



Variation spatio-temporelle de la population *Culicidae* et de la transmission du paludisme en milieu urbain du district de Bamako au Mali

Amadou TAPILY^{1*}, Issaka SAGARA^{1,2}, Vanessa MACHAULT³, Safiatou NIARE¹, Salimata KONATE¹, Modibo DIARRA¹, Didier DOUMTABE¹, Mouctar DIALLO¹, Jean GAUDART³, Abdoulaye GUINDO¹, Abdoulaye ONGOIBA¹, Adama DAOU¹, Guimogo DOLO¹, Bakary SIDIBE¹, Ousmane TOURE¹, Binta TRAORE⁴, Kamba KONE⁴, Moussa M DIALLO¹, Abdoulaye K. KONE¹, Abdoulaye DJIMDE¹, Hamma MAIGA⁵, Abdoulaye DABO¹ et Ogobara K. DOUMBO^{1†}

¹Malaria Research and Training Center, Faculté de Pharmacie & Faculté de Médecine et d'Odontostomatologie de Bamako, Université des Sciences, Techniques et des Technologies de Bamako, Mali BP :1805.

²INSERM, IRD, SESSTIM, ISSPAM, UMR1252, Faculty of Medicine, Aix Marseille ³University, 13005 Marseille, France. Unité de Recherche en Biologie et Épidémiologie Parasitaires, UMR 6236 Institut de Recherche Biomédicale des Armées BP60109, 13262 Marseille cedex 07, France.

⁴Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université de Bamako, Mali.

⁵Institut National de Santé Publique (INSP), Bamako, Mali, BP :1771.

† Décédé.

*Auteur correspondant ; E-mail : atapily@icermali.org

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par le Département d'Infectiologie de Terrain de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA - Marseille, France), associé au Laboratoire d'Aérodologie de l'Observatoire Midi-Pyrénées (LA/OMP - Toulouse, France), au Centre National d'Études Spatiales (CNES - Toulouse, France) et à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD - Dakar, Sénégal).

Received: 15-06-2024

Accepted: 24-08-2024

Published: 31-08-2024

RESUME

Le paludisme urbain est devenu un important défi pour nombre de pays africains à cause de l'urbanisation effrénée et de l'accroissement de la population. La transmission urbaine chez des sujets non prémunis peut constituer un problème de santé publique dans les années à venir. L'objectif de cette étude était d'évaluer les variations spatiales de l'agressivité anophélienne et la transmission du paludisme dans le district urbain de Bamako au Mali. Nous avons mené une étude transversale en octobre 2011 pour les enquêtes parasitologiques, et trois passages en octobre et août 2011, et octobre 2012 pour les enquêtes entomologiques. La capture des moustiques par la technique de spray catch a concerné dix concessions et la capture sur appât humain sur trois zones au hasard. L'analyse des antigènes sporozoïtiques a été faite par la technique d'ELISA. Au total 1200 volontaires ont été inclus. Quatre genres de moustiques ont été capturés (*Anopheles sl.*, *Culex sp.*, *Aedes sp.* et *Mansonia sp.*) dont les *Anophèles* représentaient 2,5% contre 97,1% de *Culex sp* avec un taux d'agressivité (ma) moyen de 2,36 piqûres par homme/heure/nuite et de 142,25 piqûres/homme/nuite, respectivement. Par ailleurs, *Aedes sp.* représentait 0,4%. En revanche, la fréquence de *Culex* était significativement plus élevée dans les communes III et IV et très faible dans la commune I ($p < 0,0001$). Le taux d'inoculation entomologique corrélé

au ma était de 0,031 piqûres infectantes/homme/nuît, avec 0,93pi/h/mois au mois d'août. Le taux d'infection par l'antigène circumsporozoïtique était de 1,3% (3/234). La prévalence de *Plasmodium falciparum* et *P. malariae* étaient de 8,3% (190/2294) et 0,4% (9/2294), respectivement. En conclusion, nos résultats ont confirmé l'existence de foyers autochtones focalisés de transmission du paludisme dans le district de Bamako.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Paludisme, *Anopheles*, *Culex*, Fréquence, Agressivité, Bamako, Mali.

Spatio-temporal variation of *Culicidae* population and malaria transmission in urban area of Bamako district in Mali

ABSTRACT

Urban malaria became an important challenge for most African countries due to high urbanization and increasing citizen population. Urban transmission in non-premudinal subjects can be a public health problem in the coming years. The objective of this study was to assess the spatial variations of anopheline aggressiveness and the transmission of malaria in the urban district of Bamako in Mali. We undertook a cross-sectional study in october 2011 for parasitological surveys, and three cross-sectional for entomological surveys in october and august 2011, and in october 2012. The mosquitoes capture by the catch spray method involved ten randomly selected concessions per area, while the human bait covered three randomly selected areas. Sporozoite antigens analysis was done by ELISA. A total of 2100 volunteers was included. Four mosquito types were identified during the study (*Anopheles sp.*, *Culex sp.*, *Aedes sp.*, *Mansonia sp.*) of which the anopheles represented 2.5% against 97.1% of *Culex* sp with mean aggression rate (ma) was 2.36 bites/man/night and 142.25 bites/man/night, respectively. Therefore, *Aedes sp.* represented 0.4%. In contrast, *Culex* frequency was significantly higher in commune III and IV and lower in commune I ($p < 0.0001$). Entomological inoculation rate correlated to the ma was 0.031 infective bites/man/night, with 0.93 pi/h/month in august. The rate of circumsporozoite antigen infection was 1.3% (3/234). Prevalence of *Plasmodium falciparum* and *P. malariae* were 8.3% (190/2294) and 0.4% (9/2294), respectively. In conclusion, our results confirmed the existence focal indigenous centers of malaria transmission in the district of Bamako.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Malaria, *Anopheles*, *Culex*, Frequency, Aggressiveness, Bamako, Mali.

INTRODUCTION

Selon le rapport de 2021 de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), au niveau mondial, le nombre de cas de paludisme est estimé à 241 millions et le nombre de décès estimé à 627 000 en 2020 dans 85 pays d'endémie palustre (WHO, 2021). La maladie sévit particulièrement dans la zone Afrique selon l'OMS, qui enregistre 90% des décès dont 78% sont les enfants de moins de 5 ans.

Au Mali, Malgré la mise en place des stratégies de lutte à l'échelle nationale, le fardeau du paludisme reste élevé, avec plus de 2,8 millions de cas signalés en 2019. Dans ce contexte, une nouvelle approche est nécessaire, qui tient compte de la variabilité spatio-temporelle de la transmission du paludisme à

l'échelle locale (Katile et al., 2022). Cependant, la transmission de la maladie varie selon les strates éco-épidémiologiques (Cissoko et al., 2022).

En milieu urbain, la transmission du paludisme a été rapportée à des niveaux en général plus bas que dans les zones périurbaines et rurales (Keating et al., 2004). L'importance de la population à risque devrait faire des villes une zone prioritaire dans le cadre de l'étude et de la lutte contre la maladie. La transmission du paludisme y est loin d'être homogène, et elle peut être même très focalisée (Machault et al., 2009). La transmission est plus faible dans le milieu urbain et elle est le résultat de la pression foncière avec son corollaire de pollution domestique détruisant

les gîtes d'anophèles. Il s'en suit une baisse de l'anophélisme, de la parasitémie et du degré d'exposition. Ce point de vue est corroboré par la comparaison de la prévalence moyenne du parasite en milieu urbain et rural (Omumbo *et al.*, 2005). A Dakar, l'association des données environnementales et les données entomologiques a permis de générer une carte de risque de transmission du paludisme. La population exposée à un risque élevé est passée de 32% à 20% alors que celle exposée à un faible risque a augmenté de 29% à 41% (Machault *et al.*, 2010).

Toutefois, d'autres études montrent plutôt une certaine recrudescence du paludisme à cause d'une forme d'adaptation du vecteur au milieu urbain habituellement inapproprié. Le vecteur changerait donc ses habitudes pour se rapprocher davantage de son hôte (Omlin *et al.*, 2007). La transmission du paludisme est hétérogène car elle localisée et focalisée aux bidonvilles pauvres des villes alors qu'elle est plus faible au fur et à mesure que l'urbanisation est ancienne (Sharma, 2003). A l'échelle d'une ville, les facteurs environnementaux (présence d'eau de surface ou de la végétation) et anthropiques telle la présence des champs de mil dans les concessions rurales situées à l'intérieur de la ville, et surtout l'urbanisation peuvent déterminer la répartition spatiale et temporelle de la transmission du paludisme d'où l'intérêt de la présente étude. L'association des données de télédétection (images satellitaires), d'entomologie et de parasitologie, permet de cartographier le risque de transmission du paludisme à l'échelle d'une zone bien déterminée. Dans les conditions où la répartition spatiale du risque de transmission du paludisme est connue, la lutte contre la maladie peut être focalisée en certains lieux afin d'optimiser l'efficacité des méthodes de contrôle et de réduire leurs coûts. Par cette démarche, l'étude de la variation spatiale et temporelle des populations des vecteurs du paludisme et de la transmission de la maladie pourrait contribuer à mieux lutter contre le

paludisme. Cette étude s'inscrivait dans le cadre général du concept de contrôle d'élimination, voire d'éradication du paludisme de l'OMS. L'objectif de notre étude était d'évaluer les variations spatiales de l'agressivité anophélienne et la transmission du paludisme dans le district urbain de Bamako.

MATERIELS ET METHODES

Site d'étude

Le site de l'étude était la ville de Bamako, capitale du Mali. Située à cheval sur le fleuve Niger, la ville est aussi traversée par de nombreuses rivières temporaires. La ville de Bamako a la forme d'une cuvette entourée de collines. Elle s'étend d'Ouest en Est sur 22 km et du nord au sud sur 12 km pour une superficie de 267 km². Le climat est de type soudanien avec deux saisons bien tranchées, la saison sèche (Novembre en Mai) et la saison pluvieuse (Juin-Octobre). La quantité totale de précipitation est de 878 millilitres et la température moyenne annuelle est de 27,8° (T° minimales : 21,5° ; T° maximales : 34,5°). Le district de Bamako compte six communes et plus d'une cinquantaine de quartiers. Il comptait 2309106 habitants en 2012, avec un taux d'accroissement de 4,8%. Cet accroissement rapide et incontrôlé de la ville de Bamako pose d'énormes problèmes d'hygiène, de santé, d'approvisionnement en eau potable et d'évacuation des excréments. Dépourvue dans la plupart du temps de systèmes de canalisations, les eaux de pluie forment à travers la ville d'innombrables gîtes potentiels de moustiques susceptibles d'entretenir un foyer local de transmission du paludisme et d'autres maladies hydriques comme les schistosomiasés. Grâce à l'étude et au traitement d'images satellitaires SPOT-5 à 2,5 m de résolution spatiale, trente zones couvrant l'ensemble du district de Bamako ont été sélectionnées pour les enquêtes entomologiques et parasitologiques (Figure 1). Les trente zones ont été choisies de manière à prendre en compte les contrastes écologiques (végétation, présence du fleuve Niger et ses

affluents, présence d'une chaîne de collines bordant la ville à l'Ouest, au Nord et au Sud) et anthropologique (urbanisation : bâtiments modernes au centre-ville et dans les quartiers résidentiels, maisons en banco dans certains quartiers périphériques et dans les anciens quartiers des communes I (CI), II (CII) et III (CIII), et présence de décharges secondaires d'ordures en certains points de la ville). Dans les zones d'extension, la cour de nombreuses concessions en chantier constitue autant d'habitats favorables aux larves d'anophèles notamment dans la zone 10.

Période et population d'étude

Période

Les données entomologiques ont été collectées au cours de trois passages transversaux : octobre 2011 (fin de saison des pluies), août (saison des pluies) et octobre 2012 (fin de saison des pluies). Les enquêtes parasitologiques ont été réalisées au cours d'un seul passage, fin novembre et début décembre 2011 correspondant à la période du pic de transmission du paludisme à Bamako.

Population humaine

Elle était composée par les enfants âgés de 6 mois à 14 ans et les adultes âgés de 15 ans et plus, vivant dans l'une des trente zones d'étude sélectionnées.

Matériel

Matériel animale

La population vectrice était composée par la faune anophélienne capturée le matin et celle capturée la nuit en vue de déterminer la composition faunistique et différents paramètres entomologiques (agressivité et indice sporozoïtique). En dehors des anophèles, les autres espèces de *Culicidae* rencontrées mais leur étude ne fait pas l'objet de cet article.

Matériel de Capture, de stockage et d'analyse Capture sur appât humain

Au cours de chaque passage nous avons effectué trois nuits successives de captures. Les trois zones ayant servi de lieu de capture sur

appât humain ont été sélectionnées au hasard parmi celles qui étaient situées à proximité des points d'eau. Les captureurs qui étaient tous des hommes adultes donnèrent au préalable leur consentement éclairé pour leur participation volontaire à l'étude. Pour minimiser les risques de transmission du paludisme aux volontaires, ces derniers recevaient tous les 2 mois un traitement à base d'amodiaquine et de sulfadoxine/pyriméthamine (AQ+SP) en raison de 10 mg/kg/par jour d'AQ pendant 3 jours et de 1 comprimé pour 20 kg en prise unique de SP. A traitement préventif, les captureurs étaient en outre vaccinés contre la fièvre jaune.

Récolte de la faune résiduelle (Spray catch)

Au niveau de chacune des trente zones d'étude, les moustiques ont été également récoltés le matin (07h-09h), une seule fois au cours de chacun des trois passages, après pulvérisation d'insecticides à l'intérieur des chambres à coucher selon l'échantillonnage décrit dans le chapitre Avant la pulvérisation des chambres, les issues étaient bouchées et un drap était étalé sur le plancher, les lits et tables de manière à récolter les moustiques tués ou immobiles par l'insecticide (effet Knock - down) qu'on laisse agir 10 minutes.

Traitement du matériel

Les moustiques récoltés étaient dénombrés et identifiés morphologiquement selon le genre et l'espèce. Les têtes et thorax de femelles capturées sur appât humain étaient conservés puis analysés par la méthode ELISA-CSP pour la détection de l'antigène circumsporozoïtique.

Détermination de l'infection plasmodiale

Recherche de l'antigène circumsporozoïtique (CSP) par la méthode ELISA-CSP chez le vecteur

Les têtes et thorax des femelles d'anophèles ont été analysés par le test de l'ELISA pour la détection de l'antigène circumsporozoïtique selon la méthode de Beier J. C. Il s'agissait de la méthode du « Sandwich » ; le test commençait par la

sensibilisation des plaques en polystyrène par la fixation des anticorps monoclonaux de capture spécifique sur la paroi des puits. Après incubation d'une nuit, les plaques étaient vidées sans lavage, les broyats de moustiques étaient introduits dans les puits pour permettre la réaction avec les anticorps monoclonaux fixés et la formation éventuelle d'un complexe antigène circumsporozoïtique/anticorps monoclonal. Les plaques étaient ensuite lavées deux fois avec du PBS Tween 20 avant d'ajouter dans les puits les anticorps monoclonaux spécifiques conjugués à une enzyme (peroxydase). Si un complexe antigène/anticorps se formait déjà lors du premier temps de réaction, l'anticorps marqué se fixera sur l'antigène circumsporozoïtique. Le test se terminait par l'addition du substrat correspondant à l'enzyme après avoir vidé et lavé 4 fois les plaques. La réaction du substrat avec l'enzyme si le complexe antigène/anticorps/enzyme était en place se traduit par un changement de coloration dans les puits. La lecture était faite avec un lecteur ELISA à 450nm. Les femelles d'*Anopheles gambiae s.l* utilisées pour l'ELISA ont été capturées sur appât humain pendant trois nuits successives, puis identifiées morphologiquement.

Recherche des plasmodies par la technique de la goutte épaisse et du frottis mince chez l'Homme

Au cours du seul passage effectué en novembre-décembre 2011 pour l'enquête parasitologique, nous avons procédé à un prélèvement capillaire de 5 à 10 microlitres de sang chez tous les volontaires de la population d'étude pour la détection de *Plasmodium* par la technique de la goutte épaisse. Une fois dans la zone d'étude et après que l'information avait été donnée aux chefs de famille sur la méthodologie et la date de l'enquête, l'équipe choisissait un site de commun accord avec les populations où elle s'installait pour recevoir les volontaires. L'enquête prenait fin avec l'atteinte de la taille de l'échantillon requise à la fois pour les adultes et les enfants. Nous

confectionnons deux préparations par lame, l'une pour la goutte épaisse (quantification des parasites) et l'autre pour le frottis mince (identification des espèces). Le seuil de détection du frottis (FM) était de 100 parasites/ μ l (de Gentile and Geneviève, 2000). Cet examen doit par conséquent, être associé systématiquement à la goutte épaisse (GE), qui détectait des parasitémies plus faibles de l'ordre de 10 à 20 parasites/ μ l de sang (Delaunay et al., 2008). En revanche, la GE ne permettait pas le diagnostic de certitude des espèces plasmodiales en raison de la lyse des hématies.

Définition des paramètres entomologiques et indice plasmodique de la transmission du paludisme.

Fréquence d'Anopheles gambiae s.l.

Elle exprime la composition des espèces rencontrées. C'est le rapport du nombre d'une espèce donnée sur le nombre total (n) de moustiques capturés multiplié par 100.

Taux d'agressivité (ma)

Elle correspond au nombre moyen de piqûres qu'une personne reçoit d'une espèce vectrice particulière par homme et par unité de temps (nuit, mois, an). Dans le cas notre étude, nous l'avons estimé directement à partir des captures sur les volontaires. Dans ce cas, il correspond au nombre total de moustiques femelles capturés divisé par le nombre de captureurs en particulier dans les trois zones retenues (zones 0, 8 et 10).

Taux d'infection d'Anopheles gambiae s.l

C'est la proportion d'*An. gambiae s.l* capturées sur appât humain porteuse de l'antigène circumsporozoïtique par rapport au nombre total de spécimens testés par ELISA.

Taux d'inoculation entomologique (h)

Il représente le nombre de piqûres infectantes reçues par homme et par unité de temps (jour, mois ou année). Dans notre étude, il a été estimé en jour.

$h = ma.IS$ ou $ma =$ agressivité et $IS =$ indice sporozoïtique.

Il est estimé pour chaque espèce. La transmission globale est donc la somme des (h) des différentes espèces vectrices.

Taux de prévalence parasitaire

C'est le nombre de sujets porteurs de *Plasmodium* sur le nombre total de sujets examinés, exprimé en pourcentage. Dans le cas de notre étude, nous l'avons déterminé en utilisant la goutte épaisse. L'analyse moléculaire (PCR) des femelles d'*An. gambiae s.l* capturées sur appât humain a été entreprise pour identifier les différentes formes chromosomiques d'*An. gambiae s.l* (Savane - S, Mopti - M et *arabiensis* -A).

Echantillonnage

Échantillonnage de la population humaine

Pour calculer le taux de prévalence du paludisme à l'échelle du district de Bamako, nous avons sélectionné au hasard par la technique d'échantillonnage par grappe d'Henderson (comme l'évaluation de la couverture vaccinale du PEV) 70 volontaires par zone (50 adultes et 20 enfants). L'indice plasmodique étant plus faible chez les adultes (Dicko et al., 2008), nous avons calculé la taille minimale d'échantillon à 50 et celle des enfants à 20, soit un total de 2100 volontaires (70x30 zones). A cela, il faut ajouter 15% de données non exploitables éventuelles, ce qui fait environ 90 volontaires répartis entre 60 adultes et 30 enfants, soit au total 2700 volontaires. Le risque alpha était de 5%, avec une précision de 10% autour du taux d'indice plasmodique à estimer.

Échantillonnage de la population culicidienne

L'échantillonnage de la population anophélienne culicidienne a été effectué au moyen de collectes matinales de la faune résiduelle après pulvérisation de pyréthrine dans les habitations, et de captures nocturnes sur appât humain. Pour la capture des *Culicidae* par spray catch, cinq concessions

parmi 20 à 25 concessions par zone ont été sélectionnées au hasard dans chaque zone. Pour cela, nous avons sélectionné deux chambres par concession selon la disponibilité des occupants, soit au total dix chambres par zone. La capture des moustiques sur appât humain a été réalisée dans trois zones choisies au hasard en raison deux concessions (intérieur et extérieur de chaque chambre) par zone.

Saisie et analyse statistique des données

La saisie des données a été faite avec le logiciel Microsoft Excel 2007, puis analysée par le logiciel (R version 3.0.1). Le test de χ^2 de Pearson a été utilisé pour comparer les proportions en fonction des différentes zones et des communes. Les différences étaient considérées comme statistiquement significatives lorsque la valeur de p était $< 0,05$.

Considérations éthiques

Le protocole de recherche a été soumis et approuvé par le comité d'éthique institutionnel de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie (FMPOS) de Bamako, Mali avant son exécution sur le terrain. Toute participation à l'étude était conditionnée à la signature du consentement éclairé pour les adultes et de l'assentiment pour les mineurs âgés de 12 à 17 ans. Les captureurs ont reçu une vaccination contre la fièvre jaune et ont été placés sous chimioprophylaxie anti-palustre à base d'amodiaquine et de sulfadoxine-pyriméthamine (AQ+SP) pendant la durée de l'étude et un mois après. Tous les volontaires porteurs d'infection à *P. falciparum* ont été traités avec de l'artémether-lumefantrine. Les supports servant à la collecte des données étaient conservés de façon confidentielle et n'étaient accessibles qu'aux membres autorisés de l'équipe.

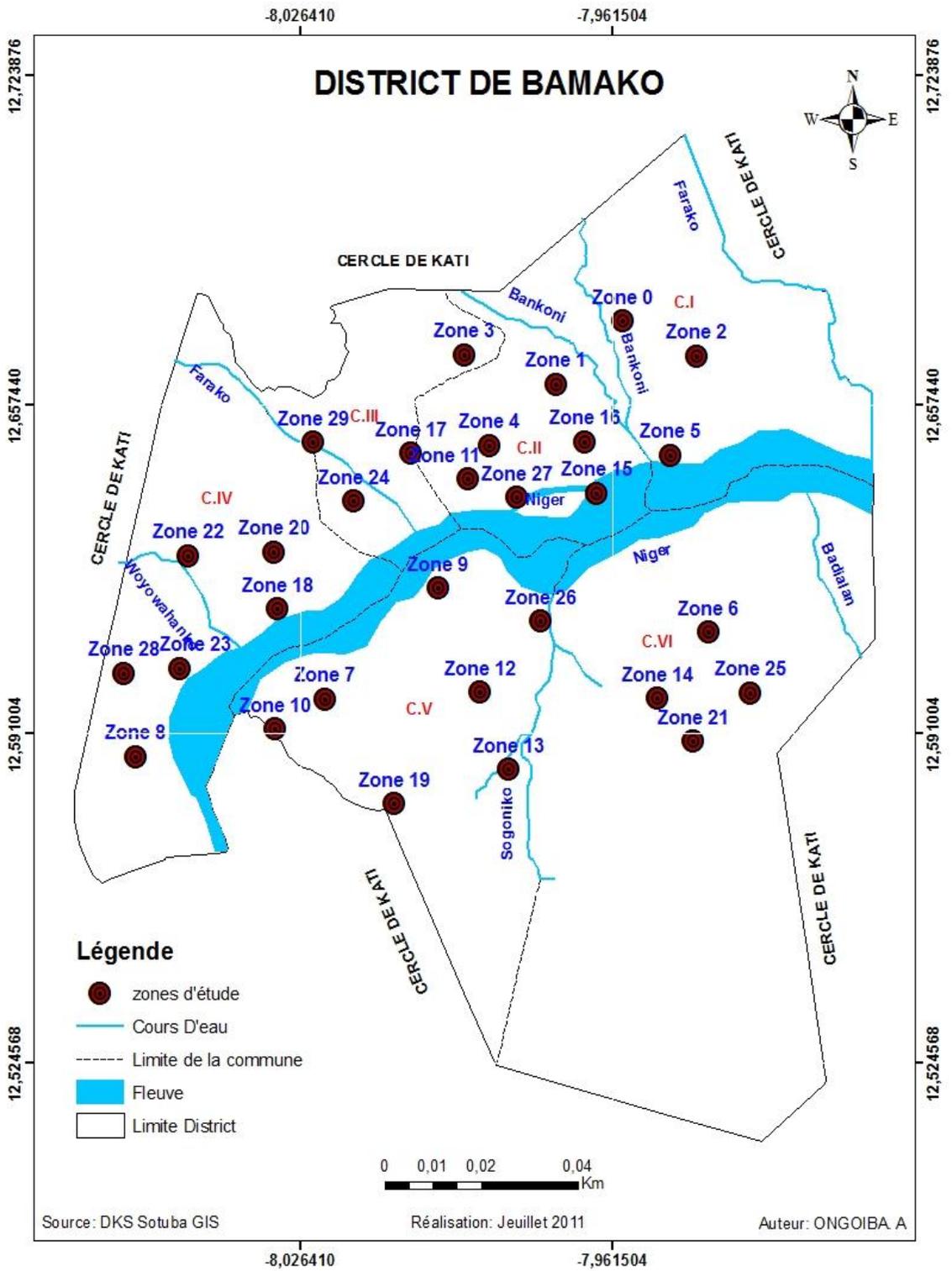


Figure 1 : Répartition des trente zones d'étude à travers le district de Bamako à partir des images satellitaires (source : MRTG-GIS, 2009).

RESULTATS

Données entomologiques

Le Tableau 1 donne la répartition des différentes espèces de moustiques capturés au spray-catch et par la technique de la capture sur appât humain. Cinq genres de moustiques ont été rencontrés au cours de l'étude : *Anopheles sp.*, *Culex sp.*, *Aedes sp.*, *Mansonia sp.*, et une espèce non identifiée. En rapport avec la composition de la faune culicidienne, les anophèles en représentaient 2,5% contre 97,1% de *Culex sp.* Les spécimens d'anophèles capturés ont été analysés par PCR. Il en résulte la présence d'*An. gambiae s.l* composé d'*An. gambiae ss* avec les formes chromosomiques Savane (S) et Mopti (M), et *An. arabiensis* (Tableau 2). Nous avons présenté dans le Tableau 2 la répartition des formes chromosomiques en fonction des zones dans les différentes communes du district de Bamako. Il ressort de l'analyse du tableau qu'*An. arabiensis* était présente dans les 6 communes du district. Trois formes mixtes (A, S, M) étaient observées dans les CII et CV. La forme A était la seule rencontrée en CIII. Nous avons présenté sur la Figure 2 la distribution spatiale des *Culicidae* dans le district au cours des trois passages. Il en ressort que la proportion des *Culex* était supérieure à 90% dans toutes les zones d'étude. *An. gambiae s.l* a été observée partout avec des pourcentages variant entre 0,01 à 0,4% par zone. Les *Aedes* étaient présents dans 15 zones sur 30 enquêtées avec des fréquences inférieures à 1%. Le seul spécimen de *Mansonia* a été rencontré dans la zone 0 en CI. La variation temporelle de la fréquence des moustiques capturés sur appât humain par espèce est donnée par le Tableau 3. L'analyse du Tableau 3 montrait qu'*Anophèles arabiensis* était plus fréquente en 2011. Quant à *An. gambiae s.l* la forme chromosomique A était plus fréquente en 2011 alors que la forme S et la forme C étaient plus faibles qu'en 2012. Le Tableau 4 résume le taux d'agressivité d'*An. gambiae s.l* capturé sur appât humain au cours des trois passages. Il en ressort que le taux

moyen d'agressivité était de 2,4 piqûres par homme et par nuit. Il variait de 0,1p/h/n dans la zone 0 en CI à 5,8p/h/n dans la zone 10 en CV. L'agressivité de cette espèce était plus intense au mois d'août et plus faible en octobre 2012. Le taux d'infection d'*An. gambiae s.l* était de 1,3% (3/234) à l'ELISA. Les anophèles infectés étaient tous capturés en août et dans les zones 10 et 12 en CV, puis dans les zones 16 en CII (Figure 3).

Données parasitologiques

Au total, 2294 personnes ont participé à l'étude dont 1527 enfants (6-14 ans) et 778 adultes (≥ 15 ans) (Figure 4). La commune IV a fourni le plus grand échantillon (n=535), alors que la CI en comptait le plus faible (n=180). La prévalence microscopique de *P. falciparum* était de 8,3% (190/2294). Celle-ci variait significativement d'une zone à l'autre, passant de 25,6% dans la zone 26 en CV à 0% dans les zones 4 et 11 en CII, 17 en CIII, 25 en CVI et 28 en CIV. Des volontaires infectés ont été diagnostiqués dans 83,3% (25/30) des zones enquêtées. La prévalence de *P. malariae* était de 0,4% (9/2294). Le parasite a été retrouvé dans les zones 12 et 26 en CV et dans la zone 29 en CIII. Nous avons présenté sur la Figure 5, la prévalence des deux espèces plasmodiales observées au cours de l'étude en fonction des communes. Il ressortait de cette Figure 5 que la prévalence de l'infection à *P. falciparum* (espèce la plus fréquente) était significativement plus élevée en CIII (13,9%) et plus faible en CIV (4,7%), ($p < 0,0001$). La distribution de l'infection en fonction des classes d'âge montre que celle-ci était comparable entre les adultes, 8,4% (19/1527) et les enfants, 7,9% (61/767), ($p = 0,68$). L'examen de la Figure 3 relative à la distribution spatiale des prévalences de *P. falciparum*, *P. malariae* et le taux d'infection d'*An. gambiae s.l* à l'ELISA au cours des trois passages montrait un chevauchement entre l'aire de répartition des moustiques infectés (*An. gambiae s.l*) et celle des sujets humains

porteurs de trophozoïtes de *P. falciparum*. De l'analyse du Tableau 5, il ressortait que le niveau de nuisance était inversement proportionnel à l'infection dans les zones 0, 8 et 10 notamment au mois d'août. L'indice gamétocytaire (IG) était de 0,4% (9/2294). Des sujets porteurs de gamétocytes ont été observés en CI et III (0,1%), en CIV et CVI (0,7%).

Données cliniques

L'indice splénique (IS) était de 0,3% (6/2115). Les cas de splénomégalie ont été observés en CIV (n=2) et en CV (n=4). La prévalence de la fièvre enregistrée au cours de l'étude était de 9,9% (226/2281). Elle était comparable quel que soit le groupe d'âge (p=0,25). Quant à la fièvre déclarée 15 jours avant le début de l'étude, sa prévalence était significativement plus élevée chez les adultes, p=0,01 (Tableau 6).

Tableau 1 : Composition de la faune culicidienne capturée dans le district de Bamako en octobre 2011, août et octobre 2012.

Moustiques Techniques	N	<i>An. gambiae s.l</i> n (%)	<i>Culex</i> n (%)	<i>Aedes</i> n (%)	<i>Mansonia</i> n (%)	Autre n (%)
	Spray-catch	9843	290 (2,9)	9522 (96,7)	30 (0,3)	1 (0,01)
CSH*	5237	85 (1,6)	5121 (97,8)	30 (0,6)	0 (0,0)	1 (0,01)
Total	15080	375 (2,5)	14643 (97,1)	60 (0,4)	1 (0,00)	1 (0,00)

*CSH : Capture sur appât humain

Tableau 2 : Répartition des formes chromosomiques d'*An. gambiae s.l* par commune et par zone dans le district de Bamako.

Communes	Zones	Formes chromosomiques de <u><i>An. gambiae s.l</i></u>
CI	0, 2, 5	A, S
CII	1,4, 11, 15, 16, 27	A, S, M
CIII	3, 17, 24, 29	A
CIV	8, 18, 20, 22, 23, 28	A, S
CV	7, 9,10, 12, 13, 19, 25, 26	A, S, M
CVI	6, 14, 21	A, S
Total	30	A, S, M

C = Commune ; Formes chromosomiques : A = Arabiensis ; S = Savane ; M = Mopti.

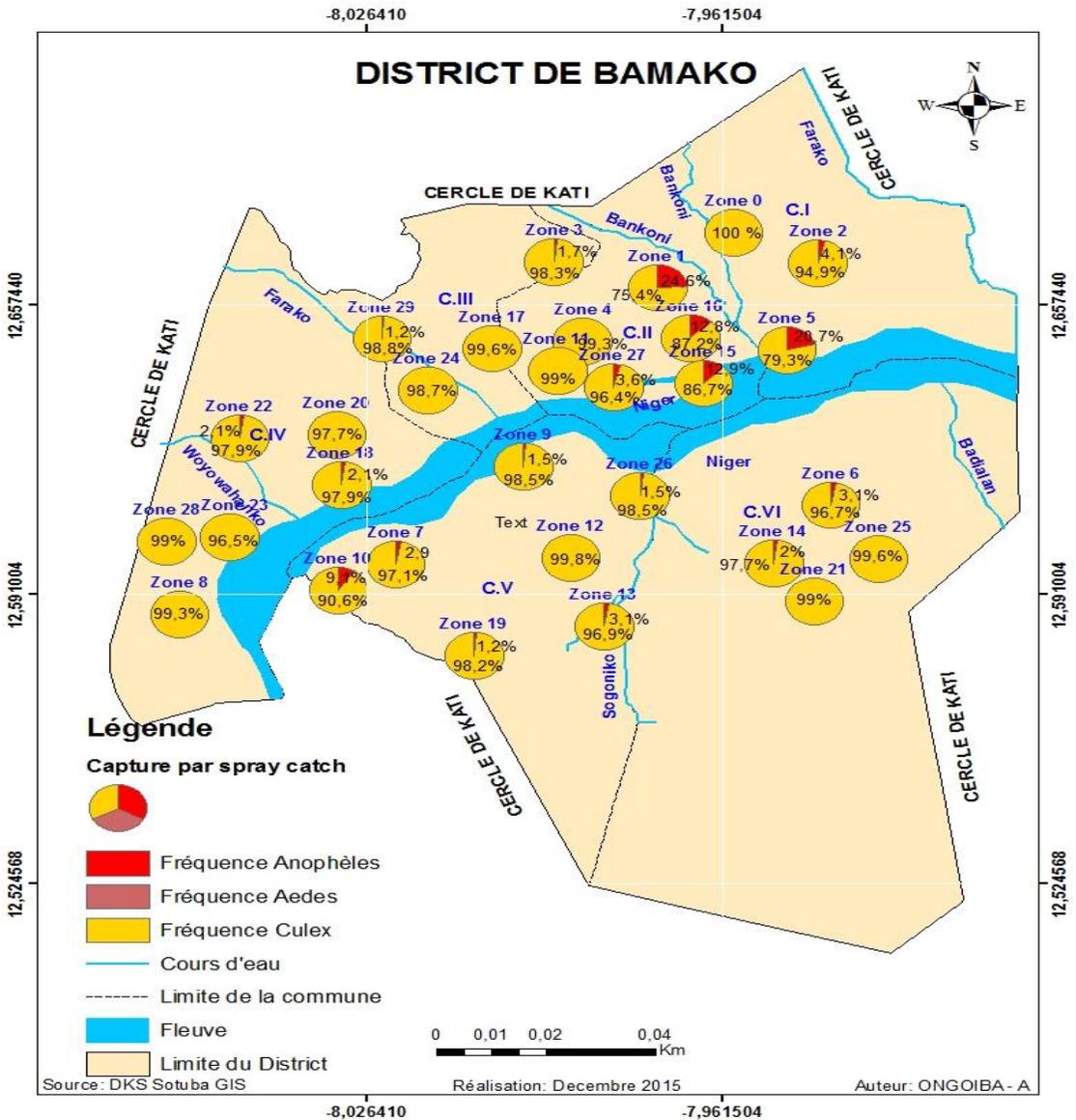


Figure 2 : Distribution de la fréquence moyenne des *Culicidae* capturés au cours des trois passages (octobre 2011, août 2012 et octobre 2012 dans les trente zones enquêtées du district de Bamako.

Tableau 3 : Variation de la fréquence des moustiques capturés sur appât humain par passage selon les espèces dans le district de Bamako.

Passages	Octobre 2011		Août 2012		Octobre 2012	
	N	n (%)	N	n (%)	N	n (%)
Total	1556		2076		1605	
<i>An. gambiae s.l</i>	37 (2,4)		41(2,0)		7 (0,4)	85 (1,6)

L'An. gambiae s.l est sub-divisé en *An gambiae* senso.structo (dont les formes chromosomiques A, S, C retrouvées dans notre étude à Bamako) et *An. funestus*.

Tableau 4 : Variation spatiale du taux d’agressivité (m.a) d’*Anophèles gambiae s.l* capturée sur appât humain dans le district de Bamako.

Passages	Octobre 2011	Août 2012	Octobre 2012	Taux ma moyen
Zones N°	n*	n*	n*	n*
0	0,0	0,3	0,0	0,1
8	1,0	2,5	0,0	1,2
10	8,3	7,5	1,8	5,8
Total	3,1	3,4	0,6	2,4

N°= Numéro ; n*= Nombre de piqûres/homme/nuit.

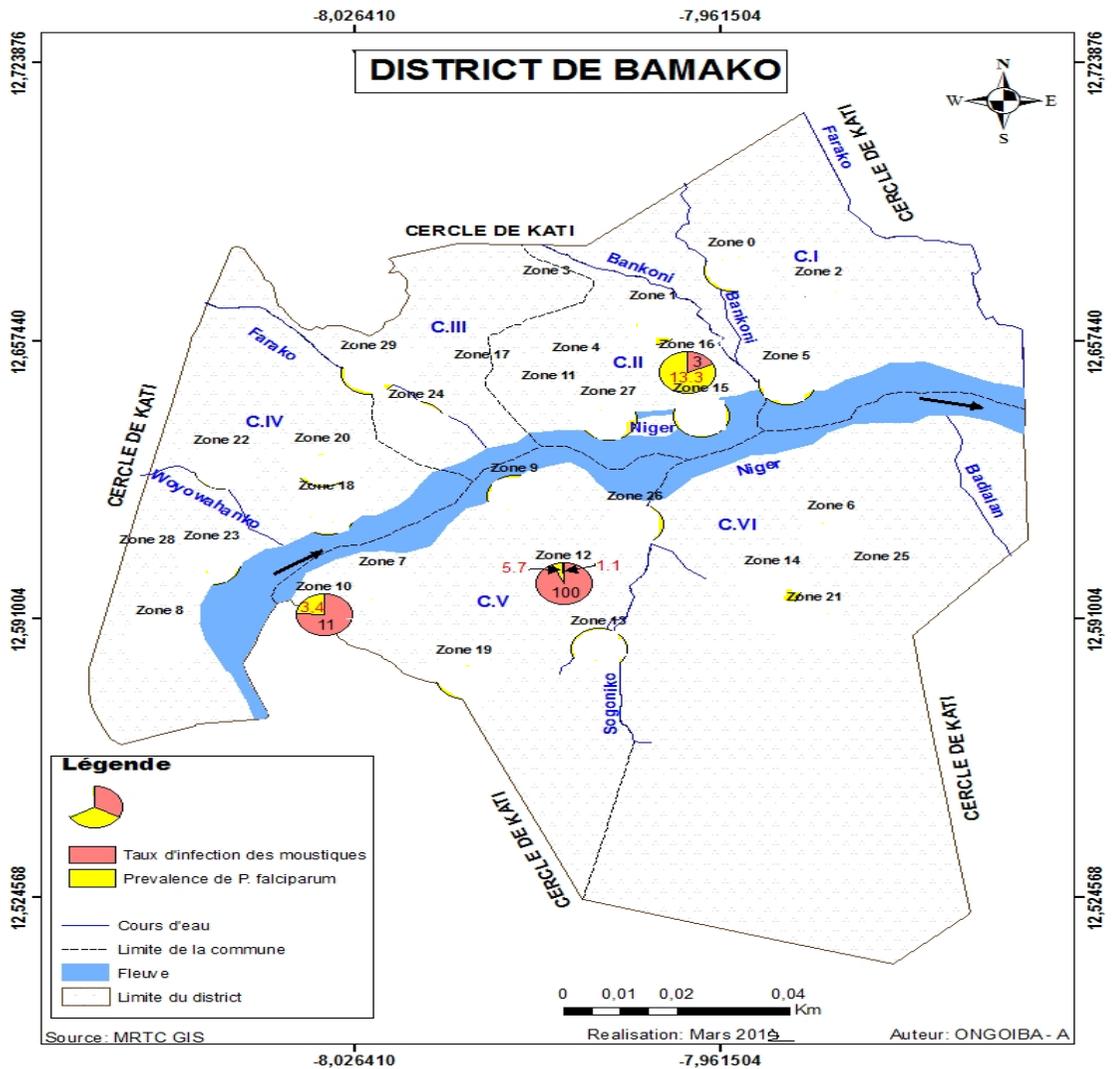


Figure 3 : Taux d’infection d’*An. gambiae s.l* capturée sur appât humain par ELISA à Bamako.

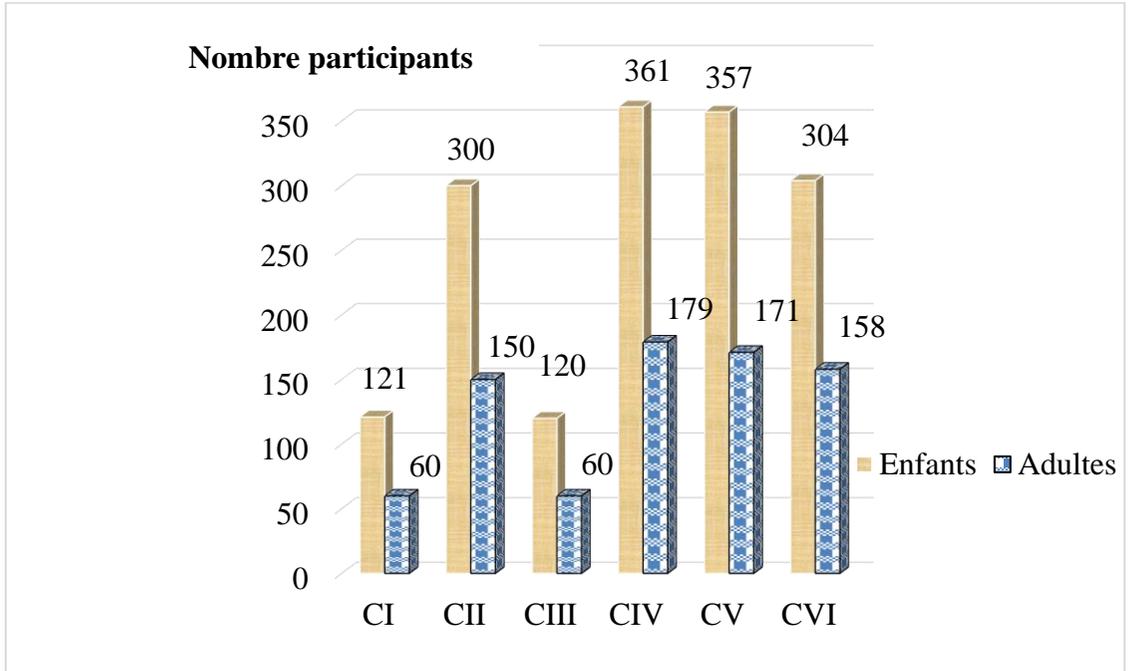


Figure 4 : Répartition des participants par commune et par groupe d'âge dans le district de Bamako en octobre 2011, août et octobre 2012.

(%)

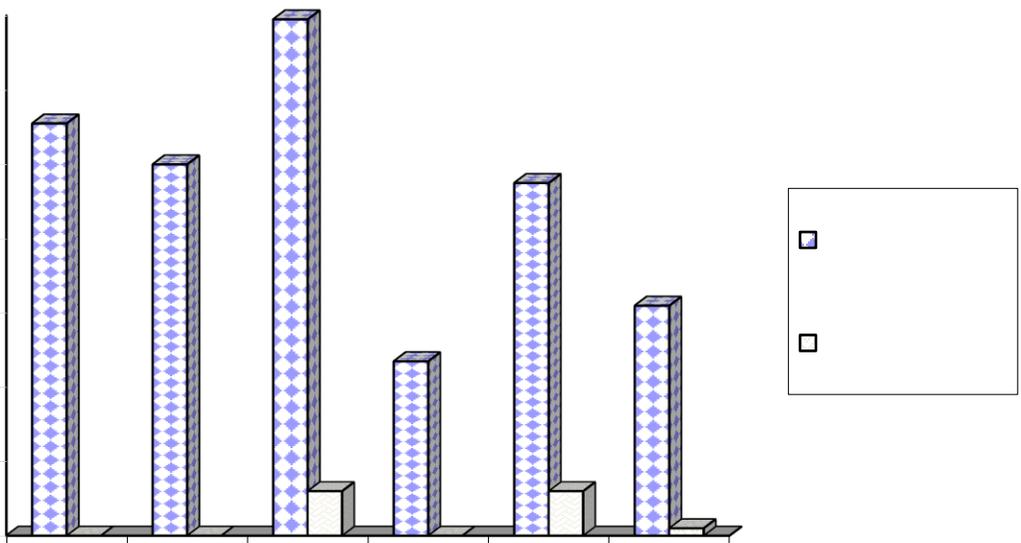


Figure 5 : Prévalence de *P. falciparum* et de *P. malariae* estimée en microscopie par goutte épaisse en fonction des communes du district de Bamako en octobre 2011 (C=commune).

Tableau 5 : Variation de l'indice plasmodique (IP) en fonction de l'agressivité dans les zones de capture sur appât humain dans le district de Bamako.

Paramètres de la transmission	Nombre individus	Positifs	IP	Agressivité
Numéro de la Zone				
0	89	7	7,9	0,1
8	90	4	4,4	1,2
10	89	3	3,4	5,8

IP = indice plasmodique

Tableau 6 : Répartition des sujets fébriles déclarés au cours des 15 derniers jours qui ont précédé l'enquête.

Age groupe	Fièvre	Nombre examiné	Présence	Prévalence (%)	p-value
Enfants		1519	161	10,6	
Adultes		761	125	16,4	0,01
Total		2280	286	12,5	

DISCUSSION

L'étude de la distribution spatio-temporelle de l'agressivité des anophèles et celle de l'infection microscopique de *Plasmodium* détectée par goutte épaisse dans le district de Bamako revêtaient un double intérêt par son apport dans les composantes du plan stratégique de lutte contre le paludisme au Mali. Le risque de plus en plus élevé d'épidémies de paludisme en milieu urbain en Afrique serait la conséquence d'une évolution de l'épidémiologie de la maladie sous l'emprise de l'urbanisation effrénée et

anarchique des villes africaines. La persistance du paludisme malgré les conditions particulières suppose l'existence de foyers autochtones de transmission du paludisme pouvant se faire par exemple par l'adaptation des vecteurs à des milieux inhabituels (Keating et al., 2004).

La période couverte par l'étude parasitologique s'étant limité à un seul passage constituait un point faible de notre étude. La meilleure représentativité temporelle, à défaut d'un passage mensuel, aurait été de répéter aussi l'enquête parasitologique durant les 3

passages couvrant les trois principales saisons climatiques du pays. La ville de Bamako à l'image de toutes les grandes villes d'Afrique a connu des modifications profondes tant sur le plan démographique, comportemental, qu'écologique et infrastructurel à cause de l'urbanisation galopante (Fofana, 2010). La présente étude a couvert l'ensemble de la ville de Bamako et ses environs grâce à l'exploitation des images de satellite. Ces images s'appuyaient sur les contrastes éco-climatiques (hydrographie, végétation, relief) et anthropogéniques (tas d'ordures, type de maisons) du district de Bamako qui pourraient agir sur la distribution des moustiques.

Quatre genres de *Culicidae* ont été capturés au cours de notre étude (*Anopheles*, *Culex*, *Aedes* et *Mansonia*). Le genre *Anopheles*, et plus spécifiquement *An. gambiae s.l.* représentait 3%. Des résultats similaires ont été enregistrés à Dakar en 2009 et 2010 où les *Culex* prédominaient alors que les *Anopheles* représentaient moins de 10% des moustiques capturés (Trape et al., 2002). A l'image de Bamako, de nombreuses villes africaines offrent la même structuration de la faune culicidienne avec la prédominance des *Culex*. A Niété au Cameroun, pendant que les *Culex* dominaient la faune culicidienne en saison pluvieuse (79,6%), les anopheles étaient plus abondants pendant la saison sèche (61,9%) (Bigoga et al., 2012). Au Burkina Faso, *Anopheles* était apparue dans une faible proportion à Koeni et Dioulassoba avec respectivement (35,6% et 27%) et la grande majorité des moustiques capturés appartenaient au genre *Culex quinquefasciatus*, soit 64,3% des espèces (Dabiré et al., 2012). Quoi qu'il en soit, la prolifération de *Culex* en milieu urbain s'expliquerait par le fait que l'écosystème urbain offre en général à *An. gambiae s.l.* des conditions défavorables de reproduction.

An. gambiae s.l. était composée d'*An. gambiae s.s.* (formes S et M) et d'*An. arabiensis* (A). La présence d'*An. arabiensis* dans toutes les communes de Bamako s'expliquerait probablement par la capacité d'adaptation de cette espèce aux biotopes particuliers du milieu urbain. Dans le nord du Bénin à Azèrèkè où la transmission a lieu de juin à octobre pendant la

saison des pluies, *An. gambiae s.s.* dominait avec 98% des espèces contre 2% d'*An. arabiensis* (Yadouléon et al., 2010). A Dakar, sur 496 spécimens testés à la PCR, la population du complexe *An. gambiae* était composée d'*An. arabiensis* (94.8%) and d'*An. melas* (5.2%) (Machault et al., 2009). La prédominance des membres d'*An. gambiae s.s.* semblait la règle également au Kenya (Kilama et al., 2014). Trois formes d'*An. gambiae* (A, S et M) ont été retrouvées en CII et V de Bamako ainsi bien les anophèles testées positives au *Plasmodium*. Des résultats similaires ont été observés au Ghana en 2007 (Yawson et al., 2007).

En revanche, l'anthropisation du milieu urbain, le manque d'écoulement des eaux usées, la multiplicité des fosses septiques et les puisards mal entretenus constituaient autant de biotopes hautement productifs pour *Culex* sp. La présence des anophèles dans les biotopes serait surtout liée à certaines pratiques comme le maraichage au cours duquel des puits non protégés favorables à leur développement sont creusés. Dans certains cas, les gîtes étaient plutôt représentés par les piscines abandonnées.

L'agressivité globale des *Culicidae* sur appât humain était de 145,47 piqûres/homme/nuit. Les taux étaient plus élevés en août, à cause probablement de la forte quantité des pluies qui tombaient en cette période occasionnant la formation de nombreux gîtes larvaires. Cette agressivité était liée avant tout aux *Culex* dont les fréquences étaient supérieures à 95%. La présence des collections d'eau polluées (latrines ouvertes, fosses septiques ouvertes, absence de caniveaux pour l'écoulement des eaux usées), la présence d'une végétation souvent dense sont autant de facteurs favorables à la prolifération des gîtes de *Culex* en milieu urbain (Awolola et al., 2007). L'agressivité élevée en novembre-décembre (fin de la saison des pluies) supposerait que la présence des gîtes ne serait uniquement liée qu'à l'hivernage mais que de nombreuses collections d'eau artificielles existaient aussi en cette période. A ces facteurs écologiques et anthropogéniques s'ajoutaient les types de maison dont certains

sont construits en banco, offrant ainsi des lieux de repos aux moustiques. De tels types de maisons se rencontraient notamment dans les vieux quartiers de la commune III de Bamako. Quant à *An. gambiae s.l.*, son agressivité (3,42 piqûres/homme/nuite) était proportionnelle à leur fréquence relativement faible; mais quel que soit le niveau d'agressivité des anophèles, la présence d'*An. gambiae* conjuguée à la circulation des parasites parmi la population humaine constituerait un risque d'infection des populations par les plasmodies.

L'agressivité d'*An. gambiae s.l.* était plus élevée en zone 10, alors que celle des culex en zone zero. Dans la zone 10, les *An. gambiae s.l.* ont été capturées à l'intérieur des concessions inachevées. Il s'agissait en effet d'une zone en extension avec de nombreuses concessions en chantier et moins peuplées, de telles zones étaient aussi moins polluées que les zones situées à l'intérieur des vieux quartiers. En commune III (CIII), la présence des anophèles était surtout liée à la présence de piscines abandonnées et non entretenues dans le centre-ville. Des résultats similaires ont été observés à Dakar où le taux d'agressivité variait de 0,1 à 43,7 piqûre/personne/nuite à Yoff Village dans les Almadies en milieu urbain (Gadiaga et al., 2011). De nombreuses études ont montré que les gîtes larvaires naturels d'anophèles étaient en majorité des collections d'eau permanentes, ensoleillées s'étendant sur des surfaces de moins de 10 mètres ou plus (Matthys et al., 2010 ; Antonio-Nkondjio et al., 2011). L'*An. arabiensis* a été retrouvée dans toutes les six communes de Bamako. Cependant, des études récentes réalisées au Burkina Faso ont montré qu'*An. gambiae s.s.* et *An. arabiensis* pouvaient s'adapter à des milieux pollués en zones urbaine (Dabiré-Roch-K et al, 2012). Au cours de ces dernières années, des espèces de larves d'*An. gambiae s.l.* ont été retrouvées dans des sources d'eau polluées en Côte d'Ivoire (Matthys et al., 2006b, 2006a) et au Cameroun (Antonio-Nkondjio et al., 2011), mais aussi dans de petites collections contenues dans des boîtes à Accra au Ghana (Klinkenberg et al., 2008). De tels résultats suggèrent que la pollution et l'urbanisation ne sont pas des

facteurs aussi militants du développement des vecteurs du paludisme dans les villes africaines qu'on pourrait le croire ; aussi le paludisme urbain pourrait revêtir davantage de l'importance dans les années à venir. Dans la zone 0 au contraire, les fortes densités de *Culex* étaient observées dans le quartier de Bakaribougou, un vieux quartier non loti où les eaux de pluies stagnaient à l'intérieur des concessions dont les habitats étaient majoritairement construits en banco ou en huttes.

La prévalence de portage de la protéine circumsporozoïtique était de 1,3% chez le vecteur. Tous les moustiques infectés ont été capturés au mois d'août dans trois zones dont deux en CV. Ce taux était comparable à celui observé dans trois zones péri-urbaines du Bénin où la prévalence était de 1,6% (Yadouléon et al., 2010). Le TIE moyen (h) était de 0,031pi/h/n, soit 0,93pi/h/mois. Des taux similaires ont été également observés dans deux villes du Bénin avec 0,031pi/h/n à Houeyiho et 0,041pi/h/n à Azèrèkè, dans des concessions situées loin des collections d'eau. En revanche, des taux significativement supérieurs de 0,28pi/h/n à Houeyiho et 0,15pi/h/n à Azèrèkè ont été aussi observés mais à proximité des points d'eau selon les mêmes auteurs. Au Kenya, l'évaluation entomologique du potentiel de transmission du paludisme dans trois sites de niveau de transmission différente a montré que l'IAS était nul en zone péri-urbaine, alors qu'il variait de 0,35% à 2,5% respectivement en zones de transmission modérée et forte (Kilama et al., 2014). A Dakar, un indice d'antigène sporozoïtique de 0,64% donc supérieur au nôtre a été observé pour *P. falciparum* (Machault et al., 2009).

Sur le plan épidémiologique, le paludisme urbain se caractérisait généralement par une faible intensité de transmission, l'absence d'immunité dans la population et une forte létalité quel que soit le groupe d'âge (Gadiaga et al., 2011). En milieu urbain, l'augmentation de la densité de la population et le retard dans l'acquisition de l'immunité se traduisaient par un risque élevé de flambées épidémiques et d'exposition des adultes

notamment au paludisme grave fortement létal. Une étude réalisée dans une population des femmes enceintes a montré que les prévalences de l'infection maternelle, placentaire et du cordon ombilical étaient respectivement de 2,4%; 1,6% et 0,5 % (Famanta et al., 2011). Dans le service de pédiatrie du CHU Gabriel Touré, le paludisme est apparu comme la pathologie la plus fréquente (44,9%) (Diabaté, 2004; Sidibe et al., 2008). En somme, toutes ces données relevaient du milieu hospitalier, et ne renseignaient ni sur les paramètres de transmission ni sur l'ampleur de la maladie dans la population générale, d'où l'intérêt de la présente étude. Contrairement aux taux élevés enregistrés dans les hôpitaux du district, nous avons plutôt observé une prévalence de 8,5% de paludisme dans la population générale au cours de notre étude. Celle-ci était comparable quel que soit le groupe d'âge (enfants et adultes) à cause probablement de la faible immunité acquise développée par les adultes en milieu urbain. Les taux, les plus élevés ont été observés en CIII (27%) et en CV (26%) en zone périurbaine. Les plus faibles taux ont été observés dans des zones situées aussi bien à la périphérie de la ville (0% en CII et CV). Autrement, la répartition de l'infection même à l'échelle micro-géographique comme la ville pouvait varier d'un point (commune, quartier) à l'autre. A Ouagadougou (Burkina Faso) par exemple, le taux de prévalence de *P. falciparum* était de 24,1% au centre-ville, 38,6% aux alentours en zone périurbaine et 68,7% dans les zones rurales environnantes (Wang et al., 2005). Ceci était largement dû au fait que les villes africaines tendaient à croître vers l'extérieur sur des périmètres relativement peu développés, avec peu de services (Byrne, 2007). Les populations migrantes originaires des zones rurales tendaient à conserver leurs modes de vie rurale en créant de multiples gîtes favorables au développement des vecteurs (Fournet et al., 2010). Cependant, comme nous l'avons observé au cours de notre étude, cette tendance de l'infection, c'était aggravé au fur et à mesure que l'on s'écartait du centre-ville n'était pas la règle. Cela s'expliquait par la pratique de l'agriculture urbaine dans la zone intermédiaire et la présence d'une lagune salée

à la périphérie moins favorable au développement des vecteurs du paludisme (Yadouléon et al., 2010). Bien qu'en faible nombre (0,4%), des porteurs de gaméocytes ont été observés dans notre étude. Les communes à risque de transmission du paludisme étaient les CI, III, IV et VI. Cet indice est d'autant plus élevé que l'on s'éloignait des centres urbains.

Il était apparu dans notre étude que le niveau élevé du taux d'agressivité d'*An. gambiae s.l* ne reflétait pas celui de l'infection plasmodiale dans la population des trois zones concernées (zones 0, 8 et 10) notamment au mois d'août où les spécimens ont été capturés. Autrement dit, la pullulation d'*An. gambiae s.l* au mois d'août n'était pas synonyme d'un risque élevé de transmission du paludisme malgré une forte circulation du parasite dans la population surtout dans les zones 0, 8 et 10. La grande mobilité des populations à l'intérieur du district pourrait avoir une relation entre le niveau de l'infection et celui de l'agressivité qui contribuait au passage du parasite du vecteur à l'homme. Un phénomène comparable a déjà été observé dans la zone de riziculture irriguée de l'Office du Niger au Mali où la densité élevée (donc l'agressivité) des moustiques était corrélée à un faible indice sporozoïtique qui dépendait fortement de l'indice plasmodique dans la population (Dolo et al., 2004). Dans le nord de la Tanzanie, en dépit de la densité élevée d'*An. arabiensis* en zone de riziculture irriguée, le risque d'infection par le paludisme basé sur le TIE indique que l'exposition aux vecteurs infectés était de 61 à 68% moins chez les personnes vivant dans les villages en zone de riziculture à cause d'un faible indice sporozoïtique (Ijumba et al., 2002) d'*A. arabiensis*. Dans ces différents cas également, densité et risque de transmission ne semblaient pas varier dans le même sens comme ce fut le cas de notre étude.

Conclusion

Les résultats de cette étude montraient qu'il existait quatre genres de moustiques (*Culex*, *Anopheles*, *Aedes* et *Mansonia*) dont l'*An. arabiensis* a été observée dans toutes les communes et les *Culex* largement majoritaires

à Bamako. La fréquence et les taux d'agressivité des *Culicidae* étaient plus élevés en août moins associé à un risque d'exposition élevé aux piqûres infestantes d'*An. gambiae s.l.* *Plasmodium falciparum* et *P. malariae* étaient les deux espèces de plasmodies décrites au cours de cette étude. La distribution de l'infection du vecteur et celle de l'infection parasitaire sont en faveur de l'existence de foyers de transmission autochtone du paludisme à Bamako. Toutefois, la transmission était essentiellement focalisée aux zones d'extension de la ville mettant en cause l'urbanisation dans l'épidémiologie du paludisme. Il ressort de cette étude, d'une part une grande hétérogénéité spatiale et temporelle des paramètres entomologiques et parasitologiques, et d'autre part que le niveau de nuisance était inversement proportionnel à celui de l'infection et *vice versa* notamment dans les zones 0, 8 et 10. Ces résultats appellent à l'utilisation d'actions de contrôles ciblées (pulvérisation intradomiciliaire et utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticide) dans les zones à risque identifiées pour un meilleur contrôle de l'endémie palustre à Bamako.

CONFLIT D'INTERETS

Aucun cas de conflit d'intérêts n'a été signalé par les auteurs.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AT a participé à la conception, la collecte et à l'écriture du premier draft. IS, JG, OT et AG ont participé à la conception de l'étude, l'analyse des données et la relecture du manuscrit. SN, SK, MD, DD, MD, AA, AD, GD, BS, BT, KK, MD et AK ont participé à la collecte des données et à la relecture du manuscrit. HM a participé à la lecture critique du manuscrit et sa mise en forme pour le journal. VM, AD, OGB, AAD et AD ont participé la conception de l'étude et la relecture du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les populations des communes du district de Bamako, les relais communautaires et les DTCs pour la participation à cette étude. Nous remercions

également les chefs coutumiers, toutes les autorités sanitaires, administratives et politiques du district sanitaire de Bamako, le Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) et le Malaria Research and Training Center (MRTC) de l'USTTB pour leur accompagnement.

REFERENCES

- Antonio-Nkondjio C, Fossog BT, Ndo C, Djantio BM, Togouet SZ, Awono-Ambene P, Costantini C, Wondji CS, Ranson H. 2011. Anopheles gambiae distribution and insecticide resistance in the cities of Douala and Yaoundé (Cameroon): influence of urban agriculture and pollution. *Malar. J.*, **10** : 154. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-154>
- Awolola TS, Oduola AO, Obansa JB, Chukwura NJ, Unyimadu JP. 2007. Anopheles gambiae ss breeding in polluted water bodies in urban Lagos, southwestern Nigeria. *J. Vector Borne Dis.*, **44** : 241
- Bigoga JD, Nanfack FM, Awono-Ambene PH, Patchoké S, Atangana J, Otia VS, Fondjo E, Moyou RS, Leke RG. 2012. Seasonal prevalence of malaria vectors and entomological inoculation rates in the rubber cultivated area of Niéte, South Region of Cameroon. *Parasit. Vectors*, **5**: 197. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-197>
- Byrne N. 2007. Urban malaria risk in sub-Saharan Africa: where is the evidence? *Travel Med. Infect. Dis.*, **5**: 135–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2006.04.003>
- Cissoko M, Magassa M, Sanogo V, Ouologuem A, Sangaré L, Diarra M, Bationo CS, Dolo M, Bah MD, Doumbia S. 2022. Stratification at the health district level for targeting malaria control interventions in Mali. *Sci. Rep.*, **12** : 8271. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11974-3>
- Dabiré RK, Namountougou M, Sawadogo SP, Yaro LB, Toé HK, Ouari A, Gouagna LC, Simard F, Chandre F, Baldet T, Bass C,

- Diabaté A. 2012. Population dynamics of *Anopheles gambiae* s.l. in Bobo-Dioulasso city: bionomics, infection rate and susceptibility to insecticides. *Parasit. Vectors*, **5**: 127. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-127>
- de Gentile L, Geneviève F. 2000. Le paludisme d'importation: diagnostic au laboratoire. *Rev. Fr. Lab.*, **2000**: 25–29
- Delaunay P, Estran-Pomares C, Marty P. 2008. Diagnostic du paludisme: frottis sanguin, goutte épaisse et tests antigéniques. *Médecine Mal. Infect.* S121–S123. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0399-077x\(08\)73052-x](https://doi.org/10.1016/s0399-077x(08)73052-x)
- Diabaté K. 2004. Fréquence et modalités de prise en charge du paludisme grave et compliqué (intérêt de l'Optimal IT dans le diagnostic du paludisme) en Unité de soins intensifs de l'hôpital du Point G (Thesis). Université de Bamako.
- Dicko A, Sagara I, Sissoko MS, Guindo O, Diallo AI, Kone M, Toure OB, Sacko M, Doumbo OK, 2008. Impact of intermittent preventive treatment with sulphadoxine-pyrimethamine targeting the transmission season on the incidence of clinical malaria in children in Mali. *Malar. J.*, **7**: 123. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-7-123>
- Dolo G, Briët OJ, Dao A, Traoré SF, Bouaré M, Sogoba N, Niaré O, Bagayogo M, Sangaré D, Teuscher T. 2004. Malaria transmission in relation to rice cultivation in the irrigated Sahel of Mali. *Acta Trop.*, **89**: 147–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2003.10.014>
- Famanta A, Diakite M, Diawara SI, Diakité SA, Doumbia S, Traoré K, Konaté DS, Doumbia M, Keita AS, Thiéro D. 2011. Prevalence of maternal and placental malaria and of neonatal low birth weight in a semi-urban area of Bamako (Mali). *Cah. Détudes Rech. Francoph.*, **21** : 3–7. DOI: <https://doi.org/10.1684/san.2011.0234>
- Fofana I. 2010. L'utilisation de téléphone mobile et dynamique des acteurs dans l'espace urbain de Bamako. Univ. Gaston Berg. St.-Louis Sénégal-Master II.
- Fournet F, Cussac M, Ouari A, Meyer PE, Toé HK, Gouagna LC, Dabiré RK. 2010. Diversity in anopheline larval habitats and adult composition during the dry and wet seasons in Ouagadougou (Burkina Faso). *Malar. J.*, **9**: 78. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-9-78>
- Gadiaga L, Machault V, Pagès F, Gaye A, Jarjaval F, Godefroy L, Cissé B, Lacaux JP, Sokhna C, Trape JF, Rogier C. 2011. Conditions of malaria transmission in Dakar from 2007 to 2010. *Malar. J.*, **10** : 312. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-312>
- Ijumba JN, Mosha FW, Lindsay S.W. 2002. Malaria transmission risk variations derived from different agricultural practices in an irrigated area of northern Tanzania. *Med. Vet. Entomol.*, **16** : 28–38. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0269-283x.2002.00337.x>
- Katile A, Sagara I, Cissoko M, Bationo CS, Dolo M, Thera I, Traore S, Kone M, Dembele P, Bocoum D. 2022. Spatio-Temporal Variability of Malaria Incidence in the Health District of Kati, Mali, 2015–2019. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **19**: 14361. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192114361>
- Keating J, Macintyre K, Mbogo CM, Githure JI, Beier JC. 2004. Characterization of potential larval habitats for *Anopheles* mosquitoes in relation to urban land-use in Malindi, Kenya. *Int. J. Health Geogr.*, **3**: 9. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-9>
- Kilama M, Smith DL, Hutchinson R, Kigozi R, Yeka A, Lavoy G, Kanya MR, Staedke SG, Donnelly MJ, Drakeley C, Greenhouse B, Dorsey G, Lindsay SW. 2014. Estimating the annual entomological inoculation rate for *Plasmodium falciparum* transmitted by *Anopheles gambiae* s.l. using three sampling methods in three sites in Uganda. *Malar. J.*, **13**: 111. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-111>
- Klinkenberg E, McCall P, Wilson MD, Amerasinghe FP, Donnelly MJ. 2008. Impact of urban agriculture on malaria

- vectors in Accra, Ghana. *Malar. J.*, **7**: 151. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-7-151>
- Machault V, Gadiaga L, Vignolles C, Jarjaval F, Bouzid S, Sokhna C, Lacaux JP, Trape JF, Rogier C, Pagès F. 2009. Highly focused anopheline breeding sites and malaria transmission in Dakar. *Malar. J.*, **8**: 138. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-8-138>
- Machault V, Vignolles C, Pagès F, Gadiaga L, Gaye A, Sokhna C, Trape JF, Lacaux JP, Rogier C. 2010. Spatial heterogeneity and temporal evolution of malaria transmission risk in Dakar, Senegal, according to remotely sensed environmental data. *Malar. J.*, **9** : 252. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-9-252>
- Matthys B, Koudou BG, N'Goran EK, Vounatsou P, Gosoni L, Koné M, Gissé G, Utzinger J. 2010. Spatial dispersion and characterisation of mosquito breeding habitats in urban vegetable-production areas of Abidjan, Côte d'Ivoire. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **104** : 649–666. DOI: <https://doi.org/10.1179/136485910X12851868780108>
- Matthys B, N'Goran EK, Koné M, Koudou BG, Vounatsou P, Cissé G, Tschannen AB, Tanner M, Utzinger J. 2006a. Urban agricultural land use and characterization of mosquito larval habitats in a medium-sized town of Cote d'Ivoire. *J. Vector Ecol.*, **31**: 319–333. DOI: [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2006\)31\[319:ualuac\]2.0.co;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2006)31[319:ualuac]2.0.co;2)
- Matthys B, Vounatsou P, Raso G, Tschannen AB, Becket EG, Gosoni L, Cissé G, Tanner M, N'goran EK, Utzinger J. 2006b. Urban farming and malaria risk factors in a medium-sized town in Cote d'Ivoire. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **75** : 1223–1231.
- Omlin FX, Carlson JC, Ogbunugafor CB, Hassanali A. 2007. *Anopheles gambiae* exploits the treehole ecosystem in western Kenya: a new urban malaria risk? Omumbo JA, Guerra CA, Hay SI, Snow RW. 2005. The influence of urbanisation on measures of Plasmodium falciparum infection prevalence in East Africa. *Acta Trop.*, **93** : 11–21.
- Sharma VP. 2003. *Malaria and poverty in India. Curr. Sci.*, **84**: 513–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2004.08.010>
- Sidibe T, Sangho H, Traore MS, Cissé MB, Togo B, Sy O, Keïta MM. 2008. Morbidity and mortality in the pediatric service at Gabriel Toure's University Hospital in Mali. *Mali Med.*, **23** : 34–37.
- Trape JF, Pison G, Spiegel A, Enel C, Rogier C. 2002. Combating malaria in Africa. *Trends Parasitol.*, **18**: 224–230. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1471-4922\(02\)02249-3](https://doi.org/10.1016/S1471-4922(02)02249-3)
- Wang SJ, Lengeler C, Smith TA, Vounatsou P, Diadie DA, Pritroipa X, Convelbo N, Kientga M, Tanner M. 2005. Rapid urban malaria appraisal (RUMA) I: Epidemiology of urban malaria in Ouagadougou. *Malar. J.*, **4**: 43. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2875-4-43>
- WHO. 2021. *World malaria report 2021*. URL <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2021> (accessed 6.2.24)
- Yadouléon A, N'Guessan R, Allagbé H, Asidi A, Boko M, Osse R, Padonou G, Kindé G, Akogbéto M. 2010. The impact of the expansion of urban vegetable farming on malaria transmission in major cities of Benin. *Parasit. Vectors*, **3**: 118 DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-118>
- Yawson AE, Weetman D, Wilson MD, Donnelly MJ. 2007. Ecological zones rather than molecular forms predict genetic differentiation in the malaria vector *Anopheles gambiae* ss in Ghana. *Genetics*, **175**: 751–761. DOI: <https://doi.org/10.1534/genetics.106.065888>