



## Identification et caractérisation des potentiels habitats larvaires de moustiques *Anopheles* spp. dans la ville de Niamey

Mamane Salé NOURA<sup>1,2</sup>, Issa IBRAHIMA<sup>2</sup>, Djedanem MEDARD<sup>3,4</sup>,  
Firmaïn N'dri YOKOLY<sup>5,6</sup>, Ramatoulaye S.O. MAIGA<sup>2</sup>,  
Zoukifouly Hounkarin WILFRIED<sup>2</sup>, Djibo Souley ALI<sup>2</sup>, Amadou SOUMANA<sup>2</sup>,  
Souleymane Mahamane IRO<sup>2</sup>, Ibrahim Maman LAMINO<sup>2</sup> et Doumma ALI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni Niamey-Niger, BP : 10 896 Niamey-Niger.

<sup>2</sup> Unité de Parasitologie et d'Entomologie Médicale, Centre de Recherche Médicale et Sanitaire, BP : 10887, Niamey-Niger.

<sup>3</sup> Epicentre, BP : 13330 Niamey-Niger.

<sup>4</sup> Université Nazi Boni, BP : 1091 Bobo-Dioulasso Burkina Faso.

<sup>5</sup> Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 28 BP 536 Abidjan 28, Côte d'Ivoire.

<sup>6</sup> Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire.

\*Auteur correspondant ; E-mail: [mamanesalenoura@gmail.com](mailto:mamanesalenoura@gmail.com); Cel: +227 96921373.

### REMERCIEMENTS

Cette étude a reçu un soutien financier de la structure SFR Racines que nous tenons à remercier vivement.

Received: 13-08-2024

Accepted: 26-11-2024

Published: 31-12-2024

### RESUME

Les moustiques anophèles constituent un problème majeur de santé publique au Niger, notamment à Niamey qui est confrontée à une urbanisation galopante associée à des modifications importantes des écosystèmes locaux. La lutte anti-larvaire des anophèles nécessite la connaissance de leurs milieux de développement. Cette étude visait à identifier et caractériser les gîtes favorables aux développements larvaires dans plusieurs quartiers de Niamey. C'est une étude transversale, prospective de larves dans des gîtes potentiels en saison pluvieuse, saison froide et saison chaude au cours desquelles les paramètres physico-chimiques ont été mesurés. Au total 252 gîtes ont été identifiés, repartis en 9 groupes : les rizières post-repiquage et à l'épiaison, les mares permanentes et semi-permanentes, les réservoirs d'irrigation, les caniveaux, les flaques d'eau naturelles, les bordures du fleuve et les carrières de briques ont été enregistrés. Le plus grand nombre de gîtes a été enregistré en saison pluvieuse avec 47,6% (n=120) et le faible en saison chaude avec 14,3% (n=36). Les gîtes anthropiques ont été plus abondants 57,1% (n=144) que les gîtes naturels 42,9% (n=108) et la majorité se trouvait dans l'environnement immédiat de l'habitation humaine. La verdure, la grande surface, la petite profondeur, la température et le pH neutre à tendance basique ont été fortement associés à la présence et à l'abondance larvaire. Les larves de *Anopheles* spp. se développent dans plusieurs types collections d'eau, lesquelles sont plus nombreuses en saison pluvieuse et résultent principalement des activités anthropiques.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Gîtes larvaires, *Anopheles* spp, écosystèmes, Niamey

## Identification and characterization of potential habitats of larvae of mosquito *Anopheles* spp. in Niamey city

### ABSTRACT

*Anopheles* mosquitoes constitute a major public health problem in Niger, particularly in Niamey which is facing rapid urbanization associated with significant changes in local ecosystems. Anti-larval control of *Anopheles* requires knowledge of their development environments. This study aims to identify and characterize breeding sites favorable to larval development in several districts of Niamey. This is a repeated, prospective cross-sectional study of larvae in potential breeding sites in rainy, cold and hot seasons during which physicochemical parameters were measured. In total, 252 larval breeding sites were identified and divided into 9 groups: post-transplanting rice fields, heading rice fields, permanent and semi-permanent ponds, irrigation reservoirs, gutters, natural puddles, river banks and brick quarries were recorded. The highest number of roosts was recorded during the rainy season with 47.6% (n=120) and the lowest during the hot season with 14.3% (n=36). Anthropogenic roosts were more abundant 57.1% (n=144) than natural roosts 42.9% (n=108) and the majority were found in the immediate environment of human habitations. Greenness, large surface area, shallow depth as well as temperature, neutral and basic pH of roosts were strongly associated with larval abundance. The results of this study show that *Anopheles* spp. develops in several water catchments, which are more numerous in the rainy season and mainly result from anthropogenic activities.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Larvae breeding sites, *Anopheles* spp, ecosystems, Niamey city.

### INTRODUCTION

La famille de *Culicidae* regroupe l'ensemble des insectes diptères holométaboles communément appelés moustiques (Foster et Walker, 2019). Il regroupe les genres *Anopheles*, *Culex*, *Aedes* et *Mansonia*. Ces moustiques constituent le plus grand groupe de vecteurs d'agents pathogènes transmissibles à l'homme et aux animaux en raison de leur régime hématophage. De ce fait, ils représentent un véritable problème sous les tropiques en particulier sur le continent africain. Le genre *Anopheles* est le seul moustique qui transmet à la fois le paludisme humain et la filariose lymphatique (Manguin et al., 2010). D'une manière générale, les moustiques anophèles se développent aussi bien dans des systèmes écologiques naturels qu'anthropisés. Leur abondance et leur répartition sont caractéristiques de la présence et de la productivité des habitats larvaires (Rejmánková et al., 2013a), et tributaires de la topographie et des facteurs intrinsèques du milieu (Atieli et al., 2011). En effet, la qualité des gîtes larvaires dépend des conditions environnementales, qui comprennent les conditions climatiques telles que la

température, les précipitations, les caractéristiques physico-chimiques du gîte, la profondeur du gîte, le type de végétation, et des caractéristiques biologiques (Koumba et al., 2020). La température accélère le développement larvaire, raccourcit le temps de nymphose et peut influencer la survie des larves. Quant aux précipitations, elles peuvent affecter la disponibilité et la productivité des habitats larvaires (Rossati et al., 2016). En plus des facteurs susmentionnés, d'autres facteurs d'origine anthropique peuvent moduler la disponibilité et la qualité des habitats larvaires en milieu urbain, influencer l'abondance et aussi la répartition des anophèles. Parmi ces facteurs, les aménagements hydroagricoles tels que les rizières occupent une place de choix (Chan et al., 2022). En effet, celles-ci se sont avérées particulièrement propices à la reproduction d'*An. gambiae* s.l. et d'*An. funestus*, principaux vecteur du paludisme en Afrique subsaharienne (Mwangangi et al., 2010). En effet, des études antérieures ont montré que dans les rizières, *An. gambiae* s.l. pullule pendant la période post-repiquage du riz alors qu'*An. funestus* se reproduit au stade avancé du développement (Betsi et al., 2012).

La baisse d'efficacité de la lutte antivectorielle dirigée contre les moustiques adultes, notamment l'utilisation de moustiquaires imprégnées à longue durée d'action (MILDA) et la pulvérisation intradomestique (PID), couplée entre autre aux impacts environnementaux, à la hausse des coûts de la PID et aux contraintes logistiques, a stimulé un regain d'intérêt pour le contrôle des larves de vecteurs du paludisme (Walker et Lynch, 2007). Pour cela, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a préconisé depuis 2018, la gestion intégrée des vecteurs fondée sur des données probantes. Outre les outils de lutte conventionnels (PID et MILDA), celle-ci doit inclure la lutte anti-larvaire (LAL), autrefois considérée comme une stratégie supplémentaire dans la lutte contre le paludisme. Basée sur l'application des larvicides et la réduction de sites de reproduction, la LAL devient indéniablement l'une de stratégies sur laquelle il faut dorénavant compter pour l'éradication du paludisme (Walker et Lynch, 2007). En effet, la LAL a déjà fait ses preuves dans certains pays africains (Shililu et al., 2007; Geissbühler et al., 2009). Ces mesures anti-larvaires dépendent fortement de l'écologie de vecteurs, variable d'une localité à l'autre et nécessitent par conséquent, des réajustements afin d'être appliquées en continu sans limite de temps (Kitron et Spielman, 1989). En effet, la présence et la densité des larves de moustiques et l'abondance de vecteurs adultes du paludisme dépendent des processus écosystémiques interagissant à différentes échelles spatio-temporelles dont sa modification peut avoir un impact considérable sur le peuplement et la distribution de moustiques vecteurs (Hinne et al., 2021). D'où l'intérêt ou la nécessité des études sur l'écologie des habitats larvaires même à petite échelle (Kibret et al., 2019; Ondiba et al., 2019), car la variation des microclimats et les activités anthropiques pourraient être à l'origine des modifications de l'écosystème qui à son tour pourrait agir sur la répartition des anophèles adultes (Mutuku et al., 2009; Rejmánková et al., 2013b).

La ville de Niamey fait face à une urbanisation rapide et non planifiée,

transformant au fil du temps certains villages, situés à des dizaines de kilomètres, en quartiers périphériques (Labbo et al., 2016). En effet, l'extension de la ville peut contribuer à l'augmentation du nombre de gîtes larvaires, et donc du risque de prolifération et de piqûres des moustiques, conduisant à une augmentation de la transmission du paludisme (M'Bra et al., 2018). En outre, le fleuve Niger traverse plusieurs de ces quartiers, ce qui offre à la population riveraine l'opportunité de pratiquer la riziculture et les cultures maraichères 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. L'échec cuisant de la lutte antivectorielle dans la ville de Niamey en dépit de moyens engagés pourrait être attribué à la compréhension insuffisante de l'écologie larvaire des espèces vectrices locales, gage d'un programme de lutte réussi. En effet, ce gap de connaissance pourrait directement affecter la conception et la mise en œuvre de la lutte contre les larves d'anophèle. C'est dans ce cadre que cette étude a été réalisée afin d'identifier et caractériser les différents gîtes larvaires des moustiques anophèles dans six quartiers de la ville Niamey.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

L'étude a été conduite à Niamey, (13°31'17''S, 2°26'19''E), capitale du Niger (Figure 1). La ville de Niamey, érigée en région, est subdivisée en 5 arrondissements et couvre une superficie de 250 km<sup>2</sup> 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 millions d'habitants en 2019 avec une densité de 4876,3 habitants/km<sup>2</sup> (Lawali et Bachir, 2021). 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 45°C en avril à 19°C en décembre. Le réseau hydrologique est constitué pour l'essentiel du fleuve Niger, de ses affluents puis des mares semi-permanentes et permanentes (Salé et al., 2023).

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

### Collecte et traitement de larves

Des enquêtes ont été menées entre les mois de janvier et décembre 2020. Au total, trois passages ont été effectués en raison d'un passage par saison durant les trois saisons de l'année au niveau des six sites. Au cours de chaque passage et dans chaque quartier, sur un rayon de 500 m, les gîtes susceptibles d'héberger les larves d'anophèle ont été identifiés et géolocalisés à l'aide d'un GPS puis contrôlés pour détecter la présence larvaire (Figure 2). La collecte des larves a été effectuée dans des sites de reproduction potentiels à l'aide d'une louche de 350 ml et d'une pipette. La louche a permis de collecter des larves dans les sites de reproduction les plus importants disposant d'une grande quantité d'eau. Dans le même temps, la petite louche a été utilisée pour collecter les larves dans les sites de reproduction plus petits où la disponibilité de l'eau était limitée. Pour déterminer la densité moyenne des larves par habitat, 10 prélèvements ont été effectués en fonction de la taille du plan d'eau (Zogo et al., 2019), puis transvasés dans un bac à fond blanc. Les larves ont été identifiées à l'aide de clé d'identification morphologique des espèces de larves de moustiques et dénombrées (Gillies et Coetzee, 1987). Un habitat donné a été considéré positif lorsqu'au moins une larve d'*Anopheles* spp. a été trouvée.

### Mesure des paramètres physico-chimiques des gîtes

Durant les passages, les observations sur la bio-écologie des larves ont été effectuées

en mesurant les caractéristiques physicochimiques de divers habitats. Ainsi, à chaque passage, des paramètres tels que le pH, la température, la conductivité et la teneur en oxygène dissout ont été déterminés à l'aide d'un conductimètre. Après la mesure de chaque paramètre, les données ont été consignées sur une fiche de collecte. D'autres paramètres tels que la turbidité, la présence de prédateurs, la profondeur, le type d'eau (stagnante ou courante), degré d'exposition au soleil, présence de plante ou non ont été appréciés. La turbidité a été catégorisée en 4 groupes : claire, faible, moyen et élevée. La profondeur a été mesurée à l'aide d'un bâton d'un mètre gradué en centimètre (Mwangangi et al., 2010).

### Caractérisation ou typologie des gîtes larvaires

Cette étape a consisté à préciser la nature du gîte et leur position par rapport aux habitats humains. Ainsi, pour chaque gîte d'anophèle, sa nature (gîte rizicole, gîte naturel, gîte artificiel, gîte maraicher, mare, caniveaux, briqueterie, rivière, bordure du fleuve, ...). Pour les gîtes rizicoles, deux stades de développement ont été définis : i) début du cycle (les premières semaines) et ii) cycle avancé (floraison et l'épiaison). Les distances jusqu'aux habitations humaines ont été estimées et regroupées en trois catégories : i) gîte <50 m ; ii) 50 à 100 m et iii) 101 à 500 m.

### Analyse des données

Les données de la présente étude ont d'abord été saisies sur une feuille Excel 2016 puis transférées sur la version 26.0 du logiciel IBM/SPSS pour analyse. Le test Chi-2 a été utilisé pour déterminer les éventuelles associations entre la présence ou l'absence des larves et les caractéristiques observables des gîtes. Par ailleurs, l'analyse en composante principale (ACP) a quant à elle été utilisée pour déterminer la relation entre les caractéristiques mesurables et la densité larvaire à l'aide du logiciel R Studio alors que l'analyse en composante multiple (ACM) a été utilisée pour la catégorisation des gîtes larvaires.

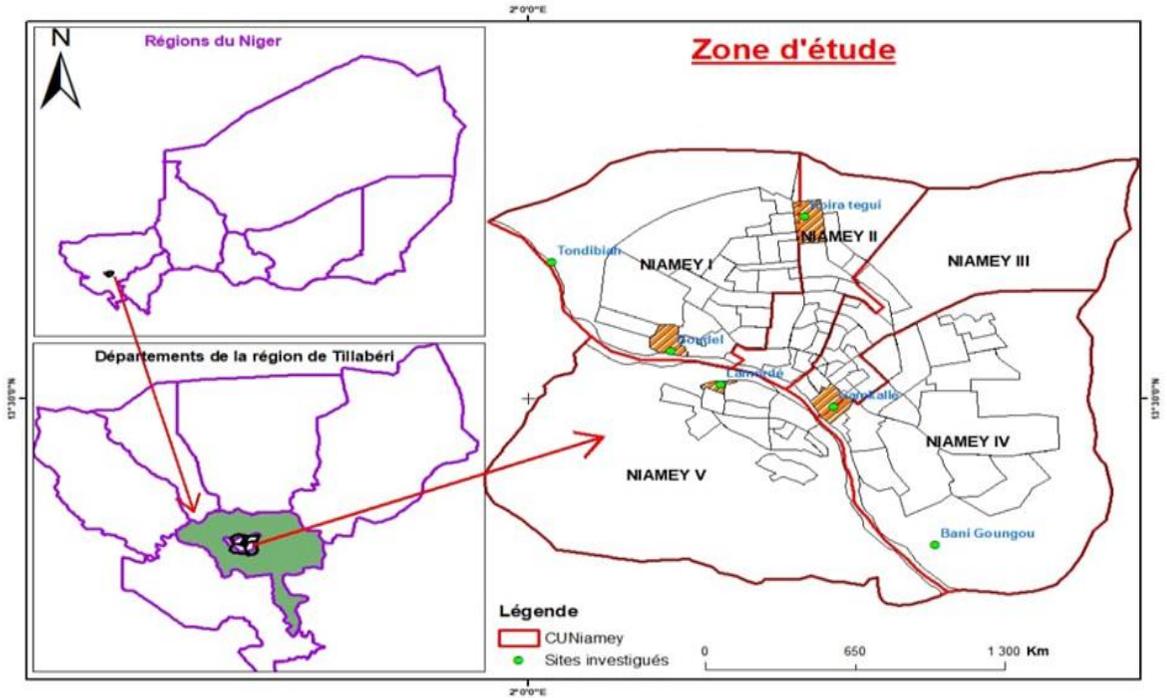


Figure 1 : Carte présentant les sites de collecte (en point vert) des moustiques (Salé et al., 2023).



Figure 2 : Quelques gîtes larvaires prospectés : a) rizière, b) caniveau, c) mare, d) flaque d'eau, e) réservoir, f) carrière saison pluvieuse, g) flaque d'eau et h) carrière.

## RESULTATS

### Variabilité d'habitats larvaires d'*Anopheles* spp. et de leur productivité entre les sites et les saisons

Au total, 252 potentiels gîtes d'*Anopheles* spp. ont été identifiés sur l'ensemble des sites durant la période de l'étude, dont 120 (47,6%) gîtes ont été enregistrés en saison pluvieuse et 96 gîtes (38,1%) pendant la saison froide contre 36 (14,3%) pendant la saison chaude (Tableau 1).

Le Tableau 1 a montré que pendant la période d'étude neuf (9) types de gîtes ont été identifiés et le plus grand nombre de gîtes a été enregistré à Lamordé avec 78 gîtes (31%) enregistrés suivi de Banigoungou avec 70 gîtes soit 27,8%. Le plus faible nombre de gîte potentiel a été enregistré à Koira-Tegui avec au total 20 gîtes enregistrés. A Lamordé et Banigoungou, la majorité des gîtes a été essentiellement constituée de rizières, de flaques d'eau et de carrières de briques alors qu'à Tondibiah, Goudel et Gamkallé l'essentiel des gîtes a été identifié sur la bordure du fleuve et dans quelques réservoirs d'irrigation à Gamkallé et caniveau à Tondibiah et Goudel. A Koira-Tegui les potentiels gîtes sont constitués que de mares permanentes. L'analyse de la productivité de ces gîtes a montré que les rizières, les carrières et les bordures du fleuves ont été les gîtes les plus productifs d'*Anopheles* spp. En revanche, les mares permanentes et semi-permanentes, partout où elles ont été identifiées, n'ont pas constitué un site de reproduction d'*Anopheles* spp. Seul à Tondibiah et à Gamkallé, les caniveaux et les réservoirs ont constitué des gîtes productifs d'*Anopheles* spp. Au niveau de sites rizicoles, les rizières avancées ont été moins productives que les rizières post-repiquages.

### Facteurs associés à la présence larvaire dans les gîtes

Le Tableau 2 a montré les différents facteurs associés à la présence ou non de larves dans l'ensemble de 252 gîtes prospectés. Il en ressort que le nombre de gîtes positifs a été significativement plus élevé que celui des gîtes

négatifs au niveau de tous les sites, excepté à Koira-Tegui où aucun gîte positif n'a été retrouvé ( $p=0,000$ ). Ils ont significativement varié d'un site à l'autre, les gîtes positifs les plus abondants ont été identifiés à Banigoungou (60/70), Lamordé (56/78) alors que les gîtes négatifs ont été principalement à Koira-Tegui ( $p=0,000$ ). L'analyse de la productivité par typologie des gîtes a montré que les rizières ont été plus productives en matière de larves suivi de bordure du fleuve, des carrières, de flaques d'eau et de caniveaux alors qu'aucune mare soit-elle permanente ou non n'a enregistré la présence de larves d'*Anopheles* spp. ( $p=0,000$ ). En outre, les gîtes anthropiques ont été plus abondants 144 (57,1%) que les gîtes naturels 108 (42,9%) et ils ont plus prouvé une positivité à la présence des larves d'*Anopheles* spp. 118 (46,83%) vs 52 (22,22%),  $p=0,000$ . Ce tableau a montré que la turbidité de l'eau a été un facteur fortement associé à la présence de larves d'*Anopheles* spp.. Il en ressort que le type de gîtes contenant des eaux moyennement turbides ont été significativement associés à la présence de larves suivie de type de gîtes à eau claire à la différence de gîtes fortement turbides ( $p=0,00$ ). Par contre, l'analyse a montré que l'ensoleillement et la présence de prédateurs ont été des facteurs non associés à la présence de larves d'*Anopheles* spp. avec  $p=0,855$  et  $p=0,097$  respectivement. La surface des gîtes, la profondeur, le type d'eau (courante ou stagnante), la distance maison-gîte et la verdure autour des gîtes ont tous été révélés comme facteurs associés à la présence de larves d'*Anopheles* spp. ( $p<0,05$ ).

### Corrélation entre les données physico-chimiques et la densité larvaire

L'analyse en composantes principales (ACP) a montré des corrélations entre les paramètres physico-chimiques des eaux de gîtes et la densité larvaire d'*Anopheles* spp. Ces données, représentées sur deux Dimensions Dim<sub>1</sub> et Dim<sub>2</sub> ont expliqué 76,57% de la variation totale (Tableau 3). La température de l'air, la température de l'eau du gîte et le pH, et la densité larvaire d'*Anopheles* ont été corrélés à l'axe Dim<sub>1</sub> (coefficients  $R=0,890$  ;  $0,938$  et

0,600 respectivement). La densité larvaire a été influencée par la température de l'air, la température de l'eau et le pH (Figure 3). Par contre, le taux d'oxygène dissout et la Conductivité électrique ont été fortement associés à l'axe Dim<sub>2</sub> (R coefficients = 0,896 et 0,893 respectivement). Ces deux paramètres ont négativement influencé la densité larvaire des anophèles.

### Catégorisation des gîtes par Classification Hiérarchique Ascendante

Pour la caractérisation et la classification des gîtes (Figure 4), l'analyse en composante multiple a été employée et a permis de définir sept (7) clusters. La première classe a regroupé majoritairement les gîtes qui sont des Rizières A, de nature anthropique avec une végétation dressée. Ils n'ont pas été ensoleillés, l'eau y a été transparente avec la présence des prédateurs. Les gîtes de cette classe ont également une surface supérieure à 10 m, une profondeur inférieure ou égale à 10 cm, de la verdure à proximité immédiate, une distance gîte-maison qui a varié de 50 à 100 m et l'absence de larves. La deuxième classe quant à elle a comporté pour la plupart des gîtes qui ont été des rizières ensoleillées. Ils sont par conséquent de nature anthropique avec une végétation dressée et de la verdure autour du gîte. Ce groupe a également été caractérisé par une turbidité moyenne, l'absence de prédateurs, une profondeur inférieure à 10 cm, une surface supérieure ou égale à 10 m et surtout la présence de larves. La troisième

classe a été composée de bordure du fleuve qui ont été des gîtes naturelles de Goudel avec une turbidité faible, une végétation dressée, de la verdure autour, une distance gîte-maison inférieure à 50 m, une profondeur inférieure à 10 cm, une surface supérieure ou égale à 10 m et surtout la présence de larves. La quatrième classe a été constituée des caniveaux de Tondibiah qui ont été des gîtes de nature anthropique avec de l'eau courante, une surface inférieure à 1 m<sup>2</sup> et caractérisée par l'absence de végétation, de verdure, la présence de prédateurs et surtout une faible présence de larves. La cinquième classe a été localisée pour la plupart à Lamordé et a été composée de flaques d'eau et de carrières ensoleillées dépourvues de végétaux et de verdure à proximité avec une surface variant de 1 à 10 m<sup>2</sup>, une turbidité moyenne et l'absence de prédateurs. Dans la sixième classe, l'on a retrouvé surtout les réservoirs et dans une moindre mesure les mares semi-permanentes. Ils ont été dépourvus de toutes formes de couvertures végétales et de végétaux à proximité. Les gîtes de ce groupe ont été également caractérisés par une profondeur supérieure ou égale à 50 cm, une forte turbidité accompagnée de l'absence de prédateurs et de larves. Enfin, la classe 7 a regroupé pour l'essentiel, les mares permanentes de Koira-Tegui possédant une profondeur de 10 à 50 cm, une surface supérieure ou égale à 10 mètres, situées à une distance de 101 à 500 mètres des domiciles avec une forte turbidité et dépourvus de larves.

**Tableau 1:** Variabilité globale des gîtes larvaires et leur productivité.

Site	Banigoungou	Gamkallé	Goudel	Koira-Tegui	Lamordé	Tondibiah	
	Nombre de gîte (Moyenne de larves/gîte)						
	B fleuve	0 (0)	12 (85)	20 (177)	0 (0)	0 (0)	12 (163)
	Caniveau	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (0)	0 (0)	12 (82)
<b>Type de gîte</b>	Carrière	4 (229)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	12 (100)	0 (0)
	Flaque d'eau	12 (141)	4 (44)	0 (0)	0 (0)	12 (31)	4 (0)
	Mare-p	0 (0)	0 (0)	6 (0)	18 (0)	4 (0)	0 (0)

	Mare-s-p	4 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	Réservoir	4 (0)	8 (87)	4 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (0)
	Rizière	26 (159)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	26 (210)	0 (0)
	Rizière A	20 (27)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	24 (17)	0 (0)
	<b>Total</b>	<b>70 (92)</b>	<b>24 (0)</b>	<b>30 (0)</b>	<b>20 (0)</b>	<b>78 (19)</b>	<b>30 (25)</b>
<b>Saison</b>	Chaude	6 (92)	0 (0)	4 (0)	6 (0)	16 (19)	4 (25)
	Froide	30 (89)	8 (53)	14 (128)	6 (0)	28 (124)	10 (106)
	Pluvieuse	34 (120)	16 (92)	12 (146)	8 (0)	34 (107)	16 (114)
	<b>Total</b>	<b>70 (100,33)</b>	<b>24 (48,33)</b>	<b>30 (91,33)</b>	<b>20 (0)</b>	<b>78 (83,33)</b>	<b>30 (81,66)</b>

Mare-p : mare permanente, Mare-s-p : mare semi-permanente, Rizière A: Rizière avancée

**Tableau 2:** Relation entre les caractéristiques des gîtes et la présence larvaire.

	Variables	Présence de larves d' <i>Anopheles spp.</i>		X2 & p
		Non	Oui	
<b>Site</b>	Banigoungou	10 (3,96)	60 (23,8)	56,886 & 0,00*
	Gamkallé	8 (3,17)	16 (6,34)	
	Goudel	12 (4,76)	18 (7,14)	
	Koira-Tegui	20 (7,93)	0 (0)	
	Lamordé	22 (8,73)	56 (22,22)	
	Tondibiah	6 (2,38)	24 (9,52)	
<b>Type de gîte</b>	B fleuve	4 (1,58)	40 (15,87)	144,713 & 0,00*
	Caniveau	2 (0,79)	12 (4,76)	
	Carrière	4 (1,58)	12 (4,76)	
	Flaque d'eau	16 (6,34)	16 (6,34)	
	Mare-p	28 (11,11)	0 (0)	
	Mare-s-p	4 (1,58)	0 (0)	
	Réservoir	14 (5,55)	4 (1,58)	
	Rizière	0 (0)	52 (20,63)	
Rizière A	6 (2,38)	38 (15,07)		
<b>Nature de gîte</b>	Anthropique	26 (10,32)	118 (46,83)	26,149 & 0,00*
	Naturel	52 (20,63)	56 (22,22)	
<b>Turbidité</b>	Faible	6 (2,38)	16 (6,34)	72,839 & 0,00*
	Fort	30 (11,9)	8 (3,17)	
	Moyen	8 (3,17)	100 (39,68)	
	Transparent	34 (13,49)	50 (19,84)	
<b>Ensoleillement</b>	Non	18 (7,14)	42 (16,66)	0,033 & 0,855
	Oui	60 (23,8)	132 (52,38)	
<b>Présence de Prédateur</b>	Non	50 (19,84)	92 (36,5)	2,761 & 0,097
	Oui	28 (11,11)	82 (32,53)	
<b>Surface</b>	<1m2	30 (11,9)	26 (10,31)	17,442 & 0,000*
	1-10m2	12 (4,76)	32 (12,69)	
	>10m2	36 (14,28)	116 (46,03)	
<b>Profondeur</b>	<10cm	20 (7,93)	164 (65,07)	130,465 & 0,000*
	10-50cm	44 (17,46)	10 (3,96)	

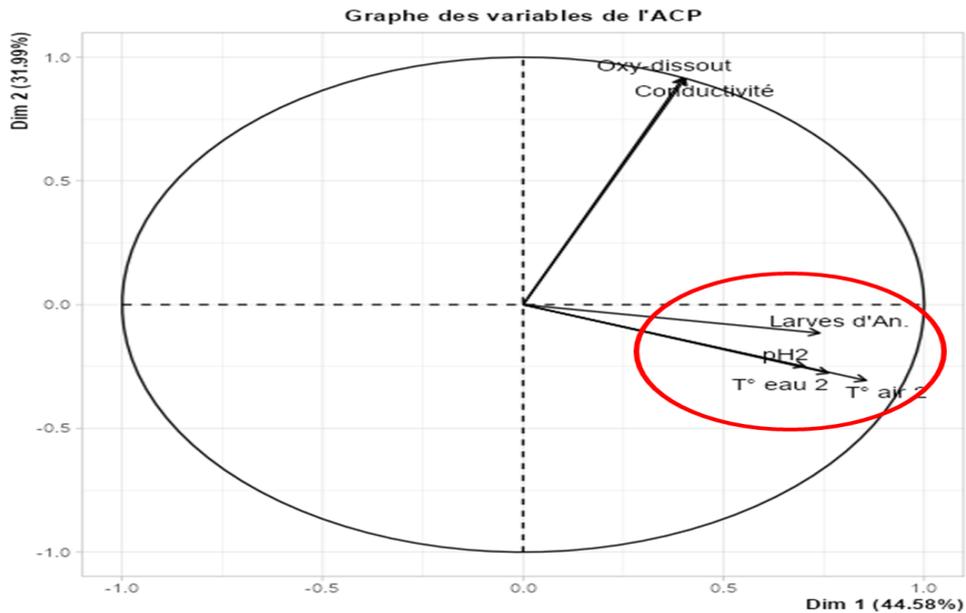
	>50cm	14 (5,55)	0 (0)	
<b>Type d'eau</b>	Eau courante	2 (0,79)	8 (3,17)	8,071 & 0,018*
	Eau Stagnante	76 (30,15)	166 (65,87)	
<b>Distance G-M</b>	<50m	38 (15,07)	94 (37,3)	29,128 & 0,000*
	50-100m	10 (3,96)	60 (23,8)	
	101-500m	30 (11,9)	20 (7,93)	
<b>Verdure autour</b>	Non	58 (23,2)	32 (12,7)	72,403 & 0,000*
	Oui	20 (7,9)	142 (56,4)	

\* Statistiquement différent ; G-M gîte-maison ; Mare-s-p : mare semi-permanente.

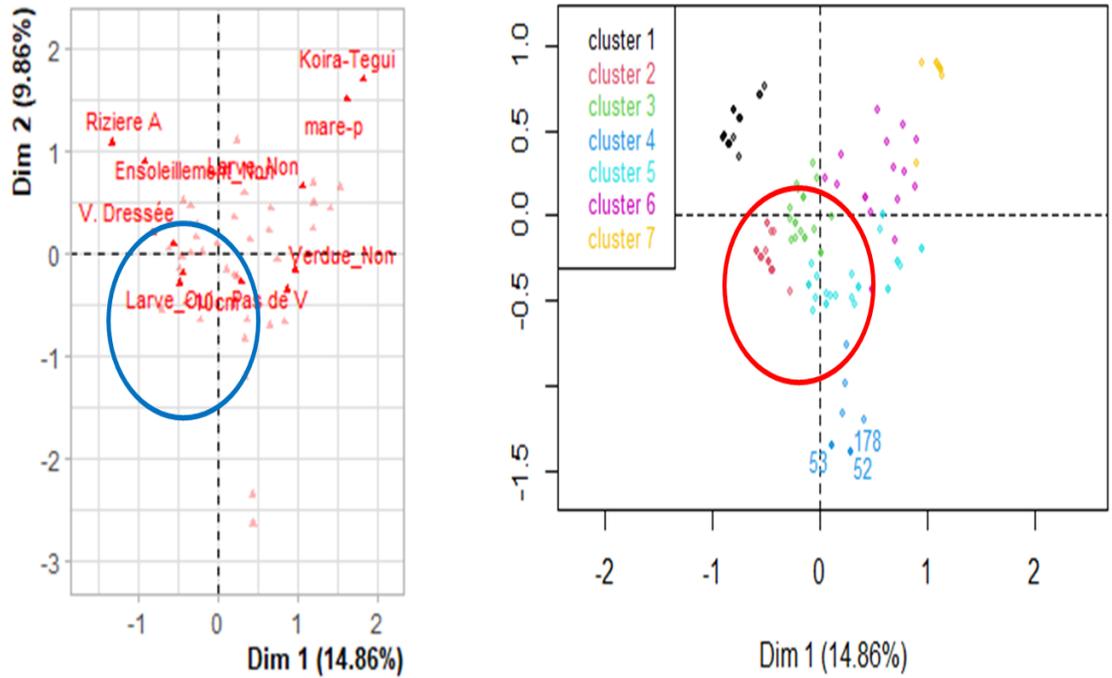
**Tableau 3:** Corrélation entre variable et facteurs.

Chargements de composantes		
	Dimension	
Caractéristiques	1	2
T° eau	0,890	0,181
T° air	0,938	0,272
pH	0,600	0,557
Oxygène dissout	-0,485	0,896
Conductivité	-0,482	0,893
Larves d' <i>Anopheles</i> spp.	0,570	0,200

T° : Température



**Figure 3 :** Analyse en composante principale montrant la relation entre la densité larvaire et les paramètres physicochimiques de gîtes.



**Figure 4 :** Classification Ascendante Hiérarchique des gîtes. La classification réalisée sur les gîtes fait apparaître 7 clusters.

**DISCUSSION**

Les résultats de la présente étude ont permis d’identifier et de caractériser les gîtes de larves d’*Anopheles* spp. sur six sites de l’étude. Au total, 252 gîtes ont été identifiés et caractérisés avec une diversité très variée selon les sites et les saisons. De manière générale, les rizières, les carrières, les bordures du fleuve, les flaques d’eau et les réservoirs dans une moindre mesure, ont constitué l’essentiel des gîtes positifs. Cette diversité des gîtes larvaires a été évidemment liée à une mauvaise exécution des projets d’urbanisation non contrôlée, du manque d’entretien et de la mauvaise gestion environnementale qui ont caractérisé de nombreuses villes des pays africains en développement (Mattah et al., 2017). La variation saisonnière du nombre de gîtes et de leur productivité en larves ont montré que le plus grand nombre de gîtes positifs a été enregistré pendant la saison

pluvieuse et le plus faible en saison chaude en passant par la saison froide. Il en a été de même pour la productivité où l’abondance moyenne de larves d’*Anopheles* spp. par gîte, qu’importe le site, a été plus élevée en saison pluvieuse, excepté à Lamordé où l’abondance larvaire moyenne par gîte a été plus élevée en saison froide. Nos observations sont similaires à celles effectuées par Iro et al. (2020) au Niger, Zogo et al. (2019) et Koumba et al. (2018) en Côte d’Ivoire et Kweka et al. (2012) au Kenya. Ces auteurs ont mis en évidence une augmentation du nombre de gîtes d’*Anopheles* spp. en saison pluvieuse par rapport à la saison froide et chaude. En effet, les gîtes larvaires des espèces anophéliennes sont connus pour une augmentation en nombre et en productivité en saison pluvieuse mais semblent diminuer en saison sèche (Koffi et al., 2023). Cependant, lorsque la pluie devient abondante, certains habitats de reproduction se retrouvent inondés,

de fois lessivés et les larves emportées par les eaux (Forson et al., 2022). L'abondance larvaire observée serait liée à ce nombre important des gîtes larvaires présents pendant la saison pluvieuse dans la zone d'étude offrant des possibilités de choix aux diverses espèces d'*Anopheles*, assurant l'épanouissement de celles-ci. Or, cela n'a pas été le cas pour les autres saisons où certains gîtes favorables au développement des moustiques s'assèchent ou disparaissent et cela a pour conséquence une rareté des gîtes larvaires (Koumba et al., 2018). L'abondance de larves d'*Anopheles* en saison froide à Lamordé pourrait être due à la productivité des carrières qui retiennent moins d'eau en cette période, devenant ainsi moins profondes, favorables au développement et productives par rapport à la saison pluvieuse. Les sites de Lamordé et Banigoungou ont enregistré le plus grand nombre de gîtes larvaires par rapport à celui de Koira-Tegui. Ceci pourrait être dû, d'une part à la situation topographique de ces sites et aussi aux activités agricoles exercées et d'autre part du fait que ces sites soient les plus modestes (Handschumacher et al., 2019).

Il ressort de nos résultats que plus de la moitié de gîtes identifiés, 57,14% (n=144/252), ont été des gîtes anthropiques. Cette observation s'oppose à celle effectuée par Iro et al. (2020) qui, dans leur étude sur les gîtes larvaires dans un quartier de Niamey, ont trouvé que la majorité de gîtes identifiés ont été d'origine naturelle. Cette différence pourrait provenir de la situation topographique du site d'étude qui pourrait favoriser ou non la rétention naturelle des eaux de pluie formant de flaques d'eaux naturelles qui sont connues pour être des gîtes favorables aux anophèles (Keven et al., 2019; Haileselassie et al., 2021). En revanche, nos résultats corroborent ceux obtenus par Kumba et al. (2018) au Gabon et Eghodaghe et al. (2024) au Nigeria, qui ont respectivement trouvé que 68,5% et 72,1% des gîtes identifiés ont été anthropiques ou artificiels. Ce nombre important des gîtes anthropiques a montré la responsabilité des populations humaines dans la mise en place des conditions propices au développement et au

maintien des moustiques via la création de leurs habitats larvaires. La prise de conscience de cet état de fait pourrait éviter ou réduire considérablement l'incidence palustre dans la ville de Niamey. En outre, les résultats ont montré que la distance entre les gîtes larvaires et les maisons ont une influence positive sur la présence larvaire des gîtes d'*Anopheles spp.* En effet, il a été observé que les gîtes proches des maisons ont été les plus colonisés par les larves d'anophèles et cette présence a diminué à mesure qu'on s'éloigne, ce qui a montré le fort risque d'une augmentation de densité de vecteurs dans les habitations humaine (Kweka et al., 2012). Ce résultat vient confirmer ceux obtenus par plusieurs auteurs qui ont démontré que la présence d'*An. gambiae* s.l. a été étroitement liée aux habitations humaines et par conséquent, utiliserait les gîtes les plus proches pour la ponte (Minakawa et al., 2002; Mutuku et al., 2006; Eghodaghe et al., 2024).

Les résultats de cette étude ont montré une différence significative de la présence larvaire suivant certains paramètres dont certains ont été significativement associés à la présence larvaire dans les gîtes. En effet, la turbidité de l'eau a été l'un des facteurs observés dans cette étude et les résultats ont montré que les gîtes contenant de l'eau à turbidité moyenne ont été les gîtes les plus infestés par les larves d'*Anopheles spp.* Ceci semble être une particularité pour la ville de Niamey car le genre *Anopheles* a été toujours connu pour sa préférence de colonisation des gîtes à eau claire ; Cet état de fait pourrait s'expliquer par l'adaptation des espèces d'*Anopheles* présentes au contexte sahélien où l'aridité et l'irrégularité de la pluviosité ont fait que les gîtes naturels préférentiels du moustique genre *Anopheles* ont été moins abondant même pendant la saison pluvieuse. Cette faible disponibilité de ce type de gîte semble obliger *Anopheles* à se reproduire dans des gîtes à eaux troubles, jadis atypiques aux *Anopheles*, et majoritairement représentés dans la zone d'étude. Partant de résultats d'étude que l'essentiel de gîtes identifiés ont été, soit des gîtes d'eaux pluviales ou des gîtes situés dans la zone de riziculture ou encore des

carrières de brique, il va de soi que ces gîtes soient moyennement turbides et que la corrélation avec la présence larvaire ait été trouvée. Car, ils ont été plus nombreux et accessibles aux anophèles que les gîtes contenant de l'eau claire. Cette préférence peut aussi être guidée par la teneur en matière organique présente dans ce type d'eau. En Côte d'Ivoire, Zogo et al. (2019) ont, par contre, trouvé que les gîtes les plus infestés par les larves d'anophèle sont les gîtes aux eaux transparentes suivi par ceux à turbidité moyenne. Liant cette différence au type d'espèce qui existe dans le milieu, Ebhodaghe et al. (2024) ont trouvé qu'il n'y a aucune différence significative d'infestation des gîtes par les larves d'*An. coluzzii* et d'*An. arabiensis* selon que les gîtes soit turbides ou pas alors que ceci n'a pas été le cas avec *An. gambiae* au Nigeria. En revanche, l'ensoleillement n'a pas été significativement associé à la présence larvaire même si par ailleurs, en majorité, les gîtes positifs à la présence de larves d'*Anopheles* spp. ont été des gîtes ensoleillés. Nos résultats contrastent ceux obtenus par Zogo et al. (2019) qui ont trouvé dans leur étude que 95% de gîtes positifs ont été de gîtes ensoleillés. Cette observation pourrait être influencée par l'existence des gîtes ombragés tels que les rizières au stade de développement avancé et aux bordures du fleuve qui ont présenté de faible densité larvaire. Nos résultats ont montré qu'il n'y a pas de différence d'infestation de gîtes larvaires entre les gîtes contenant les prédateurs et ceux n'en contenant pas. Cette observation est en désaccord à celle effectuée par Kweka et al. (2012) qui ont observé dans leur étude que les prédateurs ont influencé de manière significative l'abondance des larves de moustiques. Cependant, cette conclusion a été tributaire du type de prédateurs qui existent dans le milieu car les mêmes auteurs ont par la suite précisé que la présence des têtards prédateurs n'a point influencé de manière significative l'abondance des larves d'*Anopheles* contrairement à celle de *Gambusia affinis*, *Belestoma*, *Backswimmer* et nymphe de libellule qui ont été des prédateurs

potentiels d'*Anopheles* et qui pourraient être évalués à petite échelle dans des milieux écologiques naturels en tant qu'agents de lutte biologique (Kweka et al., 2012). Les résultats ont révélé une influence significative entre la surface de gîtes, leur profondeur et la présence de larves. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la majorité de gîtes positifs a été des casiers rizières qui ont été plus ou moins larges (>10 m<sup>2</sup>) et très peu profonds (<10 cm) contrairement aux mares qui ont été profondes et devenues défavorables à la présence larvaire. Le mouvement de l'eau de gîtes étant aussi important, il a été démontré que la présence larvaire a été significativement plus élevée dans les gîtes à eau calme ou stagnante que ceux à eau courante. Des observations similaires ont été effectuées au Niger (Soleimani-Ahmadi et al., 2014; Labbo et al., 2016). La prédominance des larves d'*Anopheles* spp. dans les gîtes aux eaux calmes pourrait être due à la tranquillité qu'elles trouvent et qui leur permet de rester près de la surface de l'eau avec leur stigmate ouvert à l'air pour respirer. De plus, les forts courants d'eau et les inondations sont préjudiciables à la survie des larves d'*Anopheles* spp. en raison de dommages physiques qu'ils peuvent leur causer (Soleimani-Ahmadi et al., 2014). Enfin, les résultats ont montré que la présence larvaire a été significativement plus élevée dans les gîtes présentant de verdure à proximité que dans ceux qui en sont dépourvus. Ceci pourrait être lié au microclimat que ces verdure pourraient créer pour limiter l'exposition au soleil dont la température pourrait s'élever jusqu'à 45°C. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Zogo et al. (2019) qui ont démontré dans leur étude que plus de 90% des habitats larvaires ont été entourés des verdure.

L'analyse en composante principale a révélé une forte corrélation positive entre la température de l'air, celle de gîtes et la densité larvaire. Selon les travaux de Roméo et al. (2022), cette associative positive entre température et l'abondance larvaire pourrait se justifier par le fait que la température jusqu'à un certain niveau accélère le développement

larvaire et favorise la croissance de micro-organismes qui sont des sources de nourriture pour les larves. La valeur moyenne de pH des gîtes positifs a été de 7,6 qui est plus ou moins neutre à tendance basique avec un maximum pH=8,56. La corrélation positive entre le pH et la densité larvaire a confirmé celle déjà trouvée par certains auteurs (Ahadji-Dabla et al., 2019; Roméo et al., 2022; Ebhodaghe et al., 2024) qui ont montré que les larves d'*Anopheles* prospèrent dans les gîtes au pH neutre ou légèrement basique. Ce qui pourrait justifier la corrélation entre le pH et la densité larvaire observée au cours de cette étude. En revanche, aucune association positive n'a été observée entre la conductivité, le taux d'oxygène dissout et la densité larvaire. La baisse de la conductivité et la teneur en oxygène dissout enregistrée dans notre étude pourrait résulter du type d'eau de collection, colonisés par les larves d'*Anopheles*, qui ont été chargées en boue et autres particules qui sont de nature à réduire l'intensité de ces facteurs conduisant ainsi à un effet négatif de ces variables sur l'abondance larvaire.

L'analyse en composantes multiples a permis de catégoriser les différents types de gîtes prospectés en fonction de leurs caractéristiques similaires et de leur potentiel productif. C'est ainsi que sept (7) groupes, classes ou clusters ont été obtenus. Ces groupes peuvent être répartis en trois lots : lot de gîtes avec absence de larves, lot de gîtes avec une forte présence larvaire et enfin lot de gîte avec une faible présence larvaire. Ainsi, le 1<sup>er</sup> lot comporte les groupes 1, 5, 6 et 7 ayant constitué les groupes de gîtes qui n'ont pas été fréquentés par les larves d'*Anopheles* spp. Pour l'essentiel, le groupe 1 est constitué des gîtes tels que les rizières à l'épiaison qui présentent un pH acide (<7), sont ombragés et animés par des prédateurs. Le pH acide des gîtes combiné à la présence d'ombre et de prédateurs pourrait expliquer la faible présence de larves dans ces milieux. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Ebhodaghe et al. (2024) au Nigeria. Les groupes 5, 6 et 7 sont constitués des petites flaques d'eau temporaires, des mares semi-permanentes et des mares

permanentes. Ces gîtes ont été distancés des habitations humaines et caractérisés par une profondeur importante (>50 cm), les rendant ainsi impropres au développement de larves d'*Anopheles*. Le 2<sup>e</sup> lot de gîtes a comporté le groupe 2 et 3 ayant enregistré une forte présence larvaire. Ces groupes ont été constitués des rizières (groupe 2) pendant le repiquage caractérisé par une large surface (>10 m<sup>2</sup>), une faible profondeur, un ensoleillement, un pH faiblement basique et une absence de prédateurs. Ces différents paramètres fournis par les rizières en repiquage ont donné de conditions particulièrement adaptées au développement de larves d'*Anopheles*. Le groupe 3 est représenté par les bordures du fleuve qui présentent des caractéristiques quasi-similaires à celles des rizières qui les ont rendus aussi propices au développement larvaire. Et enfin, le groupe 4 qui a été constitué des caniveaux contenant des eaux courantes, moins propices au développement larvaire ce qui justifie la faible présence de larve d'*Anopheles*.

## Conclusion

Cette étude a été transversale, prospective de larves dans des gîtes potentiels en saison pluvieuse, saison froide et saison chaude dans six sites de la ville de Niamey. L'objectifs poursuivi a été d'identifier et de caractériser les différentes sources de prolifération de moustiques *Anopheles* spp. dans la ville de Niamey. Il ressort de cette étude qu'à Niamey, les larves des moustiques *Anopheles* se développent dans plusieurs types de collections d'eau. Les gîtes anthropiques tels que les rizières et les carrières de briques ou encore des réservoirs pour irrigation ont été les plus productifs. La majorité des habitats larvaires positifs se trouve à proximité des habitations humaines. La plupart des gîtes et la plus grande abondance larvaire ont été enregistré en saison pluvieuse suivi de la saison froide alors que les plus faibles en saison chaude. Cette production larvaire dépendante de la saison est aussi tributaire de certaines pratiques humaines et de la durée de conservation de l'eau dans les contenants

artificiels. Ces résultats pourront être utiles et aider le programme national de lutte contre le paludisme dans le réajustement de ses stratégies de lutte à Niamey.

### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

MSN et DA ont conçu l'étude. MSN, ZHW, DSA, AS, II, RSOM et MSI ont effectué la collecte des données. MSN, DM, FNY et ZHW ont analysé les données et MSN a rédigé le manuscrit. DA, IML, DM, II, ZHW, RSOM et FNY ont effectué la révision critique du document.

### CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a pas de conflit d'intérêts.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements à la direction générale du Centre de Recherche Médicale et Sanitaire (CERMES) pour avoir rendu ce travail possible. Ils remercient également tous les techniciens de l'Unité de Parasitologie et d'Entomologie Médicale pour leur appui.

### REFERENCES

Ahadji-Dabla KM, Ngoagouni C, Dery BD, Apétogbo YG, Ketoh GK, Glitho IA. 2019. Spatio-seasonal distribution of *Anopheles gambiae* sensu lato and dynamics of the Voltage gate sodium channel knock down resistance mutation (Vgsc1014F) in the city of Lomé, Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **13**: 1654–1668. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.36>

Atieli HE, Zhou G, Lee MC, Kweka EJ, Afrane Y, Mwanzo I, Githeko AK, Yan G. 2011. Topography as a modifier of breeding habitats and concurrent vulnerability to malaria risk in the western Kenya highlands. *Parasites & Vectors*, **4**: 241. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-4-241>

Betsi AN, Tchicaya, ES, Koudou BG. 2012. Forte prolifération de larves d'*An. gambiae* et *An. funestus* en milieux

rizicoles irrigués et non irrigués dans la région forestière ouest de la Côte-d'Ivoire. *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, **105**: 220–229. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13149-012-0219-z>

Chan K, DoannioTusting LS, Bottomley C, Saito K, Lines J. 2022. Replication Data for: Malaria transmission and prevalence in rice-growing versus non-rice-growing villages in Africa: a systematic review and meta-analysis. [Data Collection]. Harvard Dataverse. DOI: <https://doi.org/10.7910/DVN/PXF0JX>

Ebhodaghe FI, Sanchez-Vargas I, Isaac C, Foy BD, Hemming-Schroeder E. 2024. Sibling species of the major malaria vector *Anopheles gambiae* display divergent preferences for aquatic breeding sites in southern Nigeria. *Malar J.*, **23**: 60. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12936-024-04871-9>

Fillinger U, Lindsay SW. 2006. Suppression of exposure to malaria vectors by an order of magnitude using microbial larvicides in rural Kenya. *Tropical Medicine & International Health*, **11**: 1629–1642. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2006.01733.x>

Forson AO, Hinne IA, Dhikrullahi SB, Sraku IK, Mohammed AR, Attah SK, Afrane YA. 2022. The resting behavior of malaria vectors in different ecological zones of Ghana and its implications for vector control. *Parasites & Vectors*, **15**: 246. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05355-y>

Foster WA, Walker ED. 2019. Mosquitoes (Culicidae), in: Mullen, G.R., Durden, L.A. (Eds.), Medical and Veterinary Entomology (Third Edition). *Academic Press*, pp. 261–325. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814043-7.00015-7>

Geissbühler Y, Kannady K, Chaki PP, Emidi B, Govella NJ, Mayagaya V, Kiama M, Mtasiwa D, Mshinda H, Lindsay SW,

- Tanner M, Fillinger U, Castro MC, Killeen GF. 2009. Microbial Larvicide Application by a Large-Scale, Community-Based Program Reduces Malaria Infection Prevalence in Urban Dar Es Salaam, Tanzania. *PLOS ONE*, **4**: e5107. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005107>
- Gillies MT, Coetzee M. 1987. A supplement to the Anophelinae of Africa South of the Sahara (Afro-Tropical region) Vol. 55. DOI: <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/full/10.5555/19880590772>
- Haileselassie W, Zemene E, Lee M-C, Zhong D, Zhou G, Taye B, Dagne A, Deressa W, Kazura JW, Yan G, Yewhalaw D. 2021. The effect of irrigation on malaria vector bionomics and transmission intensity in western Ethiopia. *Parasites & Vectors*, **14**: 516. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04993-y>
- Handschumacher P, Fournet F, Ramalho W. 2019. Espace, territoires et maladies vectorielles: enseignements des Suds pour lutter contre la menace des arboviroses au Brésil? Confins. *Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia*. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.22854>
- Hinne IA, Attah SK, Mensah BA, Forson AO, Afrane YA. 2021. Larval habitat diversity and Anopheles mosquito species distribution in different ecological zones in Ghana. *Parasites & Vectors*, **14**: 193. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04701-w>
- Iro SM, Seydou YA, Doumma A. 2020. Mesures des indicateurs de prolifération des larves de moustiques au niveau des mares permanentes et semi permanentes de Saga, Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **14**: 1188–1202. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i4.3>
- Keven JB, Katusese M, Vinit R, Koimbu G, Vincent N, Thomsen EK, Karl S, Reimer LJ, Walker ED. 2019. 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.*, **18**: 96. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2742-x>
- Kibret S, Lautze J, McCartney M, Nhamo L, Yan G. 2019. Malaria around large dams in Africa: effect of environmental and transmission endemicity factors. *Malaria Journal*, **18**: 303. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2933-5>
- Kitron U, Spielman A. 1989. Suppression of transmission of malaria through source reduction: antianopheline measures applied in Israel, the United States, and Italy. *Rev Infect Dis.*, **11**: 391–406. DOI: <https://doi.org/10.1093/clinids/11.3.391>
- Koffi AA, Camara S, Ahoua Alou LP, Oumbouke WA, Wolie RZ, Tia IZ, Sternberg ED, Yapo FHA, Koffi, FM, Assi SB, Cook J, Thomas MB, N'Guessan R. 2023. Anopheles vector distribution and malaria transmission dynamics in Gbêkê region, central Côte d'Ivoire. *Malar J.*, **22**: 192. <https://doi.org/10.1186/s12936-023-04623-1>
- Koumba AA, Koumba CRZ, Nguema RM, Djogbenou LS, Ondo PO, Ketoh GK, Comlan P, M'Batchi B, Mavoungou JF. 2018. Distribution spatiale et saisonnière des gîtes larvaires des moustiques dans les espaces agricoles de la zone de Mouila, Gabon. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **12**: 1754–1769. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.19>
- Kweka EJ, Zhou G, Munga S, Lee M-C, Atieli HE, Nyindo M, Githeko AK, Yan G. 2012. Anopheline Larval Habitats Seasonality and Species Distribution: A Prerequisite for Effective Targeted Larval Habitats Control Programmes. *PLOS*

- ONE, 7: e52084. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052084>
- Labbo R, Fandeur T, Jeanne I, Czeher C, Williams E, Arzika I, Soumana A, Lazoumar R, Duchemin J-B. 2016. Ecology of urban malaria vectors in Niamey, Republic of Niger. *Malar J.*, **15**: 314. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1352-0>
- Lawali D, Bachir AG. 2021. Apport des SIG dans la gestion du système de transport des étudiants de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger). (EDUCI) 2021 *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n°1, 15.
- Manguin S, Bangs MJ, Pothikasikorn J, Chareonviriyaphap T. 2010. Review on global co-transmission of human Plasmodium species and Wuchereria bancrofti by Anopheles mosquitoes. *Infection, Genetics and Evolution*, **10**: 159–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2009.11.014>
- Mattah PAD, Futagbi G, Amekudzi LK, Mattah MM, De Souza DK, Kartey-Attipoe WD, Bimi L, Wilson MD. 2017. Diversity in breeding sites and distribution of Anopheles mosquitoes in selected urban areas of southern Ghana. *Parasites & Vectors*, **10**: 25. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1941-3>
- M'Bra RK, Kone B, Soro DP, N'krumah RTAS, Soro N, Ndione JA, Sy I, Ceccato P, Ebi KL, Utzinger J, Schindler C, Cissé G. 2018. Impact of climate variability on the transmission risk of malaria in northern Côte d'Ivoire. *PLoS One*, **13**: e0182304. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182304>
- Minakawa N, Seda P, Yan G. 2002. Influence of host and larval habitat distribution on the abundance of African malaria vectors in western Kenya. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **67**: 32–38. DOI: <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2002.67.32>
- Mutuku F, Bayoh M, Hightower A, Vulule J, Gimnig J, Mueke J, Amimo F, Walker E. 2009. A supervised land cover classification of a western Kenya lowland endemic for human malaria: associations of land cover with larval Anopheles habitats. *Int J Health Geogr.*, **8**: 19. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-072X-8-19>
- Mutuku FM, Bayoh MN, Gimnig JE, Vulule JM, Kamau L, Walker ED, Kabiru E, Hawley WA. 2006. Pupal habitat productivity of Anopheles gambiae complex mosquitoes in a rural village in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg.*, **74**: 54–61. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16407346/>
- Mwangangi JM, Shililu J, Muturi EJ, Muriu S, Jacob B, Kabiru EW, Mbogo CM, Githure J, Novak RJ. 2010. Anopheles larval abundance and diversity in three rice agro-village complexes Mwea irrigation scheme, central Kenya. *Malaria Journal*, **9**: 228. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-9-228>
- Ondiba IM, Oyieke FA, Athinya DK, Nyamongo IK, Estambale BBA. 2019. Larval species diversity, seasonal occurrence and larval habitat preference of mosquitoes transmitting Rift Valley fever and malaria in Baringo County, Kenya. *Parasites & Vectors*, **12**: 295. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3557-x>
- Rejmánková E, Grieco J, Achee N, Roberts DR. 2013a. Ecology of Larval Habitats, in: Manguin, S. (Ed.), Anopheles Mosquitoes. *IntechOpen, Rijeka*. DOI: <https://doi.org/10.5772/55229>
- Rejmánková E, Grieco J, Achee N, Roberts D. 2013b. Ecology of Larval Habitats, in: Anopheles Mosquitoes - New Insights into Malaria Vectors. *IntechOpen.*, DOI: <https://doi.org/10.5772/55229>
- Robert V, Gazin P, Boudin C, Molez JF, Ouedraogo V, Carnevale P. 1985. La transmission du paludisme en zone de

- savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo Dioulasso (Burkina Faso). *Annales de la Société belge de médecine tropicale*, **65**: 201–214. DOI: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:131800573>
- Roméo NN, Lucien KY, Ibrahima CZ, Urbain SG, Ladji YK, Eliezer NK. 2022. Identification and characterization of Anopheles Breeding habitats in Dabakala, Central-East Cote d'Ivoire. *J. Entomol. Zool. Stud.*, **10**: 181–189. DOI: <https://doi.org/10.22271/j.ento.2022.v10.i2c.8985>
- Rossati A, Bargiacchi O, Kroumova V, Zaramella M, Caputo A, Garavelli PL. 2016. Climate, environment and transmission of malaria. *Infez Med.*, **24**: 93–104. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27367318/>
- Salé NM, Naroua HZ, Hounkarin WZ, Labbo R, Laminou IM, Souley AD, Soumana A, Arzika II, Jambou R, Doumma A. 2023. Influence des facteurs environnementaux sur l'abondance des anophèles dans les différents agroécosystèmes de la ville de Niamey. *IJAR.*, **11**: 01–15. DOI: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/xxx>
- Shililu J, Mbogo C, Ghebremeskel T, Githure J, Novak R. 2007. Mosquito larval habitats in a semiarid ecosystem in Eritrea: impact of larval habitat management on Anopheles arabiensis population. *Am J Trop Med Hyg.*, **76**: 103–110. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17255237/>
- Soleimani-Ahmadi M, Vatandoost H, Zare M. 2014. Characterization of larval habitats for anopheline mosquitoes in a malarious area under elimination program in the southeast of Iran. *Asian Pac J Trop Biomed.*, **4**: S73–S80. DOI: <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C899>
- Trari B, Dakki M. 2017. Genetic characterization of the Anopheles maculipennis complex (Diptera: Culicidae) in Morocco: a fundamental tool for malaria control. *East Mediterr Health J.*, **23**: 809–814. DOI: <https://doi.org/10.26719/2017.23.12.809>
- Walker K, Lynch M. 2007. Contributions of Anopheles larval control to malaria suppression in tropical Africa: review of achievements and potential. *Medical and Veterinary Entomology*, **21**: 2–21. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2007.00674.x>
- World HO. 2012. Global plan for insecticide resistance management in malaria vectors 131. DOI: <https://iris.who.int/handle/10665/44846>
- Zogo B, Koffi AA, Alou LPA, Fournet F, Dahounto A, Dabiré RK, Baba-Moussa L, Moiroux N, Pennetier C. 2019. Identification and characterization of Anopheles spp. breeding habitats in the Korhogo area in northern Côte d'Ivoire: a study prior to a Bti-based larviciding intervention. *Parasites & Vectors*, **12**: 146. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3404-0>