

Research

Détermination des paramètres bioécologiques et entomologiques d'*Anopheles gambiae* s/l dans la transmission du paludisme à Bandundu-ville, République Démocratique de Congo

Emery Metelo Matubi^{1,2,3,8}, Eric Bukaka³, Trésor Bakambana Luemba³, Hyppolite Situakibanza⁴, Ibrahim Sangaré⁵, Gauthier Mesia⁴, Dieudonné Mumba Ngoyi^{1,4}, Nguya Kalemba Maniania⁶, Charles Ngandote Akikwa⁷, Jean Pierre Basilua Kanza⁸, Jean-Jacques Muyembe Tamfum^{1,4}, Jonas Nagahuedi Bongo sudi³

¹Institut National de Recherche Biomédicale (INRB/Kinshasa), B.P 1197 KIN 1, Kinshasa, République Démocratique de Congo, ²Faculté de Médecine, Université de Bandundu (UNIBAND), B.P 548 Bandundu-ville, Bandundu, République Démocratique de Congo, ³Faculté des Sciences, Département de Biologie, Unité de Recherche Entomologique, B.P 190 KIN XI, Université de Kinshasa (UNIKIN), République Démocratique de Congo, ⁴Faculté de Médecine, B.P 834 KIN XI, Université de Kinshasa (UNIKIN), République Démocratique de Congo, ⁵Service de Parasitologie-mycologie, INSSA de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, ⁶International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE), P.O. Box 30772 - 00100 GPO, Nairobi, Kenya, ⁷Croix-Rouge Française en RD Congo (CRF-RDC), Kinshasa et Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kenge (ISTM/Kenge) B.P 8631 KIN, Bandundu, République Démocratique de Congo, ⁸Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kinshasa (ISTM/Kinshasa), B.P 774 KIN XI, RD Congo

⁸Corresponding author: Emery Metelo Matubi, Institut National de Recherche Biomédicale (INRB/Kinshasa), B.P 1197 KIN 1, Kinshasa, République Démocratique de Congo

Key words: Paramètres entomologiques, bioécologiques, anopheles gambiae

Received: 09/04/2015 - Accepted: 29/09/2015 - Published: 08/10/2015

Abstract

Introduction: La présente étude a été menée à Bandundu-ville (RDC) en vue d'identifier les paramètres écologiques et entomologiques modulant la transmission du paludisme ainsi que leur tendance saisonnière dans cette agglomération. **Méthodes:** Cette étude a été réalisée dans la période du 1^{er} juin au 31 décembre 2011. Des prospections des gîtes larvaires d'anophèles avec récolte ont été réalisées, les paramètres physiques, physico-chimiques et environnementaux déterminés. La densité larvaire a été estimée selon une échelle de classes de densité, inspirée de la méthode de Carron pour chaque type de gîtes. Quarante-huit maisons ont été sélectionnées et prospectées pour la récolte des moustiques par pulvérisation intradomiciliaire. L'identification des moustiques a été faite sur base des critères morphologiques de Gilles et Demeillon. L'indice sporozoïtique (Is) a été déterminé par le test ELISA CSP de *Plasmodium falciparum* à l'Institut National de Recherche Biomédicale selon le protocole de Robert Wirtz. Les autres paramètres entomologiques comme la densité, le taux d'agressivité, le taux d'inoculation entomologique (TIE) ainsi que l'indice de stabilité ont été déterminés selon le protocole de l'OMS. La régression linéaire a été réalisée au seuil de signification de 0,05 pour identifier les déterminants de la densité larvaire. **Résultats:** Cent-sept gîtes larvaires ont été identifiés et caractérisés en 5 types (digue et puits d'eau, collections d'eau maraîchère et concasseurs moellons, marais Régie de distribution d'eau, marais le long des rivières et ruisseaux et flaques d'eau de pluies). La densité larvaire moyenne a été de 117,4±64,1. Quatre mille cinq cents quatre-vingt-huit moustiques ont été capturés et identifiés, parmi lesquels 1.258 *Anopheles gambiae* s/l avec une densité de 8,86, un taux d'agressivité de 1,55 piqûre par homme par nuit, l'Is de 5,6%, un TIE de 0,085 piqûre infectante par homme par nuit, l'espérance de vie moyenne d'anophèles de 16,4 jours et un indice stabilité de 6,512. L'analyse des données a montré que la superficie des gîtes larvaires influençait significativement la densité larvaire ($p<0,001$). Par contre, la turbidité et la conductivité des gîtes influençaient négativement la densité larvaire ($p<0,05$, IC 95%). **Conclusion:** Les divers biotopes, la forte densité d'*Anopheles gambiae* s/l, le TIE et l'indice de stabilité placent Bandundu-ville en zone endémique stable.

Pan African Medical Journal. 2015; 22: 108 doi:10.11604/pamj.2015.22.108.6774

This article is available online at: <http://www.panafrican-med-journal.com/content/article/22/108/full/>

© Emery Metelo Matubi et al. The Pan African Medical Journal - ISSN 1937-8688. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

L'anophèle est l'arthropode le plus dangereux du monde, vecteur du paludisme qui continue d'être la principale cause de morbidité et de mortalité en Afrique subsaharienne [1]. Chaque année 207 millions de personnes souffrent du paludisme dans le monde [1]. Près de 627.000 enfants et adultes meurent de cette maladie chaque année malgré l'existence de mesures préventives et curatives efficaces utilisés dans les zones endémiques [1-3]. Sur plus de 3000 espèces d'anophèles enregistrées dans le monde, seuls environ 60 transmettent le paludisme. En Afrique, les principaux vecteurs sont *An. gambiae*, *An. funestus*, *An. nili* et *An. Moucheti*. Ces anophèles appartiennent tous à des complexes d'espèces [4]. Ces anophèles peuvent avoir des capacités vectorielles et des comportements très variables. La République Démocratique du Congo (RDC), comme l'ensemble des pays d'Afrique noire, paie un lourd tribut au paludisme. Sa situation géographique particulière et la diversité de ses climats en font toute son originalité. Étiré sur une superficie d'environ 2.345.000 km², ce pays présente en effet la quasi-totalité des strates bioclimatiques rencontrées en Afrique, des savanes sahéliennes aux forêts équatoriales [5, 6]. Cependant, cette hétérogénéité ne permet pas d'appréhender le paludisme en RDC dans sa globalité. La connaissance des différents espaces Congolais (territoires, district, etc.) et la description de l'épidémiologie locale du paludisme dans ces différents milieux sont des conditions initiales à la bonne compréhension de l'endémie palustre dans ce pays. Par ailleurs le paludisme reste préoccupant en RDC notamment dans la région de Bandundu, en dépit des multiples interventions mises en marche avec l'appui du fonds mondial [5, 7]. La compréhension de cette complexité est d'une importance majeure dans la mise en œuvre de la stratégie efficace de lutte contre le paludisme tant par la lutte antivectorielle que dans tout programme d'intervention de santé publique, tels que dans l'usage de tout programme d'intervention de santé publique, par exemple dans l'usage des médicaments ou dans les essais de vaccins [4, 8, 9]. La lutte antivectorielle se fonde sur la meilleure connaissance du vecteur et l'utilisation de techniques efficaces contre les souches et dynamiques locales. Par conséquent, les efforts doivent être consentis d'abord sur la bio-écologie des vecteurs pour mieux orienter les opérations de lutte [10-13]. Cependant le manque des données sur les études entomologiques dans cette agglomération de Bandundu, constitue un handicap dans la maîtrise et l'élaboration des stratégies de contrôle efficace. La présente étude, contribue à la connaissance de l'épidémiologie

locale de la transmission du paludisme et à l'élaboration de la cartographie, en vue d'améliorer la surveillance de la maladie.

Méthodes

Milieu d'étude

Situation géo-démographique

Bandundu-ville est le Chef-lieu de la province de Bandundu en RDC. Elle est située entre 17°22'43" de longitude Est, 3°21'05" de latitude Sud et à 324 m d'altitude, à l'Ouest de la dite Province [14, 15]. C'est une Zone de Santé urbano-rurale, délimitée au Nord par la Zone de Santé de NIOKI, au Sud par la Zone de Santé de Kutu, à l'Est par la Zone de Santé de Bagata et à l'Ouest par la Zone de Santé de Kwamouth. Elle est à 432 Km de distance de Kikwit, à 200 Km de Kenge, les autres principales villes de cette province et à 400 Km de Kinshasa capitale de la RDC [14] (**Figure 1**). Bandundu-ville est en générale marécageuse baignée et entourée par les rivières Kwilu et Kwango et le confluent de la rivière Kasai avec plusieurs ruisseaux et possède des sols limono-argileux et hydromorphes qui favorisent la création de plusieurs gîtes. Elle a une superficie de 291 Km² avec environ 285.411 habitants et une forte densité démographique de 980,79 habitants/Km². Administrativement, la ville est divisée en trois Communes (Basoko, Disasi, et Mayoyo) et 16 quartiers [15]. Bandundu-ville se trouve dans le climat de basse altitude, caractérisé par un climat tropical humide avec deux saisons bien marquées. La saison des pluies caractérisée par des fortes chutes des pluies et une chaleur constante toute l'année et saison sèche de 4 mois ou la pluviométrie chute jusqu'à s'annuler comme le montre la courbe ombro-thermique, **Figure 2** [16, 17]. La température moyenne annuelle est de 26,9°C, la pluviométrie annuelle est de 800 à 1500 mm, l'humidité moyenne annuelle est de 77% et la durée d'insolation moyenne annuelle est de 4,35 heures [16, 17].

Matériel et méthodes

Le matériel biologique de notre étude a été constitué des anophèles capturés dans les trois Communes de Bandundu-ville. Dans chaque quartier les prospections des gîtes larvaires ont été réalisées de juin à décembre 2011, en suivant les différents itinéraires tracés pour identifier et caractériser les principaux gîtes larvaires. Cette période

incluait tant la saison des pluies que la saison sèche. Des paramètres physiques, physico-chimiques (pH, conductivité, turbidité et température) ont été relevés par la sonde multi paramétrique (GOMBO Hanna HI 98129). La profondeur et surface ont été mesurées par le mètre ruban. Les larves ont été récoltées dans leur gîte au moyen d'une louche (500 ml ; modèle OMS) selon la méthode de dipping [18]. Le protocole d'échantillonnage larvaire a consisté à réaliser une dizaine de plongées de louche à plusieurs niveaux du point de récolte. Après chaque coup de louche, le contenu a été transvasé dans une cuvette et le nombre de larves ont été estimées selon une échelle de classes de densité, inspirée de la méthode de Carron, variant de 1 à 5: 1, < 1; 2, 1-10; 3, 11-50; 4, 51-100; 5, > 100 [19]. Ainsi que les paramètres environnementaux (couvert végétal) ont été prélevés pour déterminer si la surface du gîte est occupée par une végétation d'une hauteur ≥ 20 cm (ombragé) et non occupée (ensoleillé). Ces prospections ont consisté à parcourir les différents itinéraires chaque semaine pendant 6 mois en vue de vérifier l'assèchement des gîtes et de caractériser les gîtes temporaires à permanents [20]. Des maisons ont été sélectionnées au hasard à partir de ces gîtes et en évitant des recoupes entre quartiers. Trois maisons ont été choisies au hasard par quartier et les personnes ayant passé nuit dans chaque maison ont été identifiées. La capture de la faune Culicidienne résiduelle par pulvérisation aux pyréthrinés a été réalisée de 6 heures à 10 heures du matin. Les draps blancs ont été étalés sur le pavement dans toutes les pièces de la maison. La pulvérisation a commencé d'abord à l'extérieur de la maison, devant les portes et fenêtres, ensuite à l'intérieur de la maison. Après 15 minutes, les portes et les fenêtres ont été ouverts pour récupérer les moustiques tombés sur les draps [21,22]. Sur terrain, les échantillons ont été placés dans des tubes individuels numérotés et contenant le silicagel. Ils ont été acheminés à l'Institut National de Recherche Biomédicale de Kinshasa et conservés à -20 °C. Le genre et l'espèce des moustiques capturés ont été identifiés sur base de la clé dichotomique de Gilles et De meillon au microscope entomologique [23-25]. Le test ELISA circumsporozoïtique de *Plasmodium falciparum* a été réalisé sur les broyats du complexe tête-thorax des femelles d'Anopheles pour déterminer l'indice sporozoïtique, qui estime le rapport du nombre de femelles avec présence de la protéine circumsporozoïte dans le broyat tête-thorax sur le nombre de femelles testées selon le protocole de Wurtz [26]. Et les abdomens ont été disséqués sous stéréo-microscope pour déterminer l'indice de parturité sur base de trachéoles. Cet indice est obtenu par le pourcentage de femelles pares et il a été aussi possible d'établir la probabilité quotidienne de survie de la

population d'anophèles sur base de cette parturité ($EV=1/-\ln P$). Les paramètres entomologiques de transmission ont été estimés sur base de la méthode indirecte de l'OMS [21, 22]. Les calculs mathématiques sont basés sur les résultats de deux captures combinées. Plusieurs paramètres ont été déterminés: le taux d'inoculation (TIE) = $ma \cdot Is$ (où ma est le nombre des piqûres par homme et par nuit, Is est l'indice sporozoïtique) et l'indice de stabilité en se basant notamment sur les formules de Macdonald: $a/-\ln p$ est un indice essentiellement entomologique où (a) est le nombre de repas par moustique et par homme, soit le produit de l'inverse de la durée du cycle gonotrophique par l'indice d'anthrophilie.

Analyse des données

Les données ont été saisies et analysées à l'aide du logiciel Epi info version 3.5.1, 2008 et SPSS version 22. Les paramètres entomologiques étudiés ont été la densité anophélienne (d), le taux d'agressivité (ma), l'indice sporozoïtique (Is) et le taux d'inoculation entomologique (TIE). Le test de Chi-carré a permis une comparaison de ces paramètres entomologiques, à l'exception de la densité anophélienne entre les deux saisons (saison sèche et des pluies) et entre les sites de capture. Tandis que l'évaluation de l'Analyse de Variance a permis de comparer les paramètres entomologiques entre les sites de capture. La variation saisonnière de ces variables quantitatives a été appréciée par le test de Student. L'influence des facteurs bioécologiques sur la densité larvaire a été appréciée par la régression linéaire après analyse uni variée et multi variée. La variable dépendante (densité larvaire), ainsi que les variables indépendantes (pH, T° , turbidité, conductibilité, surface et profondeur) à IC 95% au seuil de signification ($0,01 < p < 0,05$).

Résultats

Les gîtes larvaires

Un total de 107 gîtes, caractérisés en 5 types de collection d'eau ont été identifiés (**Tableau 1**). Parmi le 5 types des gîtes caractérisés, les marais REGIDESO ont constitué 40,02% ($n=43/107$) des gîtes et la Commune de Disasi a renfermé les plus grand nombre de gîtes (52,3% $n=56/107$), confère tableau 1. Les paramètres physiques, physico-chimiques et environnementaux par gîtes d'anophèles et par commune sont présentés dans les **Tableau 2, Tableau**

3 (Caractéristiques physiques, physico-chimique des gîtes d'anophèles selon leur types et Couverture végétale et nature des gîtes par saison). La plupart des eaux de tous les gîtes prospectés sont neutres. Le pH basique a été enregistré dans des marais REGIDESO, qui présente des différences très hautement significatives comparativement à d'autres gîtes ($p < 0,001$). Il a également été observé une différence très hautement significative entre les profondeurs de différents types de gîtes ($p < 0,001$). Les profondeurs les plus importantes ont été enregistrées dans les Marais le long des rivières et ruisseaux. Ces derniers présentent également de fortes densités larvaires en comparaison des autres types de gîtes ($p < 0,05$). Cependant, la température, la conductivité et la turbidité ne présentent pas de différence significative quant aux différents gîtes ($p > 0,05$), confère **Tableau 2**. Quant à la température, elle est plus élevée à Mayoyo et présente en effet une différence significative comparativement à deux autres communes ($F_{(2,104)} = 3,512$, $p = 0,033$). Mayoyo se caractérise également par de faibles valeurs de conductivité ($F_{(2,104)} = 4,736$, $p = 0,011$) et de turbidité ($F_{(2,104)} = 5,816$, $p = 0,004$) par rapport à Basoko et Disasi. La plupart des gîtes larvaires d'*Anopheles gambiae* s/l à Bandunduville sont ensoleillés et permanents. Et la saison des pluies est donc la meilleure pourvoyeuse des gîtes larvaires (**Tableau 3**).

Paramètres entomologiques

Capture

Les coordonnées géographiques de chaque point de capture (48 maisons pour capture) ont été relevées à l'aide d'un GPS de la marque Garmin G Maps 72. Ainsi que l'adresse de l'habitation (quartier, rue et numéro) a été intégrée à une base de données SIG pour élaborer la carte (**Figure 3**). Deux périodes de capture ont été réalisées pour un total de 4.588 moustiques capturés par pulvérisation aux pyréthrine dans les 3 communes de Bandunduville. Il a été réparti en 1.258 anophèles et 3.330 culex ont été identifiés (**Tableau 4**). Il ressort de ce tableau que la commune de Disasi est celle qui a présenté un nombre élevé d'anophèles (44% $n=562/1279$), la commune de Basoko a présenté un nombre élevé d'*Anopheles gambiae* s/l gorgé (25,6% $n=187/729$). Et la commune de Disasi est la plus étendue, ayant enregistré plus de quartiers (50% $n=8/16$), de maisons (50% $n=24/48$) et plus de personnes (45,5% $n=107/235$) qui ont effectivement passé nuit au moment de capture (**Tableau 4**). Il existe une différence très significative entre les effectifs d'anophèles capturés pendant la saison sèche et la saison des pluies (X^2 ; $16,268 < 173,429$; $p=0,001$). La densité

anophélienne varie d'une commune à une autre mais cette différence n'est pas statistiquement significative tant à la saison sèche ($F_{(2,13)}=0,491$; $p=0,623$) qu'à la saison des pluies ($F_{(2,13)}=0,954$ $p=0,411$). Cependant, la densité anophélienne moyenne par saison aurait connu une influence saisonnière (5,69 à la saison sèche et 13,22 à la saison des pluies, $t = 5,112$ $p < 0,001$) (**Figure 4**).

Taux d'agressivité

L'agressivité anophélienne présente à la saison sèche des moyennes comparables entre les communes ($X^2=4,433$, $p=0,109$). Elle a été significativement différente à la saison des pluies ($X^2 = 9,913$; $p = 0,007$). Cependant, le taux d'agressivité moyen de Bandunduville connaît l'influence de la variation saisonnière ($X^2= 0,501$, $p=0,776$) (**Tableau 5**).

Indice sporozoïtique

Il a été observé une différence significative entre l'indice sporozoïtique des communes tant à la saison sèche qu'à la saison des pluies ($p < 0,001$), sauf à Basoko, où il n'existe pas de différence significative. Il n'existe pas de différence significative entre l'Is de la saison sèche et des pluies, dont l'indice sporozoïtique moyen de Bandunduville ne subit pas l'influence saisonnière ($X^2= 3,852$, $p=0,146$), voir **Figure 5**.

Taux d'inoculation entomologique

Le taux d'inoculation entomologique a été légèrement élevé en saison sèche à Disasi et Mayoyo, suite au phénomène de lessivage par proximité aux cours d'eau tandis qu'une situation inverse est observée à Basoko (**Tableau 5**).

Indice de stabilité

Le cycle gonotrophique considéré dans notre étude a été égal à 2,5 jours. Quant à l'anthropophilie, nous avons travaillé sur la faune résiduelle qui a révélé que les moustiques piquent l'homme à l'intérieur des habitations. Cet indice peut être considéré égal à 99%. La parturité a été de 0,858, $a=0,396$, $p=0,941$, l'espérance de vie moyenne d'anophèles (EV) est 16,4 jours et l'indice de stabilité est de 6,512.

Détermination des facteurs bioécologiques influençant la densité larvaire anophélienne

La régression linéaire a permis d'identifier les déterminants de la densité larvaire anophélienne. Le coefficient de détermination R^2 compare les valeurs estimées de la variable dépendante (densité larvaire anophélienne) à ses valeurs observées (**Tableau 6**). L'analyse univariée des paramètres de turbidité, conductivité et superficie ont influencé significativement la densité larvaire au seuil ($0,01 < p < 0,05$). Mais cette influence a été dans le sens négatif dont la turbidité, la conductivité et la superficie faibles ont un effet significatif sur l'augmentation de la production larvaire. La température et la profondeur bien que soient non significatives au seuil ($p > 0,05$), mais influencent la densité larvaire. La température a une influence positive sur la densité larvaire et la profondeur influence négativement. Après l'analyse multivariée seule la superficie a effet significatif sur la densité larvaire au seuil ($p < 0,001$), voir **Tableau 6**.

Discussion

D'après Mouchet et al, les différentes espèces d'anophèles exploitent une grande variété de collections d'eau comme gîtes, notamment les mares résiduelles des surfaces stagnantes ensoleillées, mares à végétation dressée, eaux saumâtres etc. L'*An. gambiae* s/ utilise de façon préférentielle des mares résiduelles des surfaces stagnantes ensoleillées dans plusieurs régions d'Afrique [27-30]. La majorité des gîtes larvaires (72,9 % $n=78/107$) de Bandundu-Ville ont été des mares résiduelles ensoleillées et ont été exploités par l'*An.gambiae* s/. Les gîtes larvaires d'anophèles sont nombreux et éparpillés dans les trois communes de Bandundu-ville. Et la majorité de ces gîtes sont créés suite aux activités anthropiques. La présence des *An. gambiae* s/ à Bandundu-ville en saison sèche a été clairement associée à la productivité et à la permanence des gîtes larvaires, qui sont liées aux activités anthropiques et l'urbanisation. Cette situation illustre les exceptionnelles capacités de ces *An. gambiae* s/ à exploiter ces ressources, en utilisant les aménagements hydro-agricoles [31, 32]. C'est le cas notamment au Sénégal dans la zone urbaine de Dakar où existent plusieurs milliers de puits [30] à l'ouest du Kenya où la majorité des gîtes ont été créés par les activités de l'homme [33]. Dans la présente étude 40,2% des gîtes ont été créés par la dégradation du réseau d'eau potable (REGIDESO/Bandundu) mal

entretenu. Une telle situation a été observée à Kinshasa par Karch [31]. Un phénomène d'adaptation ou de réinstallation du vecteur dans la ville exploitant les diverses petites mares créées par les fuites. L'importance d'*An. gambiae* s/ par rapport aux autres anophèles dans la zone de Bandundu-ville est clairement établie. L'*An. gambiae* s/ a été l'unique espèce observée et responsable de la transmission du paludisme à Bandundu-ville. La même situation a été observée à Kinshasa [31] et dans d'autres villes de RDC (Kingasani, Bolenge, Kimpese et Katana) [34]. Au Cameroun : à Nditam et à Ngoumé [32], au Madagascar [23] et dans deux villages de l'Ouest de Kenya (Ternan et Lunyerere) [33]. De même selon le rapport de l'OMS [2] et la cartographie mondiale des anophèles vecteurs du paludisme [35]. Ils contrastent avec la présence majoritaire d'*An. gambiae* s/ et présence secondaire de l'*An. funestus*, *An. moucheti* et *An. Nili* comme vecteur du paludisme en R.D. Congo, suite à une différence écologique déterminant le biotope larvaire [6,7]. La conductivité et la turbidité faibles des gîtes ont une influence sur la densité larvaire, ainsi que les paramètres entomologiques de la transmission du paludisme. Des observations similaires ont été faites à Banambani au Mali où la conductivité et le TDS ont eu des effets significatifs sur la division des gîtes et production des larves [29, 36, 37].

La conductivité et la turbidité des gîtes larvaires ont été élevées à Bandundu-ville et de ce fait ont une influence négative sur la densité. La transmission du paludisme est pérenne à Bandundu-ville à cause de la permanence des gîtes aussi bien pendant la saison des pluies que pendant la saison sèche et de la présence de l'*An. gambiae* s/, ainsi que son inféctivité aux plasmodies [38-40]. La densité anophélienne endophile est élevée pendant la saison de pluies grâce à la production larvaire et à la multiplication des collections d'eau qui se transforment en gîtes (61,7 % $n=66/107$). Cette situation est décrite dans la majorité d'études en zone tropicale [29, 31, 41, 42]. L'indice sporozoïtique a été plus élevé pendant la saison sèche (9%) que pendant la saison de pluies (4,1%), malgré la forte densité anophélienne observée pendant la saison des pluies. Cela pourrait se justifier par le fait que la densité des vecteurs a tendance à baisser suite aux interventions de lutte ou au changement climatique et la capacité vectorielle individuelle des survivants peut être plus grande [29, 36]. L'indice sporozoïtique moyen de 5,6 % a été plus élevé à Bandundu-ville par rapport à celui trouvé à Kinshasa (3,3%) [6, 31]. Sans doute pour des raisons de différence écologique. Le taux d'agressivité moyen (1,55 piqûre/homme/nuit) et le taux d'inoculation entomologique moyen (0,085 piqûre infectante/homme/nuit) ont été inférieurs à ceux

trouvés à Kinshasa, 16,28 piqûres/homme/nuit et 0,54 piqûre infectante/homme/nuit respectivement [31]. L'Espérance de vie moyenne d'anophèles trouvée a été très supérieure (16,4 jours) par rapport à celle trouvée par Karch à Kinshasa (8,5 jours) et Mulumba à Kinshasa (12,8 jours), cette différence est sûrement due aux conditions climatiques et écologiques très favorables au développement d'anophèles à Bandundu-ville [31, 39]. L'indice de stabilité de 6,512 à Bandundu-ville a été plus élevé par rapport celui observé à Brazzaville (5,04) en République du Congo [43, 44] et Kinshasa (3,50) [31]. Le paludisme est une maladie loco-régionale qui doit intégrer la dynamique des relations milieu/vecteur/parasite /maladie. Ces interactions sont complexes à Bandundu-ville et évoluent dans le sens de l'augmentation du paludisme. L'*Anopheles gambiae* s/s'est adapté dans cette écologie de Bandundu-ville [8,40, 44].

Conclusion

La diversité et la mosaïque des biotopes, la présence pérenne de l'*Anopheles gambiae* s/et les paramètres entomologiques de transmission du paludisme placent la ville de Bandundu dans une zone endémique stable. La participation de membres de la Communauté dans des programmes de gestion serait salutaire, une fois qu'ils comprennent le rôle qu'ils jouent dans la transmission du paludisme. Cette étude sur les paramètres entomologiques et écologiques dans la zone de Bandundu-ville, en République Démocratique du Congo, met à disposition un ensemble de données sur l'histoire naturelle du paludisme dans les zones tropicales d'Afrique. Si cette zone devait être retenue comme site sentinelle de PNLN, cette étude devrait servir d'une part lors de l'élaboration du plan stratégique de lutte, d'autre part lors de l'analyse finale comme base de comparaison avant l'intervention.

Conflits d'intérêts

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

Contributions des auteurs

E.MM, HSN, IS, JMNC, JJMT, JNMS, DMN, GMK: rédaction du protocole d'étude. EMM, TBL, EBW, CNA : coordinations des activités du terrain (capture et prospection larvaires). EMM, DMN, JJMT, CNA: Coordination des activités de laboratoire. EMM, EBW, JPBK : base des données et Analyse statistique. EMM, HSN, IS, JMNC, JJMT, JNMS, DMN, CNA, TBL EBW, GMK, JPBK: rédaction de l'article et correction.

Remerciements

Ce travail a été financé par l'Université de Bandundu et a bénéficié du concours de Fond de Promotion de l'Education Nationale (FPEN/RDC), de la Croix-Rouge Française en RDC/Bandundu, de l'Institut National de Recherche Biomédicale (INRB/Kinshasa) par son service d'Entomologie (Mr. Francis WAT'SENGA, Mr. Guillaume BINENE et Mme Sylvie FASINE). Les auteurs remercient les Professeurs Chrysostome TAMPWO, René NGAMBELE, Bénard FANSAKA et Jean MALEKANI pour leurs parfaite assistance technique, Madame Solange NGAMUKIE pour la coordination technique, toute l'équipe du programme de lutte contre le paludisme de Bandundu-ville, les captureurs de moustiques (Mr Tarcisse KILARA) et la population de Bandundu-ville.

Tableaux et figures

Tableau 1: Types de gîtes par commune

Tableau 2: Caractéristiques physiques et physico-chimiques des gîtes d'anophèles

Tableau 3: Couverture végétale et nature des gîtes par saison

Tableau 4: Anopheles gambiae sl capturé par saison

Tableau 5: Paramètres entomologiques par saison

Tableau 6: Les facteurs bioécologiques déterminant la densité larvaire

Figure 1: Carte de la zone de santé urbano-rurale de Bandundu

Figure 2: Courbe ombro thermique de Bandundu-ville 2009 -2013

Figure 3: Carte des points de capture d'Anophèles à Bandundu-ville

Figure 4: Tendances saisonnières de la densité anophélienne par commune

Figure 5: Tendence saisonnière de l'indice sporozoïtique par commune

Références

1. WHO. World malaria report 2013. World Health Organization, Geneva. 2013. **Google Scholar**
2. WHO. World malaria report 201 World Health Organization, Geneva. 2012. **Google Scholar**
3. WHO. World malaria report 2009. World Health Organization, Geneva. 2009 **Google Scholar**
4. Fontenille D, Cohuet A, Awono-Ambene P, Kengne P, Antonio-Nkondjio C, Wondji C, Simard F. Malaria vectors: from the field to genetics, research in Africa. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 2005 ; 53(3):2 83-90.**PubMed | Google Scholar**
5. INS. Rapport final de l'enquête par grappes à indicateurs multiples (MICS-RDC 2010). UNICEF. 2011. **Google Scholar**
6. PNL. Plan stratégique national de lutte contre le paludisme 2013-2015, Programme de lutte contre le paludisme. Kinshasa RD Congo. 2013.**Google Scholar**
7. Coene J. Malaria in urban rural Kinshasa: the entomological imput. *Med Vet Entomol*. 1993; 7(2):127-37. **PubMed | Google Scholar**
8. Imbahale SS, Paaijmans KP, Mukabana WR, van Lammeren R, Githeko AK, Takken WA. Longitudinal study on Anopheles mosquito larval abundance in distinct geographical and environmental settings in western Kenya. *Malar J*. 2011; 10(81): 1475-2875. **PubMed | Google Scholar**
9. Ferguson HM, Dornhaus A, Beeche A, Borgemeister C, Gottlieb M, Mulla MS, Gimnig JE, Fish D, Killeen GF. Ecology: A Prerequisite for Malaria Elimination and Eradication. *PLoS Med*. 2010; 7(8): 1549-1277.**PubMed | Google Scholar**
10. Fournet F, Cussac M, Ouari A, Meyer PE, Hyacinthe K, Toé HK, Gouagna LC, Dabiré RK. Diversity in anopheline larval habitats and adult composition during the dry and wet seasons in Ouagadougou (Burkina Faso). *Malaria Journal*. 2010; 9(78): 1475-2875. **PubMed | Google Scholar**
11. Diabaté A, Bilgo E, Dabiré KR and Tripet F. Environmentally friendly tool to control mosquito populations without risk of insecticide resistance: the Lehmann's funnel entry trap. *Malaria Journal*. 2013; 12(196): 1475-2875. **PubMed | Google Scholar**
12. Walker K, Lynch M. Review Contributions of Anopheles larval control to malaria suppression in tropical Africa: review of achievements and potential. *Med Vet Entomol*. 2007; 21(1):2-21. **PubMed | Google Scholar**
13. Koudou BG, Tano Y, Doumbia M, Nsanzabana C, Cissé G, Girardin O, Dao D, N'Goran EK, Vounatsou P, Bordmann G, Keiser J, Tanner M, Utzinger J. Malaria transmission dynamics in central Côte d'Ivoire: the influence of changing patterns of irrigatedrice agriculture. *Med Vet Entomol*. 2005 ; 19(1):27-37. **PubMed | Google Scholar**
14. Bureau central de la Zone de Santé urbano-rurale de Bandundu. Carte de la Zone de santé urbano-rurale de Bandundu. Bandundu, RD Congo. 2005. **Google Scholar**
15. Mairie de Bandundu-ville. Recensement annuel de la population, Ville de Bandundu. RD Congo. 2010. **Google Scholar**
16. PNUD/UNOPS. Monographie de la province de Bandundu. PNUD Kinshasa, RD Congo. 1998. **Google Scholar**
17. Service de Météorologie Bandundu-ville. Données climatologiques annuelles de 2009 à 2013. Bureau météorologique Bandundu-ville, Bandundu, RD Congo. 2014. **Google Scholar**
18. Papierok B, Croset H, Rioux J A. Estimation de l'effectif des populations larvaires d'*Aedes cataphylla* Dyar, 1916 (Diptera, Culicidae) II: Méthode utilisant le coup de louche ou dipping. *Cahiers ORSTOM, série Entomologie médicale et Parasitologie*. 1975; 13(1): 47-51. **PubMed | Google Scholar**

19. Carron A, Duchet C, Gaven B, Lagneau C. An easy field method for estimating the abundance of culicid larval instars. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 2003 ; 19(4): 353-360. **PubMed | Google Scholar**
20. Ghazi Krida, Amina Daoud-Bouattour, Ezzeddine Mahmoudi, Adel Rhim, Zeineb Ghrabi-Gammar, Brahim Chermiti, Anna-Bella Failloux & Ali Bouattour. Relation entre facteurs environnementaux et densités larvaires d'*Ochlerotatus caspius* Pallas 1771 et *Ochlerotatus detritus* Haliday 1833 (Diptera : Culicidae) en Tunisie. *Ann soc entomol Fr (ns)*. 2012 ; 48 (1-2): 18-28. **PubMed | Google Scholar**
21. OMS. Entomologie du paludisme et contrôle des vecteurs. Guide du stagiaire OMS Ed Provisoire. Genève 2003; 18(1) :1-102, Partie I. **PubMed | Google Scholar**
22. OMS. Entomologie du paludisme et contrôle des vecteurs. Guide du stagiaire, Ed provisoire. Genève 2003 ; 18(1):1-65, Parti II. **PubMed | Google Scholar**
23. Nagahuedi MSJ. Moustiques communs du Zaïre, Ed MTD. Engineering Kinshasa, Zaïre. 1994; 2(1):1-114. **PubMed | Google Scholar**
24. Gilles MT & Coetzee M. A supplement to Anophelinae of Africa sahara. Publications of the South African institute for medical research, Johannesburg. 1987; n° 55; 143 pp. **Google Scholar**
25. Gilles MT & De Meillon B. The Anophelinae of Africa South of the Sahara (Ethiopian zoogeographical region). Publication of the south of African institute for Medical Research, Johannesburg. 1968; 2o ED, n° 54: 343 pp. **PubMed | Google Scholar**
26. Wirtz RA, Zavala F, Cheroenvit Y, Campbell GH, Burkot TR, Schneider I, Esser KM, Beaudoin RL & Andre RG. Comparative testing of monoclonal antibodies against *Plasmodium falciparum* sporozoites for ELISA. *Bull WHO*. 1987; 65(1):39-45. **PubMed | Google Scholar**
27. Jocelyn Ratovonjato, Milijaona Randrianariveolosia, Maroafy E Rakotondrainibe, Vaomalala Raharimanga, Lala Andrianaivolambo, Gilbert Le Goff, Christophe Rogier, Frédéric Arieu, Sébastien Boyer and Vincent Robert. Entomological and parasitological impacts of indoor residual spraying with DDT, alphacypermethrin and deltamethrin in the western foothill area of Madagascar. *Malaria Journal*. 2014 ; 13(21) :1475-2875. **PubMed | Google Scholar**
28. Mouchet J, Carnavale P, Coosemans M, Julvez J, Richard-Lenoble D et Sircoulon J. Biodiversité du paludisme dans le monde. Eurotest Paris. 2004; Ed John Libbey. **PubMed | Google Scholar**
29. Edillo FE, Touré YT, Lanzaro GC, Dolo G, Taylor CE. Survivorship and distribution of immature *Anopheles gambiae* s.l (Diptera: Culicidae) in Banambani Village, Mali. *J Med Entomol*. 2004; 41:333-339. **PubMed | Google Scholar**
30. Robert V, Dieng H, Lochouart L, Traoré SF, Trape J-F, Simondon F, Fontenille D. La transmission du paludisme dans la zone de Niakhar, Sénégal. *TM&IM*. 1998; 3(8):667-77. **PubMed | Google Scholar**
31. Karch S, Asidi N, Manzambi ZM & Salaun JJ. La faune Anophélienne à Kinshasa (Zaïre) et la transmission du paludisme humaine. *Bull Soc Path Ex*. 1992; 85: 304-309. **PubMed | Google Scholar**
32. Manga L, Bouchite B, Toto J C & Froment A. La faune anophélienne et la transmission du paludisme dans une zone de transition forêt/savane au centre du Cameroun. *Bull Soc Pathol Exot*. 1997 ; 90 (2) 128-130. **PubMed | Google Scholar**
33. Hugo Bugoro, Charlie Iro'ofa, Donna O Mackenzie, Allen Apairamo, Watson Hevalao, Sarah Corcoran, Albino Bobogare, Nigel W Beebe, Tanya L Russell, Cheng-Chen Chen and Robert D Cooper. Changes in vector species composition and current vector biology and behaviour will favour malaria elimination in Santa Isabel Province, Solomon Islands. *Malaria Journal*. 2011; 10(287): 1475-2875 doi:10.1186. **PubMed | Google Scholar**

34. Basilia K, El Fahime E, Alaoui S, Essassi E, Brooke B, Nkebolo M and Watsenga T. Pyrethroid, DDT and malathion resistance in the malaria vector *Anopheles gambiae* from the Democratic Republic of Congo. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2013 ; 107(1):8-14. **PubMed | Google Scholar**
35. Kiszewski A, Mellinger A, Spielman A, Pia M, Sachs E and Sachs J. Global distribution (Robinson Projection) of dominant or potentially important malaria vectors. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.* 2004 ; 70 (5):486-498. **PubMed | Google Scholar**
36. Edillo FE, Touré YT, Lanzaro GC, Dolo G, Taylor CE. Water quality and immatures of the M and S forms of *Anopheles gambiae* s and *An. arabiensis* in a Malian village. *Malaria Journal.* 2006; 5(35):1475-2875. **PubMed | Google Scholar**
37. Gimonneau G, Pombi M, Choisy M, Morand S, Dabiré KR, and Simard F. Larval habitat segregation between the molecular forms of the mosquito, *Anopheles gambiae* in a rice field area of Burkina Faso. *West Africa Med Vet Entomol.* 2012; 26(1): 9-17. **PubMed | Google Scholar**
38. Harbach RE. The classification of genus *Anopheles* (Diptera: Culicidae): a working hypothesis of phylogenetic relationships. *Bull Entomol Res.*2004; 94(6):537-553. **PubMed | Google Scholar**
39. Mulumba MP, Bobanga LT, Mfunyi MC, Watsenga CF, Muyembe T JJ. Estimation de Paramètres de survie d'*Anopheles gambiae* dans l'environnement de Kinshasa. *Annales de Faculté de Médecine.* 2004; 1(1):65-71. **PubMed | Google Scholar**
40. Jawara M, Drakeley CJ, Nwakanma DC, Jallow E, Bogh C, Lindsay SW, Conway DJ. Dry season ecology of *Anopheles gambiae* complex mosquitoes in the Gambia. *Malaria J.* 2008; 7(156):1475-2875. **PubMed | Google Scholar**
41. Mutuku M Francis, M Nabie Bayoh, John E Gimnig, John M Vulule, Luna Kamau, Edward D Walker, Ephantus Kabiru And William A Hawley. Pupal habitat productivity of *Anopheles gambiae* complex mosquitoes in a rural village in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg.* 2006; 74(1): 54-61. **PubMed | Google Scholar**
42. Salem G, Legros F, Lefebvre-Zante E, Ndiaye G, Bouganali H, Ndiaye P, Badji A, Trape JF. Espace urbain et risque anophélien à Pikine (Sénégal). *JL Sante.*1994 ; 4 (5) 347-357. **PubMed | Google Scholar**
43. Carnevale P, Bosseno Mp, Zoulani A et al. La dynamique de transmission du paludisme humain en zone de savane herbeuse et de forêt dégradée des environs nord et sud de Brazzaville. RP du Congo, ORSTOM, Cahiers d'entomologie médicale et de parasitologie. 1985; 23(2): 95-115. **PubMed | Google Scholar**
44. Trape JF & Zoulani A. Malaria and urbanization in Central Africa: the exemple of Brazzaville, Part II: Results of entomological surveys and epidemiological analysis. *Trans Roy Soc Trop Med Hyg.* 1987; 2(1):10-18. **PubMed | Google Scholar**

Type de gîtes	COMMUNE			
	BASOKO	DISASI	MAYOYO	Total (n=107)
Digues et puits d'eau	6(5.6%)	4(3.7%)	1(0.9%)	11(10.3%)
Collections d'eau maraîcher et concasseurs moellons	1(0.9%)	14(13.1%)	2(1.9%)	17(15.9%)
Marais REGIDESO	16(15%)	22(19.6%)	5(4.7%)	43(40.2%)
Marais le long des rivières et ruisseaux	8(7.5%)	7(6.5%)	7(6.5%)	22(20.6%)
Flaque d'eau des pluies	0(0%)	9(8.4%)	5(4.7%)	14(13.1%)
TOTAL	31(29%)	56(52.3%)	20(18.7%)	107(100%)

Type de gîtes	pH	Température (°C)	Conductivité (µs/cm)	Turbidité (ppm)	Profondeur (cm)	Superficie (m ²)	Densité larvaire
1. Digues et puits d'eau	7,6 ± 0,4	27,6 ± 1,2	439,5 ± 94,8	252,7 ± 93,6	22± 3,29	1,4 ± 0,5	101,1 ± 41,3
2. Collections d'eau maraîchère et concasseurs moellons	7,5 ± 0,6	26,3 ± 2,7	448, 7 ± 112,9	267,8 ± 80,1	24,35 ± 4,54	1,4 ± 0,5	90,1 ± 61,2
3. Marais REGIDESO	8,1 ± 0,5	28,0 ± 2,3	395,6 ± 124,9	209,1 ± 67,2	10,43 ± 1,24	1,2 ± 0,6	120,6 ± 62,8
4. Marais long des rivières et ruisseaux	7,4 ± 0,6	27,3 ± 2,1	426,9 ± 290,1	229,6 ± 77,3	63,68 ± 14,32	1,6 ± 0,7	165,8 ± 109,7
5. Flaque d'eau des pluies	7,4 ± 0,5	27,8 ± 2,6	389,6 ± 186,7	232,8 ± 101,1	15,43 ± 1,87	1,8 ± 0,6	109,6 ± 45,4
F _(4,102)	10,548***	1,805 (ns)	0,437 (ns)	1,946 (ns)	227,89***	3,417*	3,245*
p-value (α=0,05)	3,426E-7	0,134	0,782	0,109	6,467E-5	0,012	0,015

Légende : p>0,05, différence non significative (ns) ; 0,01<p<0,05, différence significative (*) ; 0,001<p<0,01, différence hautement significative (**); p<0,001, différence très hautement significative (***)

Tableau 3: Couverture végétale et nature des gîtes par saison

Types des gîtes	Couverture végétale		Nature des gîtes		Saison (n=107)	
	Ensoleillé	Ombagé	Permanent	Temporaire	Sèche	Pluvieuse
Digues et puits d'eau	8(7, 5%)	3(2, 8%)	5(4, 7%)	6(5, 6%)	6(5, 6%)	5(4, 7%)
Collections d'eau maraîchère et concasseurs moellons	15(14%)	2(1, 9%)	13(12, 1%)	4(3, 7%)	10(9, 3%)	7(6, 5%)
Marais REGIDESO	29(27, 1%)	14(13, 1%)	22(20, 6%)	19(17, 8%)	13(12,1%)	30(28, 0%)
Marais long des rivières et ruisseaux	17(15, 9%)	5(4, 7%)	15(14%)	7(6, 5%)	12(11,2%)	10(9, 3%)
Flaque d'eau de pluies	9(8, 4%)	5(4, 7%)	0(0%)	14(13, 1%)	0(0,0%)	14(13, 1%)
Total	78(72, 9%)	29(27, 1%)	57(53, 3%)	50(46, 7%)	41(38,3%)	66(61, 7%)

Tableau 4: *Anopheles gambiae* sl capturé par saison

Commune	Maison	Personne	Saison							
			Sèche				Pluies			
			Femelle	Mâle	Gorgé	Non gorgé	Femelle	Mâle	Gorgé	Non Gorgé
DISASI	24	107	142	99	118	24	223	98	181	42
BASOKO	15	90	59	21	46	13	219	125	203	16
MAYOYO	9	38	65	14	60	5	142	72	127	15
Total	48	235	266	134	224	42	584	295	505	73

Tableau 5: Paramètres entomologiques par saison

Commune	Saison							
	Sèche				Pluies			
	Densité	ma	Is	TIE	Densité	ma	Is	TIE
Disasi	5,92	1,1	11	0,12	9,29	1,69	3	0,05
Basoko	3,92	0,51	4	0,02	14,60	2,26	5	0,11
Mayoyo	7,22	1,58	14	0,22	15,78	3,34	4	0,13
Moyenne	5,69	1,06	9,67	0,12	13,22	2,43	4	0,10

Tableau 6: Les facteurs bioécologiques déterminant la densité larvaire

Caractéristiques	Analyse uni variée		Analyse multi variée		
	Coefficient R.	P valeur	Coefficient R.	95% IC	P valeur
Température (°C)	2,26	0,47	3,35	-2,91 à 9,61	0,29
Ph	4,17	0,74	-13,39	-38,92 à 12,15	0,30
Turbidité (ppm)	-0,19	0,03*	-0,06	-0,30 à 9,61	0,62
Conductivité (µs/cm)	-0,10	0,02*	-0,06	-0,17 à 0,05	0,28
Superficie (m ²)	-46,03	<0,001*	-43,41	-64,85 à -21,96	<0,001*
Profondeur (cm)	-0,46	0,1	-0,31	-0,94 à 0,32	0,34

Légende: 0,01 < p < 0,05, différence significative (*)

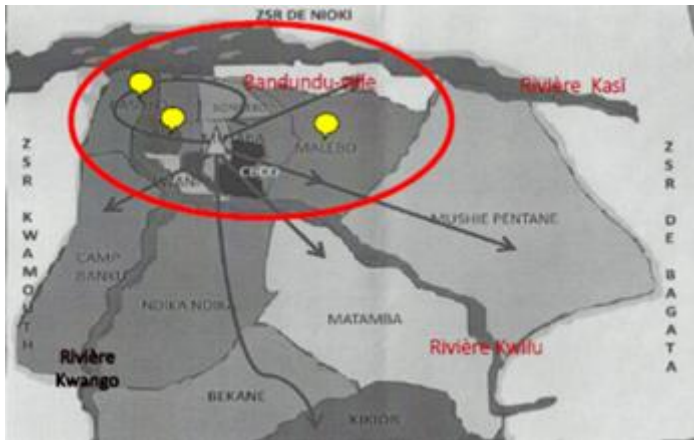


Figure 1: Carte de la zone de santé urbano-rurale de Bandundu

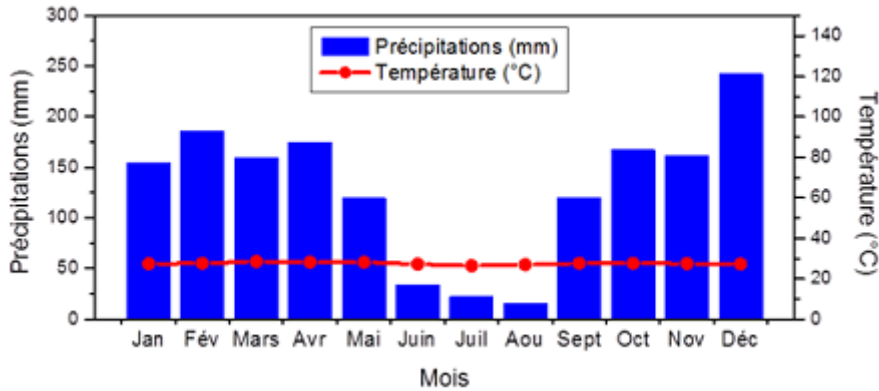


Figure 2: Courbe ombro thermique de Bandundu-ville 2009 -2013

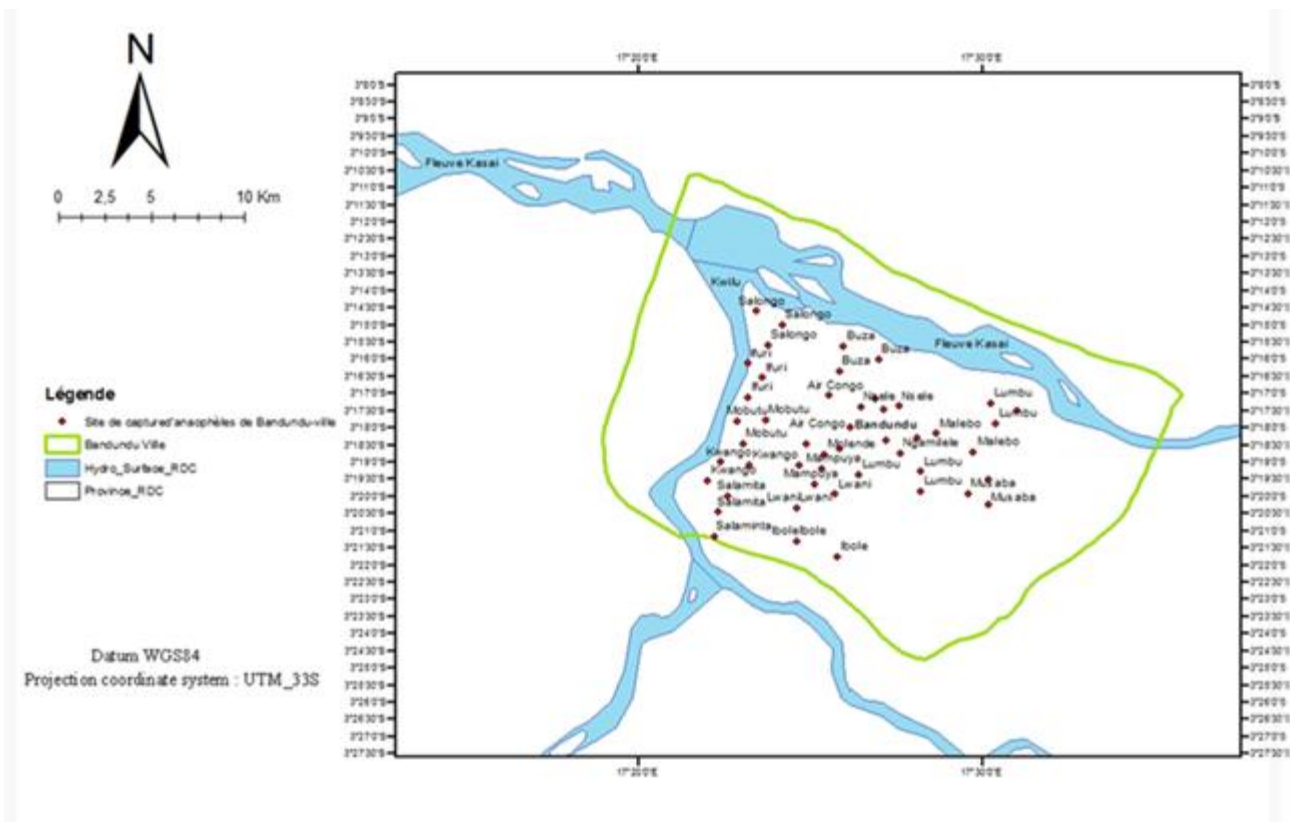


Figure 3: Carte des points de capture d'Anophèles à Bandundu-ville

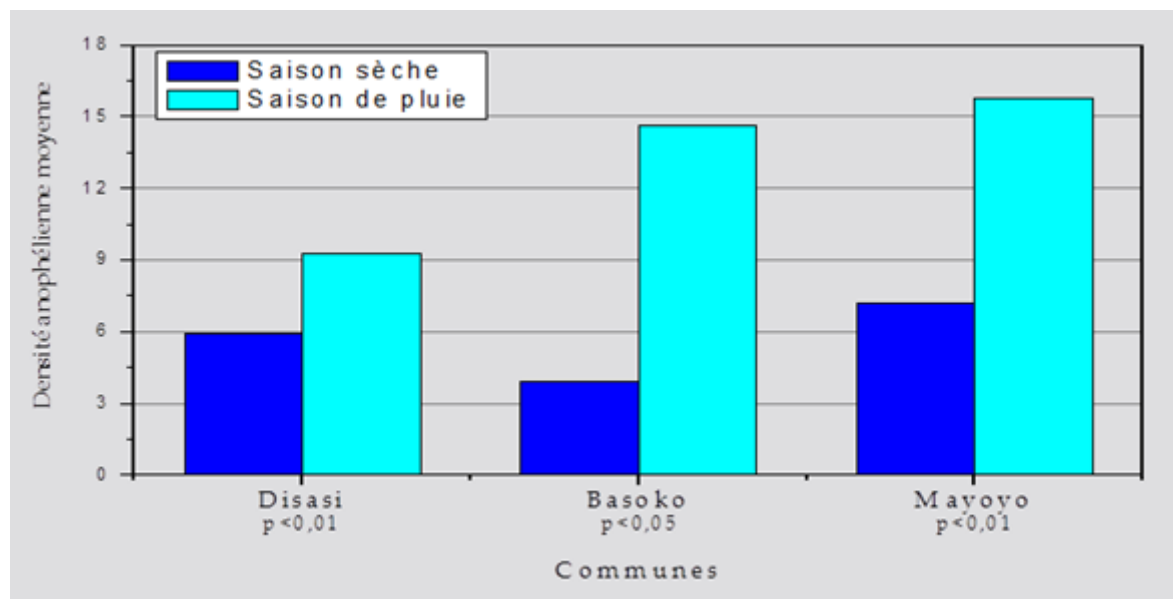


Figure 4: Tendance saisonnière de la densité anophélienne par commune

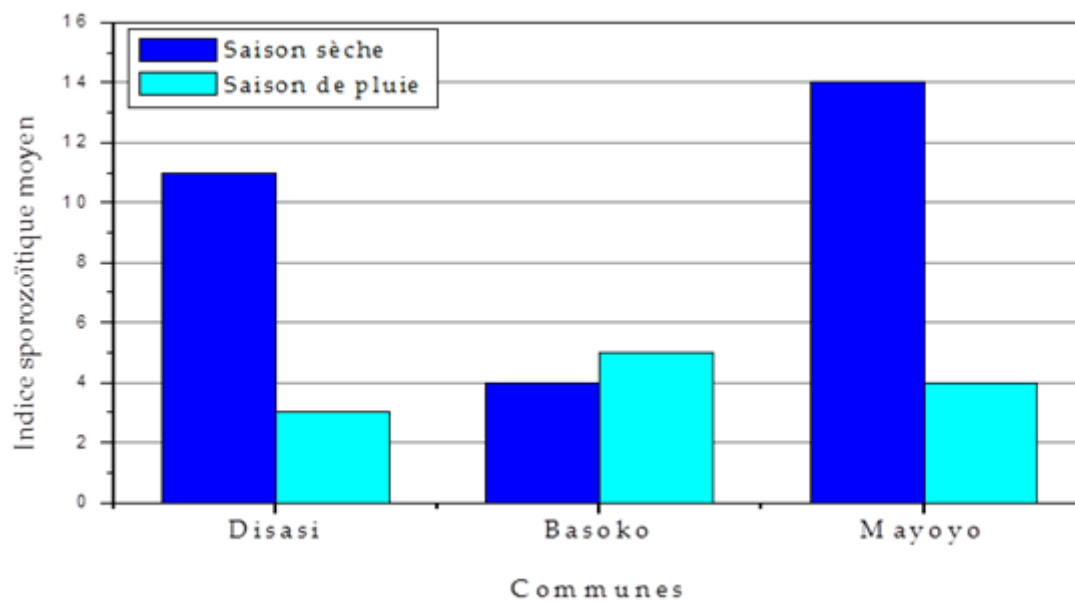


Figure 5: Tendence saisonnière de l'indice sporozoïtique par commune