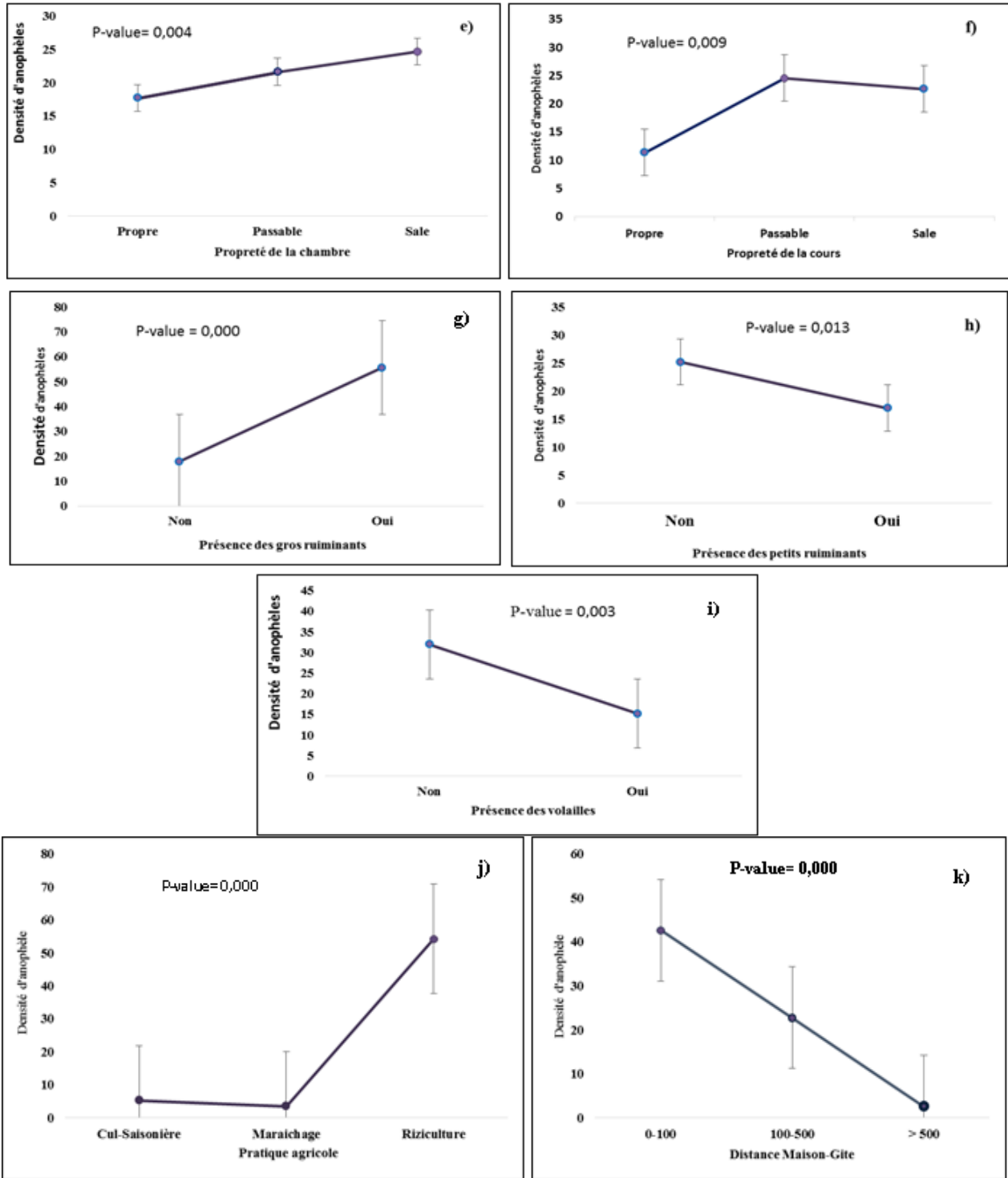


Figure 3-2:-Lien entre les facteurs environnementaux et la distribution des anophèles : e) Propreté de la chambre ; f) Propreté de la cour ; g) Présence de gros ruminants ; h) Présence de petits ruminants ; i) Présence de volaille ; j) Pratique agricole et k) Distance maison-gîte.

4. Variation mensuelle de la densité anophélienne: Effet des variables climatiques

L'abondance des anophèles varie considérablement en suivant le mois de collecte. Des faibles abondances ont été obtenues entre le mois de mars et mai. Par contre, les plus importantes abondances ont été enregistrées entre les mois de janvier-février et juillet-septembre. Le pic d'abondance anophélienne a été enregistré en septembre coïncidant à la fin de la période de fortes pluies annuelle au Niger, entre août et septembre (forte corrélation positive entre les précipitations et l'abondance des anophèles $r=0,53$ **Figure 4a**). De même, une tendance similaire a été observée entre l'abondance des anophèles et l'évolution de l'humidité ($r=0,59$ **Figure 4c**). En revanche, une corrélation négative a été observée entre la température et l'abondance des anophèles ($r=-0,28$, **Figure.4b**). Enfin la **Figure 4d** a mis en évidence une faible influence positive du point de rosée sur l'abondance des anophèles ($r=0,39$).

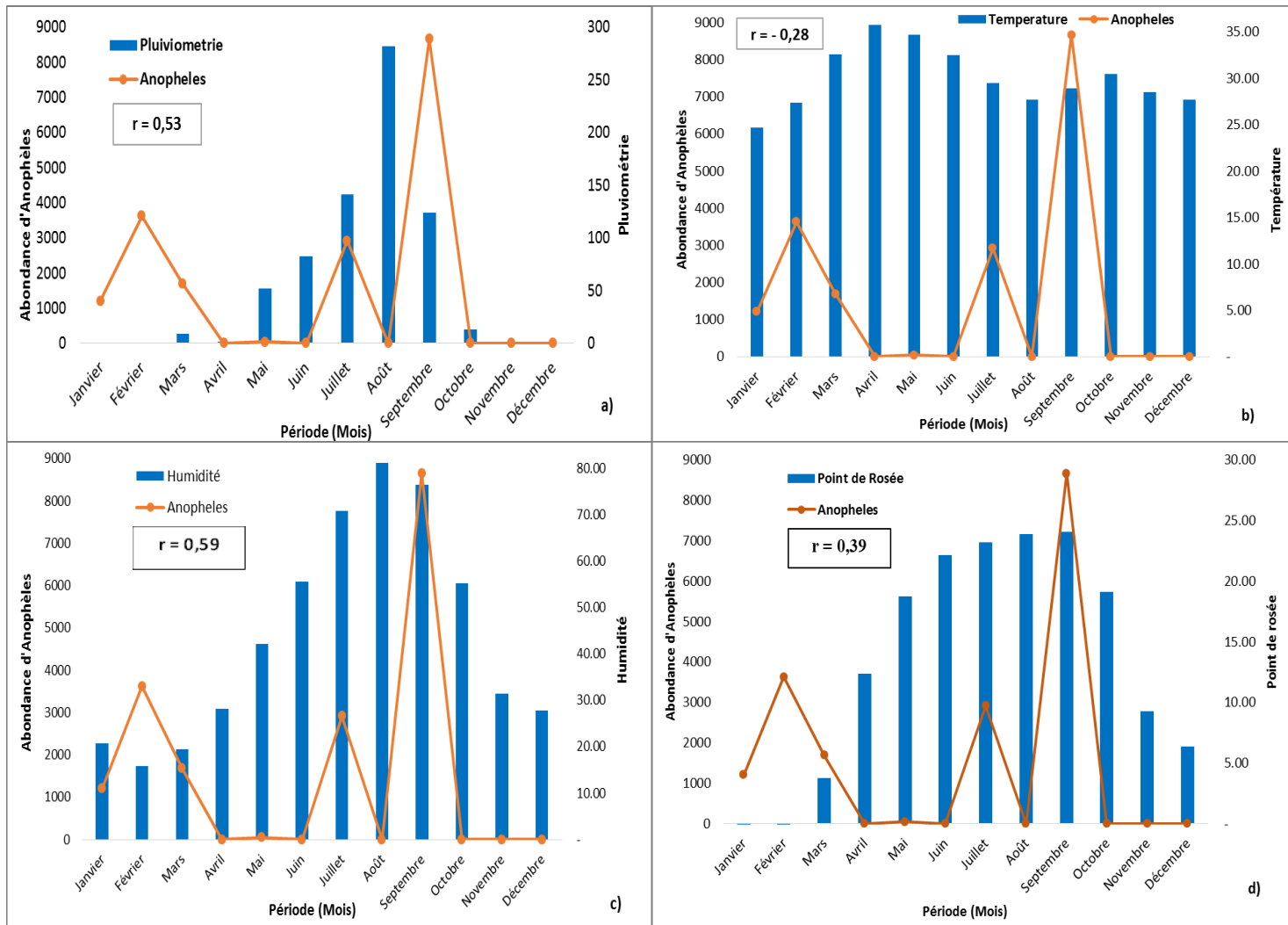


Figure4:- Corrélation entre l'abondance de la population d'anophèles et variables climatiques : a) avec la pluviométrie ; b) avec la température ; c) avec l'humidité et d) avec le point de rosée.

Discussion:-

Cette étude transversale répétée décrit la distribution spatiale et temporelle des vecteurs du paludisme pendant les trois saisons au niveau de six (6) agroécosystèmes de Niamey, constitués essentiellement de zones irriguées, des zones rizicoles, des zones industrielles et des zones non-irriguées.

La capture des moustiques a été faite par aspersion intra-domiciliaire et par piège lumineux CDC. L'étude a fourni des données entomologiques de base sur la dynamique, l'abondance et la distribution de la population anophélienne à Niamey ainsi que les facteurs environnementaux (type d'habitat, caractéristiques d'habitat, météo) influençant cette dynamique.

Trois genres de moustiques (*Anopheles*, *Culex* et *Aedes*) ont été trouvés dans cette étude. Le genre *Anopheles* était le plus prépondérant, et *Aedes* le moins représenté. Cette distribution est proche de celle retrouvée à Zindarou, en milieu rural à environ 60 km de Niamey [32]. Des résultats similaires ont été rapportés au Nigeria [33] et au Cameroun [7]. Par contre, des résultats récemment obtenus dans plusieurs études menées en milieu urbain au Nigeria contrastent avec les nôtres [33,34]. Ces observations sont plus ou moins opposées à nos résultats où on a rencontré plus d'*Anopheles* et moins d'*Aedes*. L'hétérogénéité de la répartition des faunes culicidiennes, pourrait refléter des différences de contextes écologiques [35]. En effet, les conditions écologiques différentes selon les zones urbaines résidentielles, suburbaines mixtes résidentielles agricoles et rurales agricoles, ont un impact sur la composition, la répartition et la densité des espèces de moustiques [36]. La distribution du genre *Anopheles* était statiquement différente selon les quartiers. Le site de Banigoungou a fourni à lui seul plus de la moitié du nombre d'anophèles récoltés. C'est un site/quartier très peu développé, proche du centre urbain et intégré par la communauté urbaine de Niamey par l'extension de l'urbanisation; les habitats y sont encore rudimentaires et la principale activité agricole est la riziculture. A l'opposé, la plus faible densité d'anophèles a été collectée à Koira-Tegui, seul quartier éloigné du fleuve et sans aucune activité de culture de contre saison. Ces résultats confirment ceux trouvés à l'issue des études menées en Côte d'Ivoire [37] et au Bénin [38] : l'abondance d'anophèles y était plus élevée dans les sites traversés par un cours d'eau qu'aucun cours d'eau permanent ou à proximité immédiat n'existe.

La dynamique temporelle des anophèles a montré une variation saisonnière statistiquement significative au niveau de tous les sites à l'exception de Koira-Tegui. Au niveau de quatre autres sites la plus grande densité anophélienne a été observée pendant la saison pluvieuse. En effet, l'arrivée de la saison pluvieuse est caractérisée par une élévation de l'humidité, une baisse de la température ambiante, et surtout les précipitations favorisant les gîtes larvaires. Tous ces facteurs sont favorables à une reproduction efficace des moustiques, soutenant ainsi le niveau élevé d'abondance des moustiques enregistré pendant les saisons des pluies [33]. Néanmoins, ces facteurs météorologiques sont probablement corrélés entre eux et, à l'état actuel de nos analyses il est difficile d'établir quels sont ceux les plus importants. D'un point de vue logique l'effet de multiplication des gîtes larvaires par les précipitations apparaît primordial. Nos résultats confirment ceux obtenus par [23], et sont similaires à ceux obtenus par [39] au Ghana. A Lamorde et Gamkallé l'abondance d'anophèles a été plus forte en saison froide qu'en saison pluvieuse. La abondance relativement faible observée en saison des pluies, pourrait s'expliquer par les perturbations et le lessivage constants des gîtes [26] par les fortes pluies ou la montée du niveau des eaux aboutissant à une importante réduction de la population adulte d'anophèles [40]. En effet, la productivité de gîtes larvaires pendant la saison pluvieuse d'un site donné dépend de la position géographique de celui-ci [41,42] et notamment la proximité de cours d'eau ou de zones agricoles irriguées. La densité relativement élevée en saison froide serait due donc à un environnement plus propice notamment l'arrêt de la pluie laissant les gîtes créés par les activités anthropiques et le niveau du fleuve stable, favorable à la pullulation des anophèles.

Cette étude a pu mettre en relation les caractéristiques des habitations et les données entomologiques. En effet, l'influence des caractéristiques de l'habitat sur la distribution et l'abondance des moustiques a été souvent signalé [8,10,43,44]. Concernant la préférence de type d'habitat, nos résultats ont montré que la population d'anophèles a été significativement plus abondante dans les maisons en banco que dans les autres types de maisons. Au Cameroun, des résultats similaires ont été trouvés par [43]. En fait, les maisons en banco constituent un lieu de repos très adéquat pour les anophèles du fait de la présence des crevasses entre les bois de la construction et l'argile du toit et la présence des trous au niveau du mur. De plus, les toits en banco sont généralement plus frais que ceux en tôle ou en paillote et améliore ainsi la survie [45] et l'attraction des moustiques [46]. La présence de la végétation dans les concessions a été négativement associée à l'abondance des anophèles à l'intérieur des maisons. Nos résultats sont différents de ceux trouvés par [43] qui ont mis en évidence une corrélation positive entre la présence de la végétation et le nombre élevé des anophèles. Cette différence pourrait provenir du fait qu'au niveau de nos sites l'essentiel de la végétation était constituée d'*Azadirachta indica* (neem), arbre qui aurait un effet répulsif sur les insectes [47]. Traditionnellement, les feuilles de neem sont utilisées en fumigation contre l'agression des moustiques [48]. Notre étude a montré une abondance plus forte des anophèles au niveau des maisons en possession de moustiquaire par rapport à celles sans protection. Ces résultats diffèrent de ceux trouvés par [43]. Logiquement, la moustiquaire imprégnée efficace est sensée avoir un effet répulsif et même létal au contact sur les moustiques. Néanmoins, au Niger, la baisse de cette efficacité commençait à se planer depuis que la résistance des moustiques aux insecticides utilisés pour l'imprégnation des moustiquaires a été observée en 2007, soit deux ans après la première campagne de distribution massive des MILDA [49] et s'accroît depuis [50]. Cette résistance aurait rendu moins efficace l'action de la moustiquaire. Néanmoins, un effet de biais d'utilisation des moustiquaires peut être à l'origine de notre observation: en effet, les habitants les moins soumis aux piqûres de moustiques pourraient tendre à moins utiliser les

moustiquaires! Par ailleurs, la faible abondance trouvée dans les maisons ne possédant pas de moustiquaire pourrait être liée au traitement régulier par l'utilisation de serpentins les nuits. En effet, les serpentins sont l'un des moyens de lutte privilégiés par les populations urbaines et semi-urbaines, surtout à des heures et endroits où il serait impossible de faire usage des MILDA [51]. Les résultats de plusieurs études ont montré que l'un des principaux facteurs de l'attraction et de l'abondance de moustiques dans les maisons était le nombre élevé de dormeurs dans la maison [44,52,53]. Nos résultats ne s'accordent pas à ceux-là car il a été remarqué que le nombre de dormeurs n'y était nullement associé. En revanche ces résultats corroborent ceux obtenus par Ngadjeu et *al.* [43]. Cette différence pourrait être liée au type de maison car de fortes densités de dormeurs ont été enregistrées dans des maisons modernes ou améliorées. Le manque d'hygiène dans la chambre et la cours de la maison a été positivement associé à la forte abondance des anophèles. En effet, nos résultats ont montré que plus la cour de la maison et la chambre sont sales plus la présence d'anophèles était importante. La présence des petits ruminants et de volaille dans la maison n'était pas associée à la distribution et l'abondance des anophèles. Ce qui corrobore les résultats obtenus par [43] mais contredit en partie ceux obtenu [44]. Ces derniers auteurs ont démontré que la présence de volaille était significativement et positivement associée à la densité des anophèles. Cette différence pourrait s'expliquer par la préférence trophique des espèces d'anophèles mais surtout de l'accessibilité de l'hôte préférentiel. Par contre, la présence de gros ruminants était fortement associée à cette densité élevée d'anophèles. En effet, les gros ruminants sembleraient dégager plus de de dioxyde de carbone (CO₂) ce qui les rendrait plus attractifs que les petits ruminants et les volailles. Le CO₂ est le signal responsable de l'activation et de guidage des anophèles vers les hôtes vertébrés [54]. Nos résultats ont montré une densité d'anophèles statistiquement plus importante dans des maisons se trouvant dans les zones de riziculture qu'au niveau de zone de maraichage et de culture pluviale. En effet une étude a déjà associé la pratique de riziculture à une forte prolifération des anophèles [55]. La riziculture irriguée, son exploitation ininterrompue et les chevauchements réguliers des cycles culturaux et de différents stades phénologiques des plants assurent une grande disponibilité et une pérennisation des biotopes propices au développement larvaire d'anophèles [56]. Concernant la distance gîte-maison, de manière évidente, plus la maison est proche de gîte potentiel plus la densité d'anophèles est importante. L'abondance de moustiques anophèles dépend de la distance entre le site de collecte et le cours ou les collections d'eau servant de gîte larvaire [57–59]. Ceci démontre un effet de proximité et d'« écran » des maisons proches des gîtes pour les maisons éloignées. Les résultats sont similaires à ceux trouvés par [56] qui, en Côte d'Ivoire, ont observé une différence significative de la densité d'anophèles entre deux sites différents par rapport au périmètre de riziculture.

Les variables météorologiques affectent considérablement l'abondance de la population de moustiques [57]. Dans la présente étude une corrélation positive a été trouvée entre l'abondance d'anophèles et la pluviométrie et l'humidité. Nos résultats confirment ceux trouvés par [34] au Nigeria, [20] au Benin, [7] au Cameroun et [60] au Burkina. Dans leurs études respectives ces auteurs ont montré une forte corrélation entre l'abondance des anophèles et l'augmentation des précipitations qui entraînent une prolifération des gîtes larvaires, une élévation de l'humidité et une baisse de la température, prouvant ainsi la corrélation négative entre la température et l'abondance des anophèles. En effet, des températures proches de 40°C réduisent la survie des moustiques ce qui entraîne la réduction considérable de leur nombre [61].

Conclusion:-

Cette étude apporte des connaissances nouvelles sur la dynamique des anophèles et des facteurs l'influençant à Niamey. La distribution des anophèles varie d'un site à l'autre et d'une saison à l'autre. Les quartiers riverains des zones de riziculture présentent la plus grande abondance d'anophèles par rapport aux autres quartiers. En outre, certains facteurs environnementaux tels que le type d'habitat, la présence des gros, la saleté, la proximité des maisons au fleuve, et la météo ont un effet sur l'abondance des moustiques anophèles. Par contre, les facteurs tels que la propreté, la présence de neem... agissent en défaveur de cette abondance. Ces informations sont utiles pour la planification des stratégies de lutte efficace, ciblée et de prévention de la transmission palustre.

Remerciement:-

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à Dr Jean-Bernard Duchemin qui a bien voulu accepter de corriger ce travail. Nous remercions également l'Institut de Recherche pour le Développement représentation de Niamey pour nous avoir fourni les données climatiques utilisées dans cette étude. En fin nous remercions la structure fédérative FSR RACINES pour avoir accepté de financer la collecte de données pour cette étude.

Contribution des auteurs:

NMS, RL, AD ont conçu l'étude. NMS, HZN, WH, ADS, SA et IIA ont effectué la collecte des données. NMS a analysé et rédigé le manuscrit. AD, RL, RJ et IML ont effectué la révision critique du document.

References:-

- [1] WHO Guidelines for malaria - 18 February 2022 2022:240.
- [2] Doumbe-Belisse P, Kopya E, Ngadjeu CS, Sonhafouo-Chiana N, Talipouo A, Djamouko-Djonkam L, et al. Urban malaria in sub-Saharan Africa: dynamic of the vectorial system and the entomological inoculation rate. *Malar J* 2021;20:364. <https://doi.org/10.1186/s12936-021-03891-z>.
- [3] Angès Y, N'Guessan R, Allagbé H, Asidi A, Boko M, Osse R, et al. The impact of the expansion of urban vegetable farming on malaria transmission in major cities of Benin. *Parasites & Vectors* 2010;3:118. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-118>.
- [4] Matthys B, N'goran EK, Gosoni L, Cissé G, Tschannen AB, Becket EG, et al. URBAN FARMING AND MALARIA RISK FACTORS IN A MEDIUM-SIZED TOWN IN CÔTE D'IVOIRE. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 2006;75:1223.
- [5] Chabi J, Eziefule MC, Pwalia R, Joannides J, Obuobi D, Amlalo G, et al. Impact of Urban Agriculture on the Species Distribution and Insecticide Resistance Profile of *Anopheles gambiae* s.s and *Anopheles coluzzii* in Accra Metropolis, Ghana. *AE* 2018;06:198–211. <https://doi.org/10.4236/ae.2018.63016>.
- [6] Robert V, Macintyre K, Keating J, Trape J-F, Duchemin J-B, Warren M, et al. Malaria transmission in urban sub-Saharan Africa. *Am J Trop Med Hyg* 2003;68:169–76.
- [7] Doumbe-Belisse P, Ngadjeu CS, Sonhafouo-Chiana N, Talipouo A, Djamouko-Djonkam L, Kopya E, et al. High malaria transmission sustained by *Anopheles gambiae* s.l. occurring both indoors and outdoors in the city of Yaoundé, Cameroon. *Wellcome Open Res* 2018;3:164. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.14963.1>.
- [8] Tusting LS, Bottomley C, Gibson H, Kleinschmidt I, Tatem AJ, Lindsay SW, et al. Housing Improvements and Malaria Risk in Sub-Saharan Africa: A Multi-Country Analysis of Survey Data. *PLoS Med* 2017;14:e1002234. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002234>.
- [9] Nguela RL, Bigoga JD, Armel TN, Esther T, Line D, Boris NA, et al. The effect of improved housing on indoor mosquito density and exposure to malaria in the rural community of Minkoameyos, Centre Region of Cameroon. *Malar J* 2020;19:172. <https://doi.org/10.1186/s12936-020-03232-6>.
- [10] Kirby MJ, Ameh D, Bottomley C, Green C, Jawara M, Milligan PJ, et al. Effect of two different house screening interventions on exposure to malaria vectors and on anaemia in children in The Gambia: a randomised controlled trial. *Lancet* 2009;374:998–1009. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60871-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60871-0).
- [11] Chaves LF, Ramírez Rojas M, Delgado Jiménez S, Prado M, Marín Rodríguez R. Housing quality improvement is associated with malaria transmission reduction in Costa Rica. *Socio-Economic Planning Sciences* 2021;74:100951. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100951>.
- [12] Lindsay SW, Jawara M, Paine K, Pinder M, Walraven GEL, Emerson PM. Changes in house design reduce exposure to malaria mosquitoes. *Trop Med Int Health* 2003;8:512–7. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3156.2003.01059.x>.
- [13] Camargo C, Alfonso-Parra C, Díaz S, Rincon DF, Ramírez-Sánchez LF, Agudelo J, et al. Spatial and temporal population dynamics of male and female *Aedes albopictus* at a local scale in Medellín, Colombia. *Parasites Vectors* 2021;14:312. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04806-2>.
- [14] Bashar K, Tuno N. Seasonal abundance of *Anopheles* mosquitoes and their association with meteorological factors and malaria incidence in Bangladesh. *Parasit Vectors* 2014;7:442. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-442>.
- [15] Wang Y, Zhong D, Cui L, Lee M-C, Yang Z, Yan G, et al. Population dynamics and community structure of *Anopheles* mosquitoes along the China-Myanmar border. *Parasites Vectors* 2015;8:445. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1057-1>.
- [16] Alten B, Bellini R, Caglar SS, Simsek FM, Kaynas S. Species composition and seasonal dynamics of mosquitoes in the Belek region of Turkey. *J Vector Ecol* 2000;25:146–54.
- [17] Mwangangi JM, Mbogo CM, Orindi BO, Muturi EJ, Midega JT, Nzovu J, et al. Shifts in malaria vector species composition and transmission dynamics along the Kenyan coast over the past 20 years. *Malar J* 2013;12:13. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-13>.
- [18] LaDeau S, Leisnham P, Biehler D, Bodner D. Higher Mosquito Production in Low-Income Neighborhoods of Baltimore and Washington, DC: Understanding Ecological Drivers and Mosquito-Borne Disease Risk in Temperate Cities. *IJERPH* 2013;10:1505–26. <https://doi.org/10.3390/ijerph10041505>.
- [19] World Health Organization = Organisation mondiale de la Santé. Weekly Epidemiological Record, 2016, vol. 91, 51/52 [full issue]. *Weekly Epidemiological Record = Relevé Épidémiologique Hebdomadaire* 2016;91:601–24.

- [20] Salako AS, Ossè R, Padonou GG, Dagnon F, Aïkpon R, Kpanou C, et al. Population Dynamics of *Anopheles gambiae* s.l. and *Culex quinquefasciatus* in Rural and Urban Settings Before an Indoor Residual Spraying Campaign in Northern Benin. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 2019;19:674–84. <https://doi.org/10.1089/vbz.2018.2409>.
- [21] Killeen GF, Okumu FO, N'Guessan R, Coosemans M, Adeogun A, Awolola S, et al. The importance of considering community-level effects when selecting insecticidal malaria vector products. *Parasites Vectors* 2011;4:160. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-4-160>.
- [22] Marsh K. Research priorities for malaria elimination. *Lancet* 2010; 376:1626–1627. - Recherche Google (accessed April 9, 2022).
- [23] Labbo R, Fandeur T, Jeanne I, Czeher C, Williams E, Arzika I, et al. Ecology of urban malaria vectors in Niamey, Republic of Niger. *Malar J* 2016;15:314. <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1352-0>.
- [24] M'Bra RK, Kone B, Soro DP, N'krumah RTAS, Soro N, Ndione JA, et al. Impact of climate variability on the transmission risk of malaria in northern Côte d'Ivoire. *PLoS One* 2018;13:e0182304. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182304>.
- [25] Afrane YA, Klinkenberg E, Drechsel P, Owusu-Daaku K, Garms R, Kruppa T. Does irrigated urban agriculture influence the transmission of malaria in the city of Kumasi, Ghana? *Acta Tropica* 2004;89:125–34. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2003.06.001>.
- [26] Afrane YA, Lawson BW, Brenya R, Kruppa T, Yan G. The ecology of mosquitoes in an irrigated vegetable farm in Kumasi, Ghana: abundance, productivity and survivorship. *Parasites & Vectors* 2012;5:233. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-233>.
- [27] Keating J, Macintyre K, Mbogo CM, Githure JI, Beier JC. Characterization of potential larval habitats for *Anopheles* mosquitoes in relation to urban land-use in Malindi, Kenya. *Int J Health Geogr* 2004;3:9. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-9>.
- [28] Lawali DAMBO, Bachir AMADOU GAYA. Apport des SIG dans la gestion du système de transport des étudiants de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger). (EDUCI) 2021 Revue de GéographieTropicale et d'Environnement, n°1, 2021:15.
- [29] SANDA GONDA Hassane. Cartographie de la dynamique de l'occupation des sols et de l'érosion dans la ville de Niamey et sapériphérie. *Mémoire Only >géographie* 2010:89.
- [30] World Health Organization. Division of Malaria and other Parasitic Diseases. Manual on practical entomology in malaria / prepared by the WHO Division of Malaria and Other Parasitic Diseases 1995.
- [31] Haileselassie W, Zemene E, Lee M-C, Zhong D, Zhou G, Taye B, et al. The effect of irrigation on malaria vector bionomics and transmission intensity in western Ethiopia. *Parasites & Vectors* 2021;14:516. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04993-y>.
- [32] Labbo R, Czeher C, Djibrila A, Arzika I, Jeanne I, Duchemin J-B. Longitudinal follow-up of malaria transmission dynamics in two villages in a Sahelian area of Niger during a nationwide insecticide-treated bednet distribution programme. *Medical and Veterinary Entomology* 2012;26:386–95. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2012.01011.x>.
- [33] Fagbohun IK, Idowu ET, Awolola TS, Otubanjo OA. Seasonal abundance and larval habitats characterization of mosquito species in Lagos State, Nigeria. *Scientific African* 2020;10:e00656. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00656>.
- [34] Temporal Distribution of and Habitat Diversification by Some Mosquitoes (Diptera: Culicidae) Species in Benin City, Nigeria n.d. <https://doi.org/10.3923/je.2013.13.23>.
- [35] Epopa PS, Collins CM, North A, Millogo AA, Benedict MQ, Tripet F, et al. Seasonal malaria vector and transmission dynamics in western Burkina Faso. *Malar J* 2019;18:113. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2747-5>.
- [36] Li Y, Zhou G, Zhong S, Wang X, Zhong D, Hemming-Schroeder E, et al. Spatial heterogeneity and temporal dynamics of mosquito population density and community structure in Hainan Island, China. *Parasites Vectors* 2020;13:444. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04326-5>.
- [37] Toure D, Ouattara A, Kwadjo E, Kra K, Doumbia M, DOANNIO J. Diversité spécifique des anophèles et répartitionsaisonnière des vecteurs majeurs du paludisme de la savanesèche rurale du Nord de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 14(4) (2018) 31 - 39 2018.
- [38] Govoetchan R, Gnanguenon V, Ogouwalé E, Oké-Agbo F, Azondekon R, Sovi A, et al. Dry season refugia for anopheline larvae and mapping of the seasonal distribution in mosquito larval habitats in Kandi, northeastern Benin. *Parasites & Vectors* 2014;7:137. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-137>.
- [39] Kasasa S, Asoala V, Gosoni L, Anto F, Adjui M, Tindana C, et al. Spatio-temporal malaria transmission patterns in Navrongo demographic surveillance site, northern Ghana. *Malar J* 2013;12:63. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-63>.

- [40] Amusan A a. S, Mafiana CF, Idowu AB, Oke OA. A survey of adult mosquitoes in the hostels of the University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State, Nigeria. *Nigerian Journal of Parasitology* 2003;24:167–72. <https://doi.org/10.4314/njpar.v24i1.37822>.
- [41] Keven JB, Katusele M, Vinit R, Koimbu G, Vincent N, Thomsen EK, et al. Species abundance, composition, and nocturnal activity of female Anopheles (Diptera: Culicidae) in malaria-endemic villages of Papua New Guinea: assessment with barrier screen sampling. *Malar J* 2019;18:96. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2742-x>.
- [42] Haileselassie W, Zemene E, Lee M-C, Zhong D, Zhou G, Taye B, et al. The effect of irrigation on malaria vector bionomics and transmission intensity in western Ethiopia. *Parasites Vectors* 2021;14:516. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04993-y>.
- [43] Ngadjjeu CS, Doumbe-Belisse P, Talipouo A, Djamouko-Djonkam L, Awono-Ambene P, Kekeunou S, et al. Influence of house characteristics on mosquito distribution and malaria transmission in the city of Yaoundé, Cameroon. *Malar J* 2020;19:53. <https://doi.org/10.1186/s12936-020-3133-z>.
- [44] Mburu MM, Juurlink M, Spitzen J, Moraga P, Hiscox A, Mzilahowa T, et al. Impact of partially and fully closed eaves on house entry rates by mosquitoes. *Parasites Vectors* 2018;11:383. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2977-3>.
- [45] Murdock CC, Sternberg ED, Thomas MB. Malaria transmission potential could be reduced with current and future climate change. *Sci Rep* 2016;6:27771. <https://doi.org/10.1038/srep27771>.
- [46] Carnevale P, Robert V, editors. 3. Bio-écologie. Les anophèles :Biologie, transmission du Plasmodium et lutteantivectorielle, Marseille: IRD Éditions; 2017, p. 47–86.
- [47] ChougourouCD, Dellouh PL, Agbaka A, N'guessan KR, Gbenou JD. Toxicité et effetsrépulsifs de certaineshuilesextraites des plantes locales Béninoises sur la mouche domestique *Muscadomestica* L. (DipteraMuscidae). *JAppl. Biosci.*2012.
- [48] Carnevale P, Trari B, Izri A, Manguin S. Les cinq piliers de la protection familiale et personnelle de l'hommecontre les moustiquesvecteursd'agentspathogènes 2012.
- [49] Czeher C, Labbo R, Arzika I, Duchemin J-B. Evidence of increasing Leu-Phe knockdown resistance mutation in *Anopheles gambiae* from Niger following a nationwide long-lasting insecticide-treated nets implementation. *Malar J* 2008;7:189. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-7-189>.
- [50] Soumaila H, Idrissa M, Akgobeto M, Habi G, Jackou H, Sabiti I, et al. Multiple mechanisms of resistance to pyrethroids in *Anopheles gambiae* s.l populations in Niger. *Médecine et Maladies Infectieuses*2017;47:415–23. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2017.04.012>.
- [51] Toudou BIM. Pratiques et risquessanitairesassociés aux produits anti-moustiquesutilisés dans la lutte antivectorielle dans la ville de Niamey au Niger. *Afrique Science* 2021;19:136–48.
- [52] Kaindoa EW, Mkandawile G, Ligamba G, Kelly-Hope LA, Okumu FO. Correlations between household occupancy and malaria vector biting risk in rural Tanzanian villages: implications for high-resolution spatial targeting of control interventions. *Malaria Journal* 2016;15:199. <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1268-8>.
- [53] Lwetoijera DW, Kiware SS, Mageni ZD, Dongus S, Harris C, Devine GJ, et al. A need for better housing to further reduce indoor malaria transmission in areas with high bed net coverage. *Parasites & Vectors* 2013;6:57. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-57>.
- [54] Costantini C, Gibson G, Sagnon N, Della Torre A, Brady J, Coluzzi M. Mosquito responses to carbon dioxide in a west African Sudan savanna village. *Med Vet Entomol*1996;10:220–7. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.1996.tb00734.x>.
- [55] Muturi EJ, Muriu S, Shililu J, Mwangangi J, Jacob BG, Mbogo C, et al. Effect of rice cultivation on malaria transmission in central Kenya. *Am J Trop Med Hyg*2008;78:270–5.
- [56] Zahouli ZBJ, Tchicaya E, Nsanzabana C, Donzé J, Utzinger J, N'Goran EK, et al. Caractéristiquesbioécologiquesd'Anopheles gambiae s.s.en zones de rizicultureirriguée au centre de la Côte d'Ivoire. Undefined 2011.
- [57] Camargo C, Alfonso-Parra C, Díaz S, Rincon DF, Ramírez-Sánchez LF, Agudelo J, et al. Spatial and temporal population dynamics of male and female *Aedes albopictus* at a local scale in Medellín, Colombia. *Parasites Vectors* 2021;14:312. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04806-2>.
- [58] Arisco NJ, Rice BL, Tantely LM, Girod R, Emile GN, Randriamady HJ, et al. Variation in *Anopheles* distribution and predictors of malaria infection risk across regions of Madagascar. *Malar J* 2020;19:348. <https://doi.org/10.1186/s12936-020-03423-1>.
- [59] Tantely LM, Cête-Sossah C, Rakotondranaivo T, Cardinale E, Boyer S. Population dynamics of mosquito species in a West Nile virus endemic area in Madagascar. *Parasite* 2017;24:3. <https://doi.org/10.1051/parasite/2017005>.

- [60] Taconet P, Porciani A, Soma DD, Mouline K, Simard F, Koffi AA, et al. Data-driven and interpretable machine-learning modeling to explore the fine-scale environmental determinants of malaria vectors biting rates in rural Burkina Faso. *Parasites & Vectors* 2021;14:345. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04851-x>.
- [61] Craig MH, Snow RW, le Sueur D. A Climate-based Distribution Model of Malaria Transmission in Sub-Saharan Africa. *Parasitology Today* 1999;15:105–11. [https://doi.org/10.1016/S0169-4758\(99\)01396-4](https://doi.org/10.1016/S0169-4758(99)01396-4).