

## ENTOMOLOGIE MÉDICALE/MEDICAL ENTOMOLOGY



## Hétérogénéité de la transmission du paludisme urbain dans les districts sanitaires de Bouaké, Côte d'Ivoire

## Variability in urban malaria transmission across health districts in Bouaké, Côte d'Ivoire

Konan Fabrice ASSOUHO\*, Négnorogo GUINDO-COULIBALY, Dounin Danielle ZOH,  
Konan Rodolphe Mardoché AZONGNIBO, Akré Maurice ADJA

**RÉSUMÉ** **Justification.** Des travaux réalisés dans la ville de Bouaké il y a environ 20 ans ont montré un fort niveau de transmission du paludisme essentiellement dû au vecteur *Anopheles gambiae*, avec une recrudescence manifestée en saison pluvieuse. Des efforts de lutte à travers la distribution de moustiquaires imprégnées d'insecticides à longue durée d'action (MILDA) ont été menés par le Programme national de lutte contre le paludisme. Cependant, la crise politico-militaire de 2002 à 2011 a provoqué un important flux migratoire des habitants de cette ville, laissant le milieu naturel préservé. Le retour des populations à Bouaké a donc nécessité la mise en place de nouveaux programmes de lutte avec l'utilisation des MILDA. De nouvelles études de recherche sont maintenant nécessaires afin de recueillir des données sur les paramètres de transmission du paludisme. La présente étude s'inscrit dans ce contexte. Elle a pour objectif d'évaluer la transmission vectorielle du paludisme à travers la détermination de paramètres entomologiques dans les trois districts sanitaires de la ville de Bouaké.

**Matériel et méthodes.** Les investigations ont été menées en milieu urbain pendant la saison pluvieuse, du 10 au 29 juin 2016, dans les trois districts sanitaires de Bouaké (Nord-Ouest, Nord-Est, Sud). Les moustiques ont été collectés par captures sur sujet humain et identifiés. Le comportement trophique des femelles vectrices a été examiné et les paramètres entomologiques de la transmission du paludisme ont été estimés. L'âge physiologique des femelles vectrices a été déterminé après la dissection de leurs ovaires et les moustiques infestés par *Plasmodium falciparum* ont été détectés par le test ELISA-CSP.

**Résultats.** *An. gambiae* a été la seule espèce vectrice du paludisme collectée. Elle a présenté une tendance à l'endophagie et un taux moyen de parturité supérieur à 90 % dans tous les districts. Les densités agressives de l'espèce étaient respectivement de 3,6, 15,5 et 14,4 piqûres/homme/nuite (p/h/n) dans les districts Nord-Ouest, Nord-Est et Sud. Les taux d'infestation étaient en moyenne de 4,2 %, 2,9 % et 1,9 % pour les districts Nord-Ouest, Nord-Est et Sud avec des taux d'inoculation entomologique de 0,15, 0,45 et 0,22 p/h/n respectivement.

**Conclusion.** La transmission du paludisme existe dans les trois districts de la ville de Bouaké avec un niveau deux fois supérieur dans le district Nord-Est. Cette transmission est assurée par l'espèce *An. gambiae* qui a présenté une tendance à l'endophagie dans tous les sites.

**Mots clés:** *Anopheles gambiae*, *Plasmodium falciparum*, Paludisme, Transmission, Milieu urbain, Bouaké, Côte d'Ivoire, Afrique subsaharienne

**ABSTRACT** **Rationale.** Approximately 20 years ago, studies conducted in the city of Bouaké revealed a high level of malaria transmission, primarily due to the *Anopheles gambiae* vector increasing during the rainy season. The National Malaria Control Program implemented control efforts involving the distribution of long-lasting insecticidal nets (LLINs). However, the political and military crisis from 2002 to 2011 caused many residents to leave the city, leaving the natural environment largely undisturbed. The subsequent return of the population to Bouaké necessitated implementing new LLIN-based control programs. New research studies are needed to collect data on malaria transmission parameters. This study is conducted within this context. The objective is to assess vector-borne malaria transmission by determining entomological parameters in the city's three health districts.

**Materials and methods.** Investigations were conducted in urban areas during the rainy season from June 10 to 29, 2016, in Bouaké's three health districts (Northwest, Northeast, and South). Mosquitoes were collected from human-biting samples and identified. We examined the feeding behavior of female vectors and estimated the entomological parameters of malaria transmission. We determined the physiological age of the female vectors by dissecting their ovaries and detected mosquitoes infected with *Plasmodium falciparum* using the ELISA-CSP test.

**Results.** Only the malaria vector species *An. gambiae* was collected. The species exhibited a tendency toward endophagy and had an average parturition rate exceeding 90% in all districts. Aggressive densities of the species were 3.6, 15.5, and 14.4 bites/person/night (b/p/n) in the Northwest, Northeast, and South districts, respectively. The infection rates were 4.2%, 2.9%, and 1.9% in the Northwest, Northeast, and South districts, respectively, with entomological inoculation rates of 0.15, 0.45, and 0.22 b/p/n.

**Conclusion.** Malaria transmission occurs in all three districts of Bouaké, with levels twice as high in the Northeast District. This transmission is carried out by the *An. gambiae* species, which exhibited a tendency toward endophagous feeding at all sites.

**Keywords:** *Anopheles gambiae*, *Plasmodium falciparum*, Malaria, Transmission, Urban environment, Bouaké, Côte d'Ivoire, Sub-Saharan Africa

## Introduction

Depuis 2000, on estime que 2,3 milliards de cas de paludisme et 14 millions de décès ont été évités dans le monde entier dont 1 million de vies sauvées sur la seule année 2024. Les progrès pour atteindre les objectifs mondiaux d'élimination de la maladie se sont poursuivis, 47 pays et un territoire étant désormais officiellement certifiés exempts de paludisme par l'OMS [28]. Malgré ces progrès, le paludisme reste un problème de santé mondial important, avec environ 282 millions de cas et 610 000 décès en 2024, soit environ 9 millions de cas de plus que l'année précédente. La région Afrique de l'OMS continue de supporter la plus grande partie du fardeau, avec 11 pays représentant environ les deux tiers des cas et des décès dans le monde [28]. Les progrès en matière de réduction du taux de mortalité lié au paludisme restent toutefois très insuffisants. Ainsi, malgré des efforts importants et divers plans de contrôle, le paludisme reste un défi majeur pour la santé publique, en particulier en Afrique subsaharienne [17,27].

En Côte d'Ivoire, comme dans la plupart des grands pays d'Afrique, le paludisme est la cause majeure de morbidité et de mortalité et constitue le premier motif de consultation et d'hospitalisation [21,7]. Se trouvant dans une zone d'endémie palustre, ce pays connaît une transmission permanente du paludisme tout au long de l'année avec une recrudescence pendant la saison pluvieuse [3,14,26]. À Bouaké, ville située au centre de la Côte d'Ivoire, la transmission est liée aux conditions climatiques, écologiques, hydrographiques et aux activités humaines [2,10,14]. À ces facteurs, s'ajoutent des situations particulières telles que l'introduction de la riziculture irriguée et intensive et l'apparition de la résistance des vecteurs du paludisme aux insecticides. D'après les travaux de Dossou-Yovo *et al.* [14] réalisés sur toute l'année dans cette ville il y a environ 20 ans, *An. gambiae* s.l. était le principal vecteur du paludisme (représentant plus de 98 % de la faune anophélienne) avec un taux considérable d'inoculation entomologique (TIE) de 339 piqûres infestantes/homme/an et des pics en saison des pluies. Ce taux essentiellement dû à *An. gambiae* était influencé par une importante saison des pluies conduisant à une recrudescence en début de saison pluvieuse [20]. Par ailleurs, des travaux réalisés après la crise militaro-politique de 2002 à 2011 en Côte d'Ivoire par Adja *et al.* [1] et Zoh *et al.* [36], visant à actualiser les données de la transmission vectorielle dans cette ville, ont

## Introduction

Since 2000, an estimated 2.3 billion malaria cases and 14 million malaria-related deaths have been prevented worldwide. In 2024 alone, 1 million lives were saved. Progress toward achieving global malaria elimination targets has continued, with 47 countries and one territory now officially certified malaria-free by the WHO [28]. However, malaria remains a significant global health issue, with approximately 282 million cases and 610,000 deaths in 2024—approximately 9 million more cases than the previous year. The WHO African Region continues to bear the greatest burden, with 11 countries accounting for approximately two-thirds of global cases and deaths [28]. However, progress in reducing malaria-related mortality remains insufficient. Thus, despite significant efforts and various control programs, malaria remains a major public health challenge, particularly in sub-Saharan Africa [17,27].

In Côte d'Ivoire, as in most large African countries, malaria is the leading cause of morbidity and mortality, as well as the primary reason for medical consultations and hospitalizations [21,7]. The country is located in a malaria-endemic zone and experiences year-round malaria transmission, with an increase during the rainy season [3,14,26]. In Bouaké, a city in central Côte d'Ivoire, malaria transmission is linked to climatic, ecological, hydrographic, and human activity conditions [2,10,14]. In addition to these factors, there are specific circumstances, such as the introduction of irrigated, intensive rice farming, and the emergence of insecticide resistance among malaria vectors. According to Dossou-Yovo *et al.*'s work [14] conducted throughout the year in Bouaké about 20 years ago, *An. gambiae* s.l. was the primary malaria vector, accounting for over 98% of the *Anopheles* population, with a substantial entomological inoculation rate (EIR) of 339 infective bites per person per year, peaking during the rainy season. This rate, primarily due to *An. gambiae*, was influenced by a heavy rainy season, which led to a resurgence at the start of the rainy season [20]. Furthermore, studies by Adja *et al.* [1] and Zoh *et al.* [36] aimed at updating vector transmission data in Bouaké after the 2002–2011 military-political crisis in Côte d'Ivoire. They showed that *An. gambiae* remained the primary malaria vector in Bouaké, exhibiting high activity during the rainy season.

Efforts to control and prevent malaria included the mass distribution of long-lasting insecticide-treated bed nets (LLINs), which were used

également montré que cette espèce était toujours le principal vecteur du paludisme à Bouaké avec une forte agressivité en saison pluvieuse.

Des efforts de lutte et de prévention contre le paludisme ont été menés à travers la distribution en masse de moustiquaires imprégnées d'insecticides à longue durée d'action (MILDA) utilisées comme moyen de protection. Ces efforts menés par le ministère de la Santé et de l'hygiène publique à travers le Programme national de lutte contre le paludisme (PNLP) visaient une couverture de toute la population. La crise de 2002 à 2011 a provoqué un important flux migratoire des habitants de cette ville. Plusieurs quartiers ont été désertés laissant le milieu naturel sans entretien et l'arrêt de toute activité anti-vectorielle. Le retour des populations dans ces quartiers a nécessité la mise en place de programmes de recherche destinés à recueillir de nouvelles données sur les paramètres de transmission et la répartition du paludisme. L'intérêt de cette étude réalisée en zone urbaine pendant la saison des pluies est qu'elle cible la période la plus propice au développement des vecteurs du paludisme à Bouaké, c'est à dire la période de transmission intense de la maladie. Elle a donc pour objectif d'évaluer le niveau de la transmission vectorielle du paludisme par la détermination des paramètres entomologiques dans les quartiers des trois districts sanitaires de Bouaké.

as a protective measure. Led by the Ministry of Health and Public Hygiene through the National Malaria Control Program (NMCP), these efforts aimed to cover the entire population. On the other hand, from 2002 to 2011, the crisis triggered a significant exodus of residents from the city. Several neighborhoods were abandoned, which left the natural environment unmaintained and halted all vector control activities. The return of residents to these neighborhoods required the implementation of research programs to collect new data on malaria transmission parameters and distribution. This study is significant because it targets the period most conducive to the development of malaria vectors in Bouaké. Its objective is to assess the level of vector-borne malaria transmission by determining entomological parameters in Bouaké's three health district neighborhoods.

## Matériel et méthodes

### Milieu d'étude

Bouaké (7°40'47"N, 5°1'38"O) est une ville située au centre de la Côte d'Ivoire à 372 km d'Abidjan. Avec une superficie de 312 km<sup>2</sup> et une population de plus de 500 000 habitants, Bouaké représente la deuxième ville de la Côte d'Ivoire après Abidjan, la capitale économique. Elle est située dans une zone de transition écologique (forêt/savane). Les pluies s'étalent généralement sur 8 mois, de mars à octobre [16]. Les moyennes pluviométriques annuelles oscillent entre 1 000 et 1 200 mm. La température varie peu au cours de l'année, avec des moyennes de 28 à 32 °C. L'humidité relative annuelle est comprise entre 75 et 90 %. Par sa forme vallonnée, la ville abrite plusieurs kilomètres de rubans marécageux. L'espace urbain est sillonné par de nombreux petits cours d'eau espacés de 500 à 800 m les uns des autres. Cette situation fait que tous les quartiers de la ville, à l'exception du centre commercial, sont traversés ou limités par des rubans de bas-fonds humides.

## Materials and methods

### Study area

Bouaké (7°40'47"N, 5°1'38"W) is a city in central Côte d'Ivoire located 372 km from Abidjan. Spanning 312 km<sup>2</sup> and home to over 500,000 people, Bouaké is the second-largest city in Côte d'Ivoire after Abidjan, the economic capital. It is situated in an ecological transition zone (forest/savanna). Rainfall generally occurs over an eight-month period, from March to October [16]. The annual average rainfall ranges from 1,000 to 1,200 mm. Temperatures vary little throughout the year, averaging from 28 to 32°C. Annual relative humidity ranges from 75% to 90%. Due to its hilly terrain, the city has several kilometers of marshy strips. The urban area is crisscrossed by numerous small waterways spaced 500 to 800 meters apart. Consequently, all neighborhoods in the city, except for the commercial center, are crossed by or bordered by strips of wet lowlands. Bouaké is divided into three health districts: Northwest, Northeast, and South. The study area,

La ville de Bouaké est divisée en trois districts sanitaires : le district Nord-Ouest, le district Nord-Est et le district Sud. La zone d'étude, la conception de l'étude et l'épidémiologie locale du paludisme ont déjà été décrites en détail [33]. Pour chaque district, trois quartiers ont été choisis. Pour le district Nord-Ouest, les quartiers concernés sont N'Gattakro, Djézoukouamékro et Dar-Es-Salam ; Sokoura, Belle Ville et Attienkro pour le district Nord-Est ; et pour le district Sud, Kennedy, Air France et N'Gouatanoukro (Fig. 1). Dans cette région, la transmission du paludisme est intense, *Plasmodium falciparum* étant la principale espèce parasitaire [32] et *An. gambiae* s.l. le principal vecteur [24].

### Échantillonnage des moustiques sur le terrain

L'échantillonnage a été effectué en milieu urbain pendant la saison pluvieuse, du 10 au 29 juin 2016, dans les trois districts sanitaires de Bouaké. Le choix des points de capture a commencé par une visite préliminaire dans ces districts. À partir du plan de la ville et en tenant compte de la présence de l'environnement des districts, trois quartiers par district ont été choisis, puis chaque quartier a été divisé en différents lots appelés points de

study design, and local malaria epidemiology have already been described in detail [33]. For each district, three neighborhoods were selected. In the northwest district, the selected neighborhoods are N'Gattakro, Djézoukouamékro, and Dar-Es-Salam. In the northeast district, the selected neighborhoods are Sokoura, Belle Ville, and Attienkro. In the south district, the selected neighborhoods are Kennedy, Air France, and N'Gouatanoukro (Fig. 1). In this region, malaria transmission is intense. *Plasmodium falciparum* is the main parasite species [32], and *An. gambiae* s.l. is the main vector [24].

### Field mosquito sampling

Sampling was conducted in urban areas during the rainy season, from June 10 to 29, 2016, in the three health districts of Bouaké. The selection of capture sites began with a preliminary visit to these districts. Using a city map and taking into account the environmental characteristics of the districts, three neighborhoods per district were selected, then each neighborhood was divided into different lots called capture sites. Mosquito collection was conducted using the human-based trapping method (HBT). Over three consecutive nights (from 5:00 PM to 9:00 AM), the mosquito

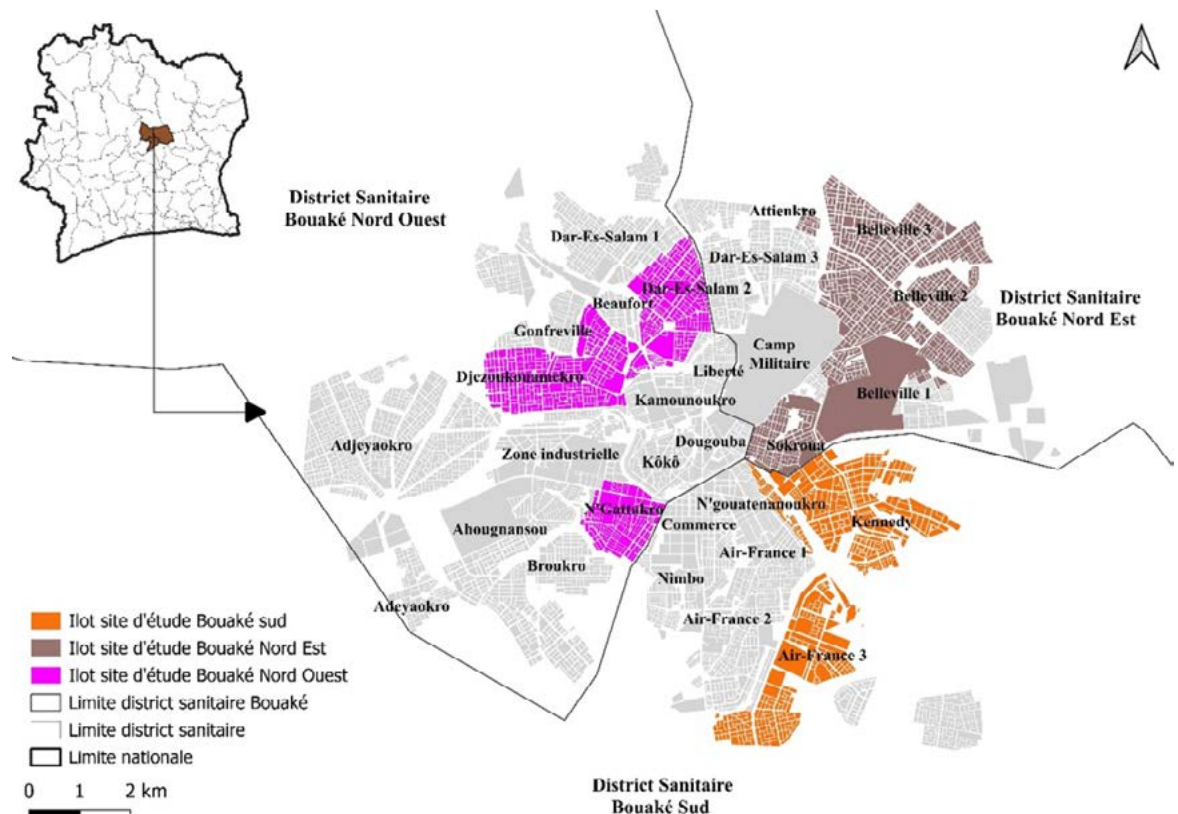


Figure 1 : Zone de Bouaké présentant les sites d'étude (source : CNTIG, 2018 / Palevalute, 2018 – Réalisation : AZONGNIBO Mardoché, 2024)

Figure 1: Bouaké area showing the study sites (source: CNTIG, 2018 / Palevalute, 2018 – Produced by: AZONGNIBO Mardoché, 2024)

capture. La collecte des moustiques a été entreprise à l'aide de la méthode de capture sur sujet humain (CSH). Pendant trois nuits consécutives (de 17 h à 9 h), des CSH ont été réalisées dans quatre points de capture par quartier, avec deux collecteurs dont un à l'intérieur et l'autre à l'extérieur des habitations sélectionnées (soit 216 séances de capture).

Ces captures ont été réalisées par deux équipes de bénévoles de tout sexe (résidents locaux). La première équipe a travaillé de 17 h à minuit et la seconde de minuit à 9 h. Les moustiques capturés ont été regroupés toutes les heures par site et conservés dans des sacs séparés. Grâce à cette stratégie, la densité agressive ou densité d'anophèles antropophiles par personne et par unité de temps (nuit) a été estimée et utilisée pour le calcul des TIE. Tous les moustiques collectés ont été identifiés morphologiquement à l'aide de la clé d'identification des Culicidae d'Edwards [15] et de celle des anophèles femelles afrotropicales [9]. Les ovaires des femelles d'anophèles ont été disséqués et le degré d'enroulement des trachéoles ovariennes a été observé pour déterminer leur statut de parité sur la base des critères de Detinova [11]. Toutes les femelles anophèles collectées ont été conservées individuellement dans des tubes Eppendorf, contenant un déshydratant, étiquetés avec le nom du site d'étude, le point et la date de collecte. Elles ont été conservées à -20 °C pour des analyses ultérieures au laboratoire de l'Institut Pierre Richet de Bouaké.

### Traitement des moustiques au laboratoire

Un test *Enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) a été utilisé pour tester la présence de protéine circumsporozoïte (CSP) de *P. falciparum* (ce parasite représente l'espèce prédominante et la cause de plus de 95 % des cas de paludisme). La tête et le thorax des femelles anophèles ont été utilisés pour le test. Ces deux parties ont été séparées du reste du corps et homogénéisées dans un tampon de blocage (caséine à 0,5 %, NaOH 0,1 N, PBS 1×). Les procédures utilisées étaient celles de Burkot *et al.* [6] et Wirtz *et al.* [35]. Un échantillon de moustique était positif si la valeur de la densité optique (DO) était supérieure à deux fois la DO moyenne de quatre puits de contrôle négatif (moustiques non infectés) sur la plaque ELISA.

### Paramètres entomologiques et analyse statistique

La saisie des données quantitatives recueillies au cours des enquêtes entomologiques a été effectuée

collection was conducted at four capture sites per neighborhood, with two collectors, one inside and one outside the selected dwellings (totaling 216 capture sessions).

These captures were carried out by two teams of volunteers of both genders (local residents). The first team worked from 5:00 PM to midnight, and the second from midnight to 9:00 AM. Captured mosquitoes were grouped hourly by site and stored in separate bags. Using this strategy, the aggressive density or density of anthropophilic *Anopheles* per person per unit of time (night) was estimated and used to calculate EIRs. All collected mosquitoes were morphologically identified using Edwards' identification key for Culicidae [15] and that for female Afrotropical *Anopheles* [9]. The ovaries of female *Anopheles* were dissected, and the degree of coiling of the ovarian tracheoles was observed to determine their parity status based on Detinova's criteria [11]. All collected female *Anopheles* were stored individually in Eppendorf tubes containing a desiccant, labeled with the study site name, collection point, and date. They were stored at -20 °C for subsequent analysis at the Pierre Richet Institute laboratory in Bouaké.

### Laboratory processing of mosquitoes

An enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) was used to test for the presence of *P. falciparum* circumsporozoïte protein (CSP). This parasite is the predominant species, accounting for more than 95% of malaria cases. The heads and thoraxes of female *Anopheles* were used for the test. The head and thorax were separated from the rest of the body and homogenized in a blocking buffer containing casein at 0.5%, NaOH 0.1 N, and 1× PBS. The procedures were based on those of Burkot *et al.* [6] and Wirtz *et al.* [35]. A sample was considered positive if the optical density (OD) value was greater than twice the average OD of the four negative control wells (uninfected mosquitoes) on the ELISA plate.

### Entomological parameters and statistical analysis

Quantitative data collected during entomological surveys were entered into Excel. The dataset was then transferred to STATA version 8.0 for analysis. Aggressive density, infestation rate, and parturition rate were calculated using standard methods previously described by Fontenille *et al.* [19]. The Kruskal-Wallis test was used to compare mean aggressive densities. The chi<sup>2</sup> test was used to compare infestation and parturition rates. All

sous Excel et la base a été transférée dans la version 8.0 du logiciel STATA pour analyse. La densité agressive, le taux d'infestation et de parturité ont été calculés en utilisant les méthodes standards déjà décrites par Fontenille *et al.* [19]. Pour la comparaison des densités agressives moyennes, il a été utilisé le test de Kruskal-Wallis. Le test de  $\chi^2$  a permis de comparer les taux d'infestation et de parturité. Toutes les analyses ont été réalisées avec un intervalle de confiance de 5%.

## Résultats

### Faune culicidienne

Au total, 29 528 moustiques ont été capturés dans les trois districts par 216 hommes/nuit, soit une nuisance culicidienne de 136,7 piqûres/homme/nuit (p/h/n). Ces moustiques sont répartis en quatre genres (*Anopheles*, *Culex*, *Mansonia* et *Aedes*), tous retrouvés dans chacun des districts. Les captures ont permis de récolter dans le district Nord-Ouest, 6 104 moustiques répartis en 8 espèces (*An. gambiae*, *An. pharoensis*, *Cx. quinquefasciatus*, *Cx. nebulosus*, *Cx. annulioris*, *Cx. cinereus*, *Man. africana* et *Ae. aegypti*) avec une nuisance culicidienne de 84,7 p/h/n. Dans les trois quartiers du district, les nuisances culicidiennes ont été respectivement de 70,7, 85,9 et 97,6 p/h/n respectivement à Dar-Es-Salam, Djezoukouamekro et N'Gattakro. Le genre *Culex* a été prédominant avec une proportion de 95,2% de la faune suivi du genre *Anopheles* avec 4,3% (Tableau I). *Cx. quinquefasciatus* a été l'espèce prédominante avec une proportion de 97,7%.

Au total, 10 090 moustiques ont été récoltés dans le district de Bouaké Nord-Est. Le genre *Culex* a été prédominant (73,7%), suivi des genres *Mansonia* (11,8%) et *Anopheles* (11,1%). Les captures sur homme ont permis de répertorier 13 espèces avec une dominance de *Cx. quinquefasciatus* (73,1% des captures). La nuisance culicidienne moyenne a été de 140,1 p/h/n dont 189,4 p/h/n à Sokoura, 154,3 p/h/n à Attienkro et 76,7 p/h/n à Belle Ville. Dans les 3 quartiers, le genre *Culex* a été prédominant, avec 98,3%, 74,4% et 43,2% respectivement à Sokoura, Belle Ville et Attienkro. Il a été suivi du genre *Mansonia* (31,7% à Attienkro) et du genre *Anopheles* avec des proportions de 24,8% et 1,7% respectivement à Belle Ville et Sokoura (Tableau I).

Un total de 13 334 moustiques a été capturé dans le district de Bouaké Sud. Comme dans les 2 autres districts, le genre *Culex* a été majoritaire (88,6% des moustiques). *Cx. quinquefasciatus* a été

analyses were performed with a 5% confidence interval.

## Results

### Culicidae fauna

A total of 29,528 mosquitoes were captured in the three districts by 216 men-nights, representing a nuisance of 136.7 bites/person/night (b/p/n). These mosquitoes belong to four genera (*Anopheles*, *Culex*, *Mansonia*, and *Aedes*), all of which were found in each district.

The captures yielded 6,104 mosquitoes in the Northwest district, comprising 8 species (*An. gambiae*, *An. pharoensis*, *Cx. quinquefasciatus*, *Cx. nebulosus*, *Cx. annulioris*, *Cx. cinereus*, *Man. africana* and *Ae. aegypti*), with a culicide nuisance index of 84.7 b/p/n. In the district's three neighborhoods, the Culicidae nuisance indices were 70.7, 85.9, and 97.6 b/p/n, respectively in Dar-Es-Salam, Djezoukouamekro, and N'Gattakro. The genus *Culex* was predominant, accounting for 95.2% of the fauna, followed by the genus *Anopheles* with 4.3% (Table I). *Cx. quinquefasciatus* was the predominant species, accounting for 97.7%.

A total of 10,090 mosquitoes was collected in the Northeast district. The genus *Culex* was predominant (73.7%), followed by the genera *Mansonia* (11.8%) and *Anopheles* (11.1%). Captures on humans identified 13 species, with *Cx. quinquefasciatus* being the most common (73.1% of the captures). The average Culicidae nuisance index was 140.1 b/p/n, including 189.4 b/p/n in Sokoura, 154.3 b/p/n in Attienkro, and 76.7 b/p/n in Belle Ville. In all three neighborhoods, the genus *Culex* was predominant, accounting for 98.3%, 74.4%, and 43.2% in Sokoura, Belle Ville, and Attienkro, respectively. It was followed by the genus *Mansonia* (31.7% in Attienkro) and the genus *Anopheles*, with proportions of 24.8% and 1.7% in Belle Ville and Sokoura, respectively (Table I).

In the South district, 13,334 mosquitoes were captured. As in the other two districts, the *Culex* genus was predominant, accounting for 88.6%. Among

Tableau I: Faune culicidienne des sites échantillonnés des districts sanitaires de Bouaké

Table I: Culicidae fauna of the sampled sites in the Bouaké health districts

Genre / Genera	Espèce / Species	Bouaké Nord-Ouest / Northwest Bouaké			Bouaké Nord-Est / Northeast Bouaké			Bouaké Sud / South Bouaké		
		Dar-Es-Salam n (%)	Djézoukouamékro n (%)	N'Gattakro n (%)	Sokoura n (%)	Attienkro n (%)	Belle Ville n (%)	Air France n (%)	Kennedy n (%)	N'Goutanoukro n (%)
<i>Anopheles</i>	<i>An. gambiae</i>	35 (2,1)	185 (9)	41 (1,7)	76 (1,7)	585 (15,8)	456 (24,8)	21 (0,4)	987 (32,4)	28 (0,5)
	<i>An. pharoensis</i>	-	3 (0,1)	-	1 (0,02)	6 (0,2)	-	-	8 (0,3)	-
	<i>An. ziemanni</i>	-	-	-	-	-	-	-	1 (0,0)	-
<b>Total 1 / Total 1 <i>Anopheles</i></b>		<b>35 (2,1)</b>	<b>186 (9,1)</b>	<b>41 (1,7)</b>	<b>77 (1,7)</b>	<b>588 (16)</b>	<b>464 (24,8)</b>	<b>21 (0,4)</b>	<b>996 (32,7)</b>	<b>28 (0,5)</b>
<i>Culex</i>	<i>Cx. quinquefasciatus</i>	1 644 (96,9)	1 868 (90,5)	2 271 (96,9)	4 464 (98,2)	1 592 (43,0)	1 320 (71,7)	4 714 (99,4)	1 564 (51,3)	5 512 (99,5)
	<i>Cx. nebulosus</i>	6 (0,4)	1 (0,05)	-	-	-	7 (0,4)	-	18 (0,6)	-
	<i>Cx. annulioris</i>	-	1 (0,05)	2 (0,1)	-	1 (0,03)	-	-	1 (0,03)	-
	<i>Cx. decens</i>	-	-	-	-	8 (0,2)	5 (0,3)	-	-	-
	<i>Cx. cinereus</i>	8 (0,5)	3 (0,1)	6 (0,3)	3 (0,1)	-	7 (0,4)	-	-	1 (0,02)
	<i>Cx. ingrami</i>	-	-	-	-	-	25 (1,4)	-	-	-
	<i>Cx. tigripes</i>	-	-	-	-	-	6 (0,3)	-	-	-
<b>Total 2 / Total 2 <i>Culex</i></b>		<b>1 658 (97,7)</b>	<b>1 873 (90,8)</b>	<b>2 276 (97,2)</b>	<b>4 467 (98,3)</b>	<b>3 701 (43,2)</b>	<b>1 370 (74,4)</b>	<b>4 714 (99,4)</b>	<b>1 583 (51,9)</b>	<b>5 513 (99,5)</b>
<i>Mansonia</i>	<i>Man. africana</i>	-	2 (0,1)	-	1 (0,02)	333 (9,1)	1 (0,1)	-	94 (3,1)	-
	<i>Man. uniformis</i>	-	-	-	-	840 (22,7)	12 (0,7)	-	55 (1,8)	-
<b>Total 3 / Total 3 <i>Mansonia</i></b>		<b>-</b>	<b>2(0,1)</b>	<b>-</b>	<b>1 (0,0)</b>	<b>1 173 (31,7)</b>	<b>13 (0,7)</b>	<b>-</b>	<b>149 (4,9)</b>	<b>-</b>
<i>Aedes</i>	<i>Ae. aegypti</i>	4 (0,2)	-	24 (1,0)	-	338 (9,1)	2 (0,1)	7 (0,1)	319 (10,5)	1 (0,02)
	<i>Ae. vitatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	2 (0,1)	-
	<i>Ae. palpalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	1 (0,03)	-
	<i>Ae. africanus</i>	-	-	-	-	1 (0,03)	-	-	-	-
<b>Total 4 / Total 4 <i>Aedes</i></b>		<b>0,2</b>	<b>-</b>	<b>24 (1,0)</b>	<b>-</b>	<b>339 (9,2)</b>	<b>2 (0,1)</b>	<b>7 (0,1)</b>	<b>322 (10,6)</b>	<b>1 (0,02)</b>
<b>TOTAL / TOTAL</b>		<b>1 697</b>	<b>2 063</b>	<b>2 344</b>	<b>4 545</b>	<b>3 704</b>	<b>1 841</b>	<b>4 742</b>	<b>3 003</b>	<b>5 542</b>

prédominant parmi les 12 espèces collectées, avec une proportion de 88,4 %. La nuisance moyenne du district a été de 185,2 p/h/n avec des nuisances de 197,6, 230,9 et 127,1 p/h/n respectivement à Air France, N'Gouatanoukro et Kennedy (Tableau I). Le genre *Culex* a été majoritairement représenté dans chacun des 3 quartiers du district à des proportions de 99,5 %, 99,4 % et 51,9 % respectivement pour N'Gouatanoukro, Air France et Kennedy. Dans ce district, le genre *Anopheles* a représenté entre 0,4 et 32,7 % des culicidés.

### Comportement de piqûre d'*An. gambiae* s.l.

L'organisation concomitante des captures à l'intérieur et à l'extérieur des habitations a permis de déterminer les habitudes trophiques des femelles d'*An. gambiae* s.l. (Tableau II). Le taux d'endophagie ou d'exophagie est la proportion de femelles de moustiques vecteurs du paludisme qui piquent à l'intérieur ou à l'extérieur des habitations. Il s'exprime en pourcentage. Dans la ville de Bouaké, sur les 2 414 femelles d'*An. gambiae* s.l. capturées, 1 269 (52,6 %) l'ont été à l'intérieur et 1 145 (47,4 %) à l'extérieur des habitations. Cependant, au niveau du district sanitaire de Bouaké Nord-Ouest, les femelles d'*An. gambiae* se nourrissent aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des habitations. Il a été observé à Dar-Es-Salam et à Djézoukouamékro une exophagie. Dans les quartiers de Sokoura et Air France, bien que l'on observe en général une endophagie, les femelles d'*An. gambiae* se nourrissent aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des habitations.

### Densité agressive d'*An. gambiae* s.l.

*An. gambiae* s.l. a été le seul vecteur du paludisme identifié dans les trois districts de la ville de Bouaké. Sa densité agressive moyenne a été de 11,2 p/h/n sur l'ensemble de la ville (Tableau III). Dans le district Nord-Ouest, cette densité a été de 3,6 p/h/n. En considérant les quartiers de ce district, la densité agressive obtenue à Djézoukouamekro (7,7 p/h/n) a été significativement supérieure à celles de N'Gattakro (1,7 p/h/n) et Dar-Es-Salam (1,5 p/h/n) ( $p=0,002$ ).

La densité agressive d'*An. gambiae* s.l. à Bouaké Nord-Est a été de 15,5 p/h/n. La densité agressive du vecteur observée à Sokoura (3,2 p/h/n) a été largement inférieure à celles d'Attienkro (24,4 p/h/n) et de Belle Ville (19 p/h/n) ( $p < 0,10^4$ ). Dans le district Sud de Bouaké, l'agressivité d'*An. gambiae* a été de 14,4 p/h/n. La densité agressive observée à Kennedy (41,1 p/h/n) a été largement plus élevée ( $p < 0,0001$ ) que celle estimée

the 12 collected species, *Cx. quinquefasciatus* was predominant, accounting for 88.4% of the mosquitoes. The district's average nuisance index was 185.2 b/p/n. Nuisance indices were 197.6, 230.9, and 127.1 b/p/n in Air France, N'Gouatanoukro, and Kennedy, respectively (Table I). *Culex* was the most abundant genus in each of the district's three neighborhoods, accounting for 99.5%, 99.4%, and 51.9% of the total in N'Gouatanoukro, Air France, and Kennedy, respectively. In this district, the genus *Anopheles* accounted for between 0.4% and 32.7% of the Culicidae.

### Biting behavior of *An. gambiae* s.l.

The simultaneous collection of mosquitoes inside and outside dwellings made it possible to determine the feeding habits of female *An. gambiae* s.l. (Table II). The endophagous or exophagous rate is the proportion of female, malaria-vectoring mosquitoes that bite inside or outside dwellings. It is expressed as a percentage. Of the 2,414 female *An. gambiae* s.l. captured in the city of Bouaké, 1,269 (52.6%) were captured indoors and 1,145 (47.4%) outdoors. In the Northwest health district, *An. gambiae* females feed both indoors and outdoors. Exophagous feeding was observed in Dar-Es-Salam and Djézoukouamékro. Although endophagous feeding is generally observed in the Sokoura and Air France neighborhoods, *An. gambiae* females feed inside and outside dwellings.

### Aggressive density of *An. gambiae* s.l.

*An. gambiae* s.l. was the only identified malaria vector in the three districts of Bouaké. Its average density was 11.2 b/p/n across the entire city (Table III).

In the Northwest district, the density was 3.6 b/p/n. Among the neighborhoods in this district, the biting density in Djézoukouamekro (7.7 b/p/n) was significantly higher than in N'Gattakro (1.7 b/p/n) and Dar-Es-Salam (1.5 b/p/n) ( $p=0.002$ ).

The biting density of *An. gambiae* s.l. in Northeast Bouaké was 15.5 b/p/n. The biting density of the vector in Sokoura (3.2 b/p/n) was significantly lower than in Attienkro (24.4 b/p/n) and Belle Ville (19 b/p/n) ( $p < 0.10^{-4}$ ).

In the South district, *An. gambiae* aggressivity was 14.4 b/p/n. The biting density in Kennedy (41.1 b/p/n) was significantly higher ( $p < 0.0001$ ) than in Air France (0.9 b/p/n) and N'Gouatanoukro (1.2 b/p/n). *An. gambiae* s.l. aggressivity in Northwest Bouaké was significantly lower ( $p < 0.0001$ ) than in the other two districts, where densities did not vary significantly.

Tableau II : Comportement de piqûres des femelles d'*An. gambiae* s.l. dans les trois districts sanitaires de Bouaké  
Table II: Biting behavior of female *An. gambiae* s.l. in the three health districts of Bouaké

Districts / Districts	Quartiers / Neighborhoods	Femelles capturées / females captured (%)		Statut majoritaire / Predominant status
		Int / In n (%)	Ext / Out n (%)	
<b>Bouaké Nord-Ouest / Northwest Bouaké</b>	N'Guattakro	31 (75,60)	10 (24,4)	Endophagie / Endophagy
	Dar-Es-Salam	12 (34,3)	23 (65,7)	Exophagie / Exophagy
	Djézoukouamékro	84 (45,9)	99 (54,1)	Exophagie / Exophagy
<b>TOTAL / TOTAL</b>		<b>127 (49)</b>	<b>132 (51)</b>	<b>Endophagie / Endophagy</b>
<b>Bouaké Nord-Est / Northeast Bouaké</b>	Sokoura	38 (50)	38 (50)	Endo-Exophagie / Endo-exophagy
	Belle Ville	261 (56,2)	203 (43,8)	Endophagie / Endophagy
	Attienkro	306 (52,6)	276 (47,4)	Endophagie / Endophagy
<b>TOTAL / TOTAL</b>		<b>605 (53,9)</b>	<b>517 (46,1)</b>	<b>Endophagie / Endophagy</b>
<b>Bouaké Sud / South Bouaké</b>	Air France	10 (50)	10 (50)	Endo-Exophagie / Endo-exophagy
	Kennedy	497 (52,9)	443 (47,1)	Endophagie / Endophagy
	N'Gouatanoukro	11 (42,3)	15 (57,7)	Exophagie / Exophagy
<b>TOTAL / TOTAL</b>		<b>518 (52,5)</b>	<b>468 (47,5)</b>	<b>Endophagie / Endophagy</b>

n: Effectif ; Int: Intérieur ; Ext: Extérieur ; (%): Pourcentage de femelles dans le total capturé /  
n: Headcount; In: Inside; Out: Outside; (%): Percentage of females in the total catch

Tableau III : Densité agressive d'*An. gambiae* s.l. dans les trois districts de Bouaké  
Table III: Aggressive density of *An. gambiae* s.l. in the three health districts of Bouaké

Districts / Districts	Quartiers / Neighborhoods	ma (p/h/n) / ma (b/h/n)	IC / CI
<b>Bouaké Nord-Ouest / Northwest Bouaké</b>	N'Gattakro	1,7 (41)	0,8 - 2,6
	Dar-Es-Salam	1,5 (35)	0,5 - 2,4
	Djézoukouamékro	7,7 (185)	4,1 - 11,3
<b>Moyenne / Average</b>		<b>3,6 (261)</b>	<b>2,2 - 5</b>
<b>Bouaké Nord-Est / Northeast Bouaké</b>	Belle Ville	19 (456)	13,7 - 24,3
	Attienkro	24,4 (585)	16,6 - 32,2
	Sokoura	3,2 (76)	1,8 - 4,5
<b>Moyenne / Average</b>		<b>15,5 (1 117)</b>	<b>11,8 - 19,2</b>
<b>Bouaké Sud / South Bouaké</b>	Air France	0,9 (21)	0,5 - 1,3
	Kennedy	41,1 (987)	28,5 - 53,8
	N'Gouatanoukro	1,2 (28)	0,5 - 1,8
<b>Moyenne / Average</b>		<b>14,4 (1 036)</b>	<b>8,4 - 20,4</b>

ma: agressivité en piqûres par humain et par nuit (p/h/n) ; IC: intervalle de confiance (95%) /  
ma. aggressivity in bites/person/night (b/p/n); CI: confidence interval (95%)

à Air France (0,9 p/h/n) et N'Gouatanoukro (1,2 p/h/n). L'agressivité d'*An. gambiae* s.l. à Bouaké Nord-Ouest a été significativement inférieure ( $p < 0,0001$ ) à celle observée dans les deux autres districts où les densités n'ont pas significativement varié.

### Taux de parturité d'*An. gambiae* s.l.

Dans l'ensemble, 809 femelles d'*An. gambiae* (216 dans le district Nord-Ouest, 377 dans le district Nord-Est et 216 dans le district Sud) ont été disséquées sur place avec un taux de parturité estimé à 93,8 %. Ce taux était estimé respectivement à 92,6 % et 95 % à l'intérieur et à l'extérieur des habitations (Tableau IV).

Dans le district sanitaire de Bouaké Nord-Ouest, 216 femelles d'*An. gambiae* ont été disséquées avec un taux de parturité estimé à 94 %. Ce taux était presque identique à l'intérieur et à l'extérieur des habitations avec des proportions respectives de 94,5 % et 93,5 %. Dans les quartiers de Dar-Es-Salam et N'Gattakro, le taux de parturité des a été de 100 % et de 92 % à Djézoukouamékro.

Dans l'ensemble, 377 femelles d'*An. gambiae* ont été disséquées avec un taux de parturité estimé à 94,9 % dans le district de Bouaké Nord-Est. À l'intérieur et à l'extérieur des habitations de ce district, les taux de parturité étaient respectivement de 91,8 % et 96,2 %. À Attienkro, le taux de parturité des femelles d'*An. gambiae* était de 100 %, celui de Sokoura et de Belle Ville respectivement de 88,6 % et 90,2 %.

Dans le district de Bouaké Sud, 216 femelles d'*An. gambiae* ont été disséquées avec un taux de parturité estimé à 93,5 %. Les taux de parturité à l'intérieur et à l'extérieur des habitations ont été respectivement de 92 % et 94,6 %. À Kennedy, ce taux a été de 100 %. N'Gouatanoukro et Air France ont eu des taux de parturité presque identiques estimés respectivement à 70,4 % et 72,7 %.

### Taux d'infection et taux d'inoculation entomologique

Sur 813 femelles d'anophèles testées pour l'ensemble de la ville de Bouaké, 24 étaient infectées. Le taux moyen d'infestation était de 3 % avec un TIE de 0,33 p/h/n (Tableau V). Le taux d'infestation du district Nord-Ouest était de 4,2 % sans différence significative entre ce taux et celui des districts Nord-Est (2,9 % ;  $p = 0,40$ ) et Sud (1,8 % ;  $p = 0,14$ ).

Dans le district Nord-Ouest, 9 femelles d'anophèles ont été trouvées infectées par *P. falciparum* sur les 215 moustiques femelles testées, soit un

### Parturition rate of *An. gambiae* s.l.

A total of 809 *An. gambiae* females (216 in the Northwest District, 377 in the Northeast District, and 216 in the South District) were dissected on site, yielding an estimated parturition rate of 93.8%. The rate was estimated to be 92.6% and 95% inside and outside dwellings, respectively (Table IV)

In the Northwest health district, the parturition rate was 94% of 216 female *An. gambiae*. This rate was nearly identical inside and outside of dwellings, with respective proportions of 94.5% and 93.5%. In the Dar-Es-Salam and N'Gattakro, the parturition rates were 100% and 92% in Djézoukouamékro.

A total of 377 *An. gambiae* females were dissected in the Northeast district, with an estimated parturition rate of 94.9%. In this district, the parturition rates inside and outside dwellings were 91.8% and 96.2%, respectively. In Attienkro, the parturition rate was 100%, while in Sokoura and Belle Ville, it was 88.6% and 90.2%, respectively. In the South district, 216 *An. gambiae* females were dissected, yielding an estimated parturition rate of 93.5%. The parturition rates of *An. gambiae* females dissected inside and outside dwellings were 92% and 94.6%, respectively. In Kennedy, the rate was 100%. N'Gouatanoukro and Air France had nearly identical rates, estimated at 70.4% and 72.7%, respectively.

### Infection and entomological inoculation rates

Of the 807 female *Anopheles* mosquitoes tested throughout Bouaké, 24 were infected. The average infection rate was 3%, resulting in an EIR of 0.33 b/p/n (Table V). The infestation rate in the Northwest District was 4.2%. There was no significant difference between this rate and the rates in the Northeast (2.9%;  $p = 0.40$ ) and South (1.8%;  $p = 0.14$ ) districts.

In the Northwest District, nine female *Anopheles* mosquitoes were found to be infected with *P. falciparum* out of 215 tested, representing an infestation rate of 4.2%. Infestation rates were 3.7% in Djézoukouamékro, 3.33% in Dar-Es-Salam, and 9.1% in N'Gattakro.

These rates did not differ significantly ( $p = 0.41$ ). Analyses of *Anopheles* captured inside and outside of dwellings revealed no significant differences in infestation rates among the neighborhoods of Djézoukouamékro, N'Gattakro, and Dar-Es-Salam ( $p = 0.11$ ,  $p = 0.67$ , and  $p = 0.43$ , respectively). The EIR in this district is 0.15 b/p/n. However, the

Tableau IV : Taux de parturité des femelles d'*An. gambiae* récoltées dans les trois districts de Bouaké  
Table IV: Parturition rate of female *An. gambiae* s.l. collected in the three health districts of Bouaké

Districts / Districts	Quartiers / Neighborhoods	Nombre de testées / Number of tested		Nombre de pares / Number of parous females		Taux de parturité / Parturition rate (%)		TP total / Total PR (%)
		Int / In n (%)	Ext / Out n (%)	Int / In n (%)	Ext / Out n (%)	Int / In n (%)	Ext / Out n (%)	
Bouaké Nord-Ouest / Northwest Bouaké	Dar-Es-Salam	11	19	11	19	100	100	100
	Dézoukouamékro	83	80	77	73	92,8	91,3	92
	N'Gattakro	15	8	15	8	100	100	100
<b>TOTAL / TOTAL</b>		109	107	103	100	94,5	93,5	94
Bouaké Nord-Est / Northeast Bouaké	Sokoura	30	40	28	34	93,3	85	88,6
	Attienkro	68	86	68	86	100	100	100
	Belle Ville	97	56	83	55	85,6	98,2	90,2
<b>TOTAL / TOTAL</b>		195	182	179	175	91,8	96,2	94,9
Bouaké Sud / South Bouaké	N'Gouatanoukro	13	14	8	11	61,5	78,6	70,4
	Air France	9	13	7	9	77,8	69,2	72,7
	Kennedy	65	102	65	102	100	100	100
<b>TOTAL / TOTAL</b>		87	129	80	122	92	94,6	93,5

TP: Taux de parturité ; Int : Intérieur ; Ext : Extérieur /  
PR: Parturition rate n: Headcount; In: Inside; Out: Outside

Tableau V : Taux d'infection et taux d'inoculation entomologique  
Table V: Infection rate and entomological inoculation rates

Districts / Districts	Quartiers / Neighborhoods	Nb testé (Nb infecté) / Number tested (Number infected)			TIE (pi/h/n) / EIR (ib/p/n)
		Int / In n (%)	Ext / Out n (%)	Total / Total	
Bouaké Nord-Ouest / Northwest Bouaké	N'Gattakro	14 (1)	8 (1)	22 (2)	0,15
	Djezoukouamékro	85 (5)	78 (1)	163 (6)	0,28
	Dar-Es-Salam	11 (0)	19 (1)	30 (1)	0,05
<b>TOTAL / TOTAL</b>		<b>110 (6)</b>	<b>105 (3)</b>	<b>215 (9)</b>	<b>0,15</b>
Bouaké Nord-Est / Northeast Bouaké	Attienkro	85 (3)	63 (1)	148 (4)	0,67
	Sokoura	38 (1)	35 (0)	73 (1)	0,04
	Belle Ville	106 (4)	52 (2)	158 (6)	0,72
<b>TOTAL / TOTAL</b>		<b>229 (8)</b>	<b>150 (3)</b>	<b>379 (11)</b>	<b>0,45</b>
Bouaké Sud / South Bouaké	Kennedy	70 (1)	99 (2)	169 (3)	0,45
	Air France	12 (0)	11 (1)	23 (1)	0,004
	N'Gouattanoukro	10 (0)	17 (0)	27 (0)	0
<b>TOTAL / TOTAL</b>		<b>92 (1)</b>	<b>127 (3)</b>	<b>219 (4)</b>	<b>0,22</b>
<b>TOTAL BOUAKÉ/ TOTAL BOUAKÉ</b>		<b>431 (15)</b>	<b>382 (9)</b>	<b>813 (24)</b>	<b>0,33</b>

Nb testé: nombre de femelles testées ; Nb infecté: nombre de femelles infectées ; TIE : taux d'inoculation entomologique ;  
pi/h/n: piqûres infestées par homme et par nuit /

Number tested: number of females tested; Number infected: number of females infected; EIR: entomological inoculation rate;  
ib/p/n: infested bites/person/night

taux d'infestation de 4,2 %. Les taux d'infestation des femelles d'anophèles ont été de 3,7 % à Djézoukouamékro, 3,33 % à Dar-Es-Salam et de 9,1 % à N'Gattakro. Ces taux ne présentent pas de différence significative ( $p=0,41$ ). Les analyses réalisées sur les anophèles capturées à l'intérieur et à l'extérieur des habitations n'ont pas montré de différences significatives entre le taux d'infestation dans les quartiers de Djézoukouamékro ( $p=0,11$ ), de N'Gattakro ( $p=0,67$ ) et de Dar-Es-Salam ( $p=0,43$ ). Le TIE dans ce district est de 0,15 p/h/n. Cependant, le quartier de Djézoukouamékro a présenté le taux le plus élevé (0,28 p/h/n). Les taux des deux autres quartiers (N'Gattakro et Dar-Es-Salam) étaient respectivement de 0,15 p/h/n et 0,05 p/h/n.

Sur un ensemble de 379 femelles testées, 11 moustiques étaient infectés dans le district Nord-Est, soit un taux d'infestation de 2,9 %. Les taux d'infestation de Belle Ville, d'Attienkro et de Sokoura ont été respectivement de 3,8 %, 2,7 % et 1,3 %. Ils n'ont pas présenté de différence significative ( $p=0,59$ ). Les taux d'infestation obtenus à l'intérieur et à l'extérieur des maisons n'ont montré aucune différence sensible à Belle Ville ( $p=0,98$ ), à Sokoura ( $p=0,33$ ) et à Attienkro ( $p=0,47$ ). Le TIE a été faible à Sokoura (0,04 p/h/n) comparativement aux deux autres quartiers où des TIE de 0,67 p/h/n et 0,72 p/h/n ont été obtenus respectivement à Attienkro et Belle Ville.

L'analyse des 219 femelles d'anophèles récoltées dans le district Sud a confirmé l'infection de 4 moustiques soit un taux d'infestation de 1,8 %. Le taux d'infestation moyen des femelles capturées à Kennedy a été de 1,8 %, comparable à celui estimé à Air France: 4,3 % ( $p=0,41$ ). Les femelles capturées à N'Gouatanoukro n'ont présenté aucune infection. Dans ces 2 quartiers (Kennedy et Air France), les taux d'infestation des femelles récoltées à l'intérieur et à l'extérieur des habitations sont similaires ( $p=0,28$ ). Le quartier de Kennedy a enregistré un fort TIE de 0,45 p/h/n.

## Discussion

L'inventaire de la faune culicidienne anthropophile montre une grande diversité et une forte abondance de moustiques en saison pluvieuse. Quatre genres et 16 espèces de moustiques ont été collectés par la méthode de capture sur sujet humain dans l'ensemble des trois districts de Bouaké. Cette diversification de faune culicidienne dans tous les districts peut s'expliquer par la diversité de biotopes rencontrée dans cette localité qui offre des gîtes spécifiques favorables

rate in the Djézoukouamékro neighborhood was the highest (0.28 b/p/n). The rates for N'Gattakro and Dar-Es-Salam were 0.15 b/p/n and 0.05 b/p/n, respectively.

Of the 379 females tested, 11 were infected in the Northeast district, representing an infestation rate of 2.9%. The infestation rates in Belle Ville, Attienkro, and Sokoura were 3.8%, 2.7%, and 1.3%, respectively. These rates did not differ significantly ( $p=0.59$ ). There was no significant difference in infestation rates obtained inside and outside homes in Belle Ville ( $p=0.98$ ), Sokoura ( $p=0.33$ ), and Attienkro ( $p=0.47$ ). The EIR was low in Sokoura (0.04 b/p/n), compared to Attienkro and Belle Ville, where the EIRs were 0.67 b/p/n and 0.72 b/p/n, respectively.

Testing of the 219 female *Anopheles* mosquitoes collected in the South District confirmed infection in four mosquitoes, representing an infestation rate of 1.8%. The average infestation rate of females captured in Kennedy was 1.8%, which is comparable to the rate estimated in Air France: 4.3% ( $p=0.41$ ). Females captured in N'Gouatanoukro showed no infection. In Kennedy and Air France, the infestation rates of females collected inside and outside dwellings were similar ( $p=0.28$ ). The Kennedy neighborhood recorded a high EIR of 0.45 b/p/n.

## Discussion

The inventory of anthropophilic Culicidae fauna reveals a high diversity and abundance of mosquitoes during the rainy season. Using the human-trap method, four genera and 16 species of mosquitoes were collected across all three districts of Bouaké. The variety of habitats in this area, which offer specific breeding sites conducive to the development of each species, can explain this diversity of Culicidae in all districts: rice paddies, puddles, ponds, swamps, standing water in old

au développement de chaque espèce: rizières, flaques d'eau, mares, marécages, collections d'eau dans les vieux récipients, etc. [1]. L'importance des populations culicidiennes est intimement liée au fonctionnement et à la dynamique des gîtes larvaires [5]. Les gîtes (mares, pneus, récipients) changent au fil du temps (saisons, pluies) et de l'espace (urbain/rural) en termes de nombre, de type, de productivité en larves, et d'influence des facteurs physiques (température, oxygène, pH) pour la reproduction des moustiques [25]. Les résultats entomologiques de CSH montraient que la faune culicidienne anthropophile dans la ville de Bouaké était essentiellement dominée par l'espèce *Cx. quinquefasciatus* comme observé par Adja *et al.* [1]. La prédominance de cette espèce est souvent associée au milieu urbain [3]. Dans le cas de Bouaké, elle constitue une grande source de nuisance pour les populations. Les travaux réalisés par Klinkenberg *et al.* [23] à Accra et ceux de Fillinger *et al.* [18] à Dar-Es-Salam sont en adéquation avec ces observations.

Dans les trois districts sanitaires, la faune anophélienne était majoritairement dominée par l'espèce *An. gambiae* s.l., principal vecteur du paludisme. Cette espèce occupe aussi la deuxième place au sein de la faune culicidienne par sa fréquence dans les captures au niveau de tous les districts après *Cx. quinquefasciatus*. Cette situation est conforme aux travaux de Assouho *et al.*, [3], qui confirment sa présence dans les villes. La représentativité marquante d'*An. gambiae* est aussi associée aux actions humaines favorisant la présence de gîtes permanents ou sub-permanents, tels que ceux créés par l'irrigation des cultures, les rizières ou l'urbanisation [7,25,27,31]. Par ailleurs, la présence d'anophèles est associée également à la détérioration de l'environnement causée par la guerre. Leur présence est souvent liée à des conditions environnementales dégradées, que les guerres peuvent aggraver: création de gîtes larvaires (eau stagnante due aux destructions, absence de gestion de l'eau); destruction des infrastructures sanitaires; perturbation des programmes de lutte, favorisant ainsi la prolifération des moustiques vecteurs de paludisme. Ce cycle vicieux accentue les problèmes sanitaires dans les zones de conflit [2].

Dans l'ensemble, les investigations révèlent que les moustiques ont tendance à se gorger davantage à l'intérieur des habitations qu'à l'extérieur dans les districts Nord-Est et Sud. C'est une endophagie malgré l'introduction de MILDA dans les habitations. Elle pourrait s'expliquer par la forte résistance aux insecticides pyréthrinoïdes

containers, etc. [1]. Culicidae population size is closely linked to the functioning and dynamics of larval habitats. Breeding sites [5] (e.g., ponds, tires, and containers) change over time (e.g., seasons and rainfall) and space (e.g., urban versus rural areas) in terms of number, type, and larval productivity. Additionally, the influence of physical factors (e.g., temperature, oxygen, and pH) on the reproduction of disease-vector mosquitoes has to be considered [25].

HBT's entomological results showed that the anthropophilic Culicidae fauna in Bouaké was dominated by *Cx. quinquefasciatus*, as Adja *et al.* observed [1]. The predominance of this species is often associated with urban environments [3]. In Bouaké, it is a significant nuisance to the population. Studies conducted by Klinkenberg *et al.* in Accra [23] and by Fillinger *et al.* in Dar es Salaam [18] are consistent with these observations. In the three health districts, the *Anopheles* fauna was predominantly dominated by *An. gambiae* s.l., the primary malaria vector. This species ranked second among the Culicidae in terms of capture frequency across all districts, behind *Cx. quinquefasciatus*. This finding is consistent with the work of Assouho *et al.* [3], which confirms the species' presence in urban areas. The notable prevalence of *An. gambiae* is associated with human activities that create permanent or semi-permanent breeding sites, such as crop irrigation, rice paddies, and urbanization [7,25,27,31]. Furthermore, the presence of *Anopheles* is associated with environmental degradation caused by war. They are often found in areas with degraded environmental conditions, which wars can exacerbate by creating larval breeding sites (e.g., stagnant water due to destruction or lack of water management), destroying sanitation infrastructure, and disrupting control programs. This promotes the proliferation of malaria-carrying mosquitoes. This vicious cycle exacerbates health problems in conflict zones [2].

Overall, investigations reveal that mosquitoes tend to feed more inside homes than outside in both the northern and southern districts. This endophagic behavior persists despite the introduction of LLINs into homes. This behavior could be explained by high resistance to the pyrethroid insecticides used to treat LLINs. However, it also raises questions about how these nets are actually used by the population to avoid mosquito bites and prevent malaria. Furthermore, this vector behavior appears well-adapted to the nocturnal habits of humans, which are influenced by the rainy season. This adaptation of mosquito biting

utilisés pour traiter les MILDA, mais soulève également des questions sur l'utilisation réelle de ces moustiquaires par les populations pour éviter les piqûres des moustiques vecteurs et prévenir le paludisme. Par ailleurs, ce comportement du vecteur semble bien adapté aux habitudes nocturnes des humains, imposées par la saison des pluies. Une telle adaptation du comportement de piqûre du moustique aux habitudes nocturnes des humains en milieu urbain est similaire aux observations faites par Salako *et al.* [30] au Bénin. Par contre, dans le district Nord-Ouest, les populations vectrices du paludisme ont une tendance à se nourrir aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur, ce qui reflète le début d'un changement dans le comportement des vecteurs.

La densité agressive d'*An. gambiae* s.l. a été globalement plus élevée dans les districts Nord-Est et Sud que dans le district Nord-Ouest. Cette différence pourrait résulter de l'aménagement des bas-fonds pour la riziculture irriguée (Attienkro et Belle Ville), le maraîchage (Kennedy) et la détérioration de l'environnement causée par la guerre. À Kennedy, la densité agressive moyenne de 41,2 p/h/n pour *An. gambiae* a été largement supérieure à celle trouvée par Dossou-Yovo *et al.* [14] qui avaient obtenu pour cette même période une densité agressive de 18,5 p/h/n pour *An. gambiae*. Par ailleurs, d'autres études ont également révélé une densité plus forte de moustiques dans les zones de cultures irriguées (rizières, jardins maraîchers) que dans les zones voisines sans cultures ou sans cultures irriguées [12,14,22]. Les quartiers Djézoukouamékro, N'Gattakro et Dar-Es-Salam du district Nord-Ouest, de par leur position géographique, représentent en grande partie le centre de la ville de Bouaké, ce qui explique la faible densité agressive dans ce district. Ces observations confirment les travaux antérieurs qui ont montré une réduction de la densité d'*An. gambiae* de la périphérie vers le centre-ville [4,13]. Les populations de moustiques du complexe *An. gambiae* s.l., vecteurs du paludisme, sont plus abondantes dans les zones périphériques (rurales ou périurbaines). Elles diminuent progressivement à mesure que l'on s'approche du centre-ville [2], probablement en raison de différences environnementales (moins de sites de reproduction, plus d'urbanisation, meilleure gestion de l'eau, etc.) ou de stratégies de contrôle du paludisme.

Les taux de parturité observés pour cette période d'étude sont très élevés dans les trois districts de Bouaké. Cela indique un fort vieillissement de la faune anophélienne, donc une forte proportion de femelles potentiellement dangereuses car le plus

behavior to human nocturnal habits in urban areas is similar to observations made by Salako *et al.* in Benin [30]. In contrast, malaria vector populations in the Northwest District tend to feed both indoors and outdoors, reflecting a potential change in vector behavior.

The density of *An. gambiae* s.l. was generally higher in the Northeast and South districts than in the Northwest district. This difference may be due to the development of low-lying areas for irrigated rice cultivation (Attienkro and Belle Ville) and vegetable farming (Kennedy), as well as environmental degradation caused by the war. In Kennedy, the average aggressive density of 41.2 b/p/n for *An. gambiae* was significantly higher than the 18.5 b/p/n reported by Dossou-Yovo *et al.* during the same period [14]. Furthermore, other studies have revealed higher mosquito densities in irrigated agricultural areas (e.g., rice paddies and vegetable gardens) than in neighboring uncultivated areas [12,14,22]. Due to their geographic location, the Djézoukouamékro, N'Gattakro, and Dar-Es-Salam sites in the Northwest district largely represent the center of the city, which explains the low biting density in this district. These observations confirm previous studies showing a reduction in *An. gambiae* density from the outskirts to the city center [4,13]. Mosquito populations in the *An. gambiae* s.l. complex, which carry malaria, are more abundant in peripheral areas (rural or peri-urban). These populations decrease progressively as one approaches the city center [2], likely due to environmental differences (fewer breeding sites, increased urbanization, improved water management, etc.) or malaria control strategies.

The parturition rates observed during this study period were very high in the three districts. This indicates significant aging of the *Anopheles* population and a high proportion of potentially dangerous female mosquitoes, as they are most often infectious and have more time to come into contact with humans before dying. The proportion of parous females is 100% in the Kennedy, Dar-Es-Salam, and Attienkro neighborhoods. Therefore, the proportion of the *An. gambiae* capable of transmitting malaria is identical for these neighborhoods spread across the city's three districts. Furthermore, Dossou-Yovo *et al.* [14] reported an average parturition rate of 71.7% for *An. gambiae* in Kennedy during the rainy season, whereas our study shows a higher rate of 100% for the same species and the same rainy season approximately 25 years later.

The infestation rate is very high across all districts

souvent infectieuses, et qui ont plus de temps pour être en contact avec des humains avant de mourir. Le taux de femelles pares est de 100 % dans les quartiers de Kennedy, Dar-Es-Salam et Attienkro. Ainsi, pour ces quartiers répartis dans les trois districts de la ville, la fraction de la population d'*An. gambiae* qui peut transmettre le paludisme est identique. Par ailleurs, Dossou-Yovo *et al.* [14] signalaient un taux de parturité moyen en saison des pluies de 71,7 % pour *An. gambiae* à Kennedy, alors que notre étude montre un taux supérieur (100 %) pour la même espèce et la même saison pluvieuse environ 25 ans plus tard.

Le taux d'infestation, très élevé dans l'ensemble des districts, est probablement dû aux taux de parturité élevés. En effet, plus les moustiques sont âgés, plus leur susceptibilité d'héberger le parasite est grande. Il pourrait en résulter une transmission permanente et intense du paludisme. L'endémicité du paludisme avec une recrudescence pendant la saison des pluies dans la ville de Bouaké est semblable à celle habituellement décrite en Côte d'Ivoire [3].

Le TIE de 0,33 p/h/n (soit 9,9 p/h/mois) que nous avons observé était inférieur à celui de Dossou-Yovo *et al.* [14], qui était de 1,7 p/h/n soit 51 p/h/mois. La situation est très hétérogène à Bouaké comme dans la plupart des villes d'Afrique [8,14,34]. Chaque quartier constitue un cas particulier avec ses influences propres qui peuvent dépendre des humains ou des caractéristiques naturelles du milieu. La diversité de situations qui est observée illustre bien l'importance des conditions locales, parfois même micro-écologiques, sur l'intensité de la transmission du paludisme. Le risque d'être infecté par les *Plasmodium* reste important à Bouaké.

## Conclusion

Le présent travail réalisé dans la ville de Bouaké a révélé une transmission du paludisme hétérogène, causée par *An. gambiae*, dont le comportement endophage en fait le seul vecteur du paludisme dans les différents quartiers de la ville. Ce vecteur est prédominant dans le district Nord-Est, dans les quartiers d'Attienkro et de Belle Ville. Le quartier de Kennedy présente la population *An. gambiae* la plus élevée et demeure la source d'enracinement du vecteur pour le district Sud. Dans l'ensemble des districts échantillonnés dans la ville de Bouaké, le risque de transmission entomologique le plus élevé a été observé dans le district Nord-Est, notamment dans les quartiers

and is likely due to high parity rates. Indeed, the older the mosquitoes are, the greater their likelihood of harboring the parasite. This could result in continuous and intense malaria transmission. The endemicity of malaria in Bouaké, with a resurgence during the rainy season, is similar to that typically described in Côte d'Ivoire [3]. The EIR of 0.33 b/p/n (or 9.9 b/p/month) observed in this study was lower than the 1.7 b/p/n (or 51 b/p/month) reported by Dossou-Yovo *et al.* [14]. The situation in Bouaké is highly heterogeneous, as is the case in most African cities [8,14,34]. Each neighborhood is unique with its own influences, which may depend on human factors or the natural characteristics of the environment. The diversity of situations observed clearly illustrates the importance of local, and sometimes micro-ecological, conditions on the intensity of malaria transmission. The risk to be infected by *Plasmodium* remains high in Bouaké.

## Conclusion

This study, conducted in the city of Bouaké, revealed heterogeneous malaria transmission caused by *An. gambiae*. Its endophagous behavior makes *An. gambiae* the sole malaria vector in the city's various neighborhoods. This vector predominates in the Northeast District, specifically in the Attienkro and Belle Ville neighborhoods. The Kennedy neighborhood has the highest *An. gambiae* population and is the source of the vector's presence in the South District.

Of all the districts sampled in Bouaké, the Northeast District had the highest risk of entomological transmission, particularly in the Attienkro and Belle Ville neighborhoods. This malaria

d'Attienkro et de Belle Ville. Ce district présente un niveau de risque de transmission du paludisme deux fois supérieur à celui du district du Sud et trois fois supérieur à celui du district Ouest. Il mérite donc une attention particulière dans le cadre des programmes de lutte contre le paludisme dans cette ville. Par ailleurs, des actions de lutte telles que l'utilisation des larvicides sont à encourager chez les personnes pratiquant des activités comme le maraîchage ou la riziculture.

### Conflit d'intérêt, financement et principes éthiques

Cette recherche a bénéficié d'un financement de l'Institut de recherche pour le développement (IRD) à travers le projet JEAI EVAPALCI. Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt. L'étude a reçu les approbations du Comité national d'éthique et de recherche de Côte d'Ivoire (Juin 2014; No. 41/MSLS/CNER-dkn) ainsi que des autorités sanitaires de la ville de Bouaké. L'autorisation d'enquête a été obtenue auprès des chefs de quartiers et des propriétaires de maison ayant servi de point de capture. De plus, le consentement de la communauté a été obtenu au préalable dans tous les sites. Les collecteurs volontaires de moustiques ont donné leur consentement oral avant de participer à l'étude. Ils ont également été soumis à des visites médicales régulières avec un traitement préventif contre le paludisme conformément aux recommandations du PNLP de Côte d'Ivoire. Ils étaient tous vaccinés contre la fièvre jaune.

### Remerciements

Nous exprimons notre gratitude à la Direction régionale de la santé de Bouaké pour l'opportunité qu'elle nous a donnée en nous autorisant à enquêter dans les différents quartiers de la ville. Nous sommes très reconnaissants aux chefs de quartiers échantillonnés ainsi qu'à l'ensemble des collecteurs de moustiques. Enfin, nous remercions également M. Jean-Luc Amany pour son appui lors de la réalisation de ce travail, et l'IRD à travers le projet de la JEAI EVAPALCI pour le soutien financier.

transmission risk level is twice that of the South District and three times that of the West District. Therefore, it warrants special attention within the framework of malaria control programs in this city. Furthermore, control measures, such as the use of larvicides, should be encouraged among individuals engaged in activities conducive to the proliferation of malaria vectors, such as vegetable farming or rice cultivation.

### Conflict of interest, funding, and ethical principles

This research was funded by the IRD through the JEAI EVAPALCI project. The authors declare no conflict of interest. The study received approval from the National Ethics and Research Committee of Côte d'Ivoire (June 2014; No. 41/MSLS/CNER-dkn) as well as from the health authorities of the city of Bouaké. Permission to conduct the survey was obtained from neighborhood leaders and homeowners whose properties served as collection sites. Additionally, community consent was obtained in advance at all sites. Volunteer mosquito collectors gave their verbal consent before participating in the study. They also underwent regular medical checkups and received preventive treatment against malaria in accordance with the recommendations of the NMCP of Côte d'Ivoire. All were vaccinated against yellow fever.

### Acknowledgments

We express our gratitude to the Bouaké Regional Health Directorate for the opportunity it provided by authorizing us to conduct our survey in the city's various neighborhoods. We are very grateful to the leaders of the sampled neighborhoods as well as to all the mosquito collectors. Finally, we also thank Mr. Jean-Luc Amany for his support during the completion of this work, and the IRD through the JEAI EVAPALCI project for financial support.

## Contribution des auteurs et autrices

KFA, AMA, NGC ont participé à l'élaboration du sujet et l'écriture du manuscrit. KFA, DDZ et NGC ont participé à l'enquête. KFA et KRMA ont conduit la saisie et l'analyse des données. KFA et DDZ ont participé à la rédaction du manuscrit. KFA, AMA et NGC ont participé à la correction du manuscrit et tous les auteurs ont donné leur accord pour la publication du manuscrit.

## Authors' contributions

KFA, AMA, and NGC contributed to the development of the topic and the writing of the manuscript. KFA, DDZ, and NGC participated in the survey. KFA and KRMA conducted data entry and analysis. KFA and DDZ contributed to the drafting of the manuscript. KFA, AMA, and NGC participated in the revision of the manuscript, and all authors approved the manuscript for publication.

## Auteurs / Authors

Konan Fabrice ASSOULO\* (1,2, ORCID: 0000-0002-7090-3032), Négrogoro GUINDO-COULIBALY (3, coulneqno1@yahoo.fr), Dounin Danielle ZOH (2,4, zohdounin@yahoo.fr), Konan Rodolphe Mardoché AZONGNIBO (5, docheazongnibo@gmail.com), Akéré Maurice ADJA (2,3, adjamaurice@yahoo.fr)

1. UFR Agriculture, Ressources halieutiques et agro-industries, Université de San Pedro, San Pedro, Côte d'Ivoire
2. Institut Pierre Richet (IPR) / Institut national de santé publique (INSP), Bouaké, Côte d'Ivoire
3. UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire
4. Département de sciences et techniques, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire
5. Institut de géographie tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

\*Auteur correspondant: assokofabrice@gmail.com

## Références / References

1. Adja AM, Zoh DD, Sagna AB, Kpan DMS, Guindo-Coulibaly N, Yapi A, Chandre F. Diversity of *Anopheles Gambiae* s.l., Giles (Diptera: Culicidae) Larval Habitats in Urban Areas and Malaria Transmission in Bouaké, Côte d'Ivoire. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2021 Aug;21(8):593-601. doi: 10.1089/vbz.2020.2728.
2. Adou KA, Adja AM, Zoh DD, Doudou DT, Tuo P, Anoh KP, Fournet F. (2019). Étude géographique des facteurs de risque d'une transmission différenciée du paludisme dans les quartiers Kennedy et Dar-Es-Salam 1 dans la ville de Bouaké (Côte d'Ivoire). *Sept.* 2019. *Revue francophone sur la santé et les territoires.*
3. Assouho KF, Adja AM, Guindo-Coulibaly N, Tia E, Kouadio AMN, Zoh DD, Koné M, Kessé N, Koffi B, Sagna AB, Poinsignon A, Yapi A. Vectorial Transmission of Malaria in Major Districts of Côte d'Ivoire. *J Med Entomol.* 2020 May 4;57(3):908-914. doi: doi.org/10.1093/jme/tjz207.
4. Bigoga JD, Manga L, Titanji VP, Coetzee M, Leko RG. Malaria vectors and transmission dynamics in coastal south-western Cameroon. *Malar J.* 2007 Jan 17;6:5. doi: 10.1186/1475-2875-6-5.
5. Brengues J, Coz J. Quelques aspects fondamentaux de la biologie d'*Anopheles gambiae* Giles (Sp. A.) et d'*Anopheles funestus* Giles, en zone de savane humide d'Afrique de l'Ouest. *Cahiers ORSTOM.* (1973). Série entomologie médicale et parasitologie. 1973; 11(2). P.:107-126.
6. Burkot TR, Williams JL, Schneider I. Identification of *Plasmodium falciparum*-infected mosquitoes by a double antibody enzyme-linked immunosorbent assay. *Am J Trop Med Hyg.* 1984 Sep;33(5):783-8. doi: 10.4269/ajtmh.1984.33.783
7. Chang CN, Rey M, Bochner B, Heyneker H, Gray G. High-level secretion of human growth hormone by *Escherichia coli*. *Gene.* 1987;55(2-3):189-96. doi: 10.1016/0378-1119(87)90279-4.
8. Coene J, Ngimbi NP, Mandiangu M, Mulumba MP. Note sur les anophèles à Kinshasa, Zaïre. *Ann Soc Belg Med Trop.* 1987 Dec;67(4):375-9. PMID: 3447523.
9. Coetzee M. Key to the females of Afrotropical *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Malar J.* 2020 Feb 13;19(1):70. doi: 10.1186/s12936-020-3144-9.

10. Dahoui MMC, Adou KA, Coulibaly B, Niamien KL, Koné A, Cornélie S, Zoh DD, Assouho KF, Moiroux N, Adja AM, Fournet F. Entomological drivers of uneven malaria transmission in urban lowland areas in Bouaké, Côte d'Ivoire. *Malar J.* 2023 Jan 31;22(1):34. doi: 10.1186/s12936-023-04457-x.
11. Detinova TS. Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âges les diptères présentant une importance médicale notamment certains vecteurs du paludisme. *WHO Monogr. Ser.* 1963; 47, 220 p.
12. Dolo G, Briët OJT, Dao A, Traoré SF, Bouaré M, Sogoba N, Niaré O, Bagayogo M, Sangaré D, Teuscher T, Touré YT. Malaria transmission in relation to rice cultivation in the irrigated Sahel of Mali. *Acta Trop.* 2004; 89: 147-159. doi: 10.1016/j.actatropica.2003.10.014.
13. Donnelly MJ, McCall PJ, Lengeler C, Bates I, D'Alessandro U, Barnish G, Konradsen F, Klinkenberg E, Townson H, Trape JF, Hastings IM, Muteru C. Malaria and urbanization in sub-Saharan Africa. *Malar J.* 2005 Feb 18;4:12. doi: 10.1186/1475-2875-4-12.
14. Dossou-Yovo J, Doannio JM, Diarrassouba S, Chauvancy G. Impact d'aménagements de rizières sur la transmission du paludisme dans la ville de Bouaké, Côte d'Ivoire. *Bull Soc Pathol Exot.* 1998;91(4):327-33. PMID: 9846228.
15. Edwards FW. Mosquitoes of the Ethiopian Region. HI.-Culicine Adults and Pupae. *British Museum, Londres*, 1941.
16. Eldin, M. (1971). Le climat de la Côte d'Ivoire. In Avenard JM, Eldin M, Girard G, Sircoulon J, Touchebeuf P, Guillaumet JL, Adjanooun E, Perraud A. Le milieu naturel de Côte d'Ivoire, Mémoire ORSTOM Orstom(pp. 73-108), Orstom, Paris: ORSTOM, 1971 :73-108.
17. Epopa PS, Collins CM, North A, Millogo AA, Benedict MQ, Tripet F, Diabate A. Seasonal malaria vector and transmission dynamics in western Burkina Faso. *Malar J.* 2019 Apr 2;18(1):113. doi: 10.1186/s12936-019-2747-5.
18. Fillinger U, Kannady K, William G, Vanek MJ, Dong S, Nyika D, Geissbühler Y, Chaki PP, Govella NJ, Mathenge EM, Singer BH, Mshinda H, Lindsay SW, Tanner M, Mtasiwa D, de Castro MC, Killeen GF. A tool box for operational mosquito larval control: preliminary results and early lessons from the Urban Malaria Control Programme in Dar-Es-Salaam, Tanzania. *Malar J.* 2008 Jan 25;7:20. doi: 10.1186/1475-2875-7-20.
19. Fontenille D, Lochouart L, Diagne N, Sokhna C, Lemasson JJ, Diatta M, Konate L, Faye F, Rogier C, Trape JF. High annual and seasonal variations in malaria transmission by anophelins and vector species composition in Dielmo, a holoendemic area in Senegal. *Am J Trop Med Hyg.* 1997 Mar;56(3):247-53. doi: 10.4269/ajtmh.1997.56.247.
20. Henry MC, Rogier C, Nzeyimana I, Assi SB, Dossou-Yovo J, Audibert M, Mathonnat J, Keundjian A, Akodo E, Teuscher T, Carnevale P. Inland valley rice production systems and malaria infection and disease in the savannah of Côte d'Ivoire. *Trop Med Int Health.* 2003 May;8(5):449-58. doi: 10.1046/j.1365-3156.2003.01053.x.
21. Hunt RH, Coetzee M, Fettene M. The *Anopheles gambiae* complex: a new species from Ethiopia. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1998 Mar-Apr;92(2):231-5. doi: 10.1016/s0035-9203(98)90761-1.
22. Kibret S, Alemu Y, Boelee E, Tekie H, Alemu D, Petros B. The impact of a small-scale irrigation scheme on malaria transmission in Ziway area, Central Ethiopia. *Trop Med Int Health.* 2010 Jan;15(1):41-50. doi: 10.1111/j.1365-3156.2009.02423.x.

23. Klinkenberg E, McCall PJ, Wilson MD, Amerasinghe FP, Donnelly MJ. Impact of urban agriculture on malaria vectors in Accra, Ghana. *Malaria Journal*. 2008; 7, 1-9. doi: 10.1186/1475-2875-7-151.
24. Koffi AA, Ahoua Alou LP, Adja MA, Chandre F, Penetier C. Insecticide resistance status of *Anopheles gambiae* s.s population from M'Bé: a WHOPES-labelled experimental hut station, 10 years after the political crisis in Côte d'Ivoire. *Malar J*. 2013 May 4;12:151. doi: 10.1186/1475-2875-12-151.
25. Noura MS, Ibrahima I, Medard D, Yokoly FND, Maiga RS, Wilfried ZH, Ali DS, Soumana A, Iro SM, Laminou IM, Ali D. Identification et caractérisation des potentiels habitats larvaires de moustiques *Anopheles* spp. dans la ville de Niamey. 2024. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 2024;18(6):2221-2237.
26. Organisation mondiale de la santé (OMS). 2008. World malaria report 2008.
27. Organisation mondiale de la santé (OMS). 2023. World malaria report 2023.
28. Organisation mondiale de la santé (OMS). 2025. World malaria report 2025.
29. Patouillard E, Griffin J, Bhatt S, Ghani A, Cibulskis R. Global investment targets for malaria control and elimination between 2016 and 2030. *BMJ Glob Health*. 2017 May 16;2(2):e000176. doi: 10.1136/bmjgh-2016-000176.
30. Salako AS, Ossè R, Padonou GG, Dagnon F, Aïkpon R, Kpanou C, Sagbohan H, Sovi A, Sèzonlin M, Akogbeto MC. 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 Zoonotic Dis*. 2019 Sep;19(9):674-684. doi: 10.1089/vbz.2018.2409.
31. Simard F, Ayala D, Kamdem GC, Pombi M, Etouana J, Ose K, Fotsing JM, Fontenille D, Besansky NJ, Costantini C. Ecological niche partitioning between *Anopheles gambiae* molecular forms in Cameroon: the ecological side of speciation. *BMC Ecol*. 2009 May 21;9:17. doi: 10.1186/1472-6785-9-17.
32. Toure OA, Landry TN, Assi SB, Kone AA, Gbessi EA, Ako BA, Coulibaly B, Kone B, Ouattara O, Beourou S, Koffi A, Remoue F, Rogier C. Malaria parasite clearance from patients following artemisinin-based combination therapy in Côte d'Ivoire. *Infect Drug Resist*. 2018 Oct 26;11:2031-2038. doi: 10.2147/IDR.S167518.
33. Traoré DF, Sagna AB, Adja AM, Zoh DD, Lingué KN, Coulibaly I, N'Cho Tchikoi B, Assi SB, Poinsignon A, Dagnogo M, Remoue F. Evaluation of Malaria Urban Risk Using an Immuno-Epidemiological Biomarker of Human Exposure to *Anopheles* Bites. *Am J Trop Med Hyg*. 2018 May;98(5):1353-1359. doi: 10.4269/ajtmh.17-0231.
34. Trape JF, Zoulani A. Malaria and urbanization in central Africa: the example of Brazzaville. Part II: Results of entomological surveys and epidemiological analysis. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1987;81 Suppl 2:10-8. doi: 10.1016/0035-9203(87)90472-x.
35. Wirtz RA, Zavala F, Charoenvit Y, Campbell GH, Burkot TR, Schneider I, Esser KM, Beaudoin RL, Andre RG. Comparative testing of monoclonal antibodies against *Plasmodium falciparum* sporozoites for ELISA development. *Bull World Health Organ*. 1987;65(1):39-45. PMID: 3555879.
36. Zoh DD, Yapi A, Adja MA, Guindo-Coulibaly N, Kpan DMS, Sagna AB, Adou AK, Cornélie S, Brengues C, Poinsignon A, Chandre F. (2020). Role of *Anopheles gambiae* s.s. and *Anopheles coluzzii* (Diptera: Culicidae) in human malaria transmission in rural areas of Bouake, in Côte d'Ivoire. *Journal of Medical Entomology*, 57 (4), p. 1254-1261. *J Med Entomol*. 2020 Jul 4;57(4):1254-1261. doi: 10.1093/jme/tjaa001.