



Apport de la morphométrie géométrique dans la lutte contre *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1888) sur le couloir de transhumance Ivoiro-Burkinabé

Amenan Claude Aimée DIAHA-KOUAME^{1*}, Tah Yves Nathan TIAN-BI²,
Kouassi Patrick YAO³, Yaba Louise ACHI⁴, Marlène DUPRAZ⁵, Koffi KOUAKOU¹ et
Jean-Pierre DUJARDIN⁶

¹Laboratoire de Biologie de la Reproduction et d'Endocrinologie,
Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.

²Laboratoire de Génétique, Unité de Formation et de Recherche Biosciences,
Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.

³Laboratoire de Zoologie et Biologie Animale URF de Parasitologie et Ecologie Parasitaire,
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

⁴Institut National de la Formation Professionnelle Agricole (INFPA), Ecole de Spécialisation en Elevage et de
Métiers de la Viande de Bingerville (ESEMVB), Côte d'Ivoire.

⁵MIVEGEC UMR 5290 CNRS-IRD-UM, Centre IRD, 911 Avenue Agropolis,
BP 64501, 34394 Montpellier, France.

⁶IRD, UMR IRD-CIRAD INTERTRYP, Campus International de Baillarguet, Montpellier, France.

* Auteur correspondant ; E-mail : kouamediaha@gmail.com; Tel : +225 05 82 10 10

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'UEMOA à travers le Projet d'Appui à l'Enseignement Supérieur dans les pays membres de l'UEMOA (PAES) pour l'appui financier apporté pour la réalisation de cette étude. N° du projet : P- ZI – IAD – 002 N° du don : 2100155007376.

RESUME

Rhipicephalus (Boophilus) microplus est une tique caractérisée par sa résistance à la plupart des acaricides utilisés de nos jours. Les outils pour le choix des stratégies de lutte ou d'éradication permettant l'obtention de résultats durables sont encore peu accessibles. En entomologie et dans de nombreux autres domaines de recherche impliquant des études sur les arthropodes, l'étude de la variation des formes s'est avérée utile pour l'identification des espèces et la caractérisation des populations. Ainsi, dans notre étude, nous avons étudié le niveau de diversité morphologique de *R. (B.) microplus* par deux méthodes, notamment la morphométrie classique (MC) et la morphométrie géométrique (MG) sur des tiques collectées dans dix fermes issues de deux axes du couloir de transhumance Ivoiro-Burkinabé. L'analyse des résultats a montré une hétérogénéité morphologique en fonction de la position géographique des populations étudiées sur ces axes du couloir de transhumance. Les deux méthodes ont montré des résultats similaires mais la morphométrie géométrique s'est présentée comme une approche intéressante car elle permet de visualiser les différences de forme entre groupes ou entre individus. Nous avons ainsi montré dans quelle mesure ces deux approches peuvent aider à comprendre l'épidémiologie, la structuration et la mobilité des populations de tiques à moindre coût et en conséquence, participer à l'amélioration et la durabilité des activités régionales de lutte.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Côte d'Ivoire, diversité morphologique, tique, résistance, morphométrie classique, morphométrie géométrique.

Contribution of geometric morphometry in the control of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1888) on the transhumance corridor between Côte d'Ivoire and Burkina Faso

ABSTRACT

Rhipicephalus (Boophilus) microplus is a tick characterized by its resistance to most acaricides currently used. Selection tools for control or eradication strategies to achieve sustainable results are still poorly accessible. In entomology, as well as in many other research fields involving arthropod studies, the study of shape variation has proven useful for species identification and population characterization. Thus, in our study, we studied the morphological diversity of *R. (B.) microplus* using two methods of morphometry: classical morphometry (MC) and geometric morphometry (MG) on ticks collected in ten farms from two axes of the Ivoire-Burkinabé transhumance corridor. The analysis of the results showed a morphological heterogeneity according to the geographical position of the populations studied on the two axes. Both methods showed similar results but the geometric morphometry presented itself as an interesting approach because it allows to visualize the differences of form between groups or between individuals. We have thus shown to what extent these two approaches can help to understand the epidemiology, the structure and the mobility of tick populations at a lower cost and consequently, to contribute to the improvement and the sustainability of the regional control activities.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Côte d'Ivoire, morphological diversity, tick, resistance, traditional morphometry, geometric morphometrics.

INTRODUCTION

Les tiques représentent l'une des contraintes majeures au développement de l'élevage en Afrique comme partout ailleurs dans le monde (Ogden et al., 2004 ; Touré et al., 2014). Certaines espèces sont spécifiques aux bovins et sont responsables de la transmission de maladies parasitaires, virales et bactériennes pouvant provoquer des paralysies chez ces animaux (Scott et al., 2001). Les tiques sont de ce fait responsables de sérieuses pertes économiques pour les éleveurs (Castro-Janer et al., 2009 ; Yeo et al., 2017).

La méthode de lutte classique utilisée contre les tiques est l'application de molécules acaricides de synthèse dont les carbamates, les amidines et les pyrèthriinoïdes (Mendes et al., 2011). Toutefois, l'utilisation intensive et abusive des produits chimiques a accéléré l'apparition de résistances au sein des populations de tiques, en particulier chez l'espèce *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

(Canestrini, 1888 ; Estrada-Pena et al., 2006). Afin d'éviter une utilisation répétée de ces acaricides pouvant entraîner la pollution de l'environnement et le risque important de retrouver des résidus dans les productions animales donc dans l'alimentation humaine (Chagas et al., 2003 ; Chabi China et al., 2016), de nouvelles méthodes alternatives de lutte efficaces doivent être explorées (Attia et al., 2011). Toutefois, il est parfois compliqué de détecter les populations cibles et d'estimer la taille des populations présentes en milieu d'élevage pour mettre en place des stratégies de lutte efficaces.

Si les marqueurs ADN, tels que les microsatellites peuvent permettre d'obtenir de telles informations, ils sont en revanche onéreux et non accessibles à tous. En revanche, les méthodes de morphométrie se présentent comme une alternative moins coûteuse et plus accessible pour détecter une structuration sur la base de variations morphologiques intra et interspécifiques

(Kaba, 2014). La morphométrie classique (MC) repose sur l'étude de mesures de distances entre des traits (des repères) anatomiques. Seulement, les variables utilisées présentent certains inconvénients comme le fait d'être corrélées à la taille des individus considérés (Perrard, 2012 ; Mitteroecker et al., 2004). Malgré l'intérêt de la morphométrie classique dans la quantification morphologique, cette dernière ignore (malheureusement) une grande partie de l'information relative à la forme des organismes et s'avère rapidement limitée dans la description des formes complexes. La morphométrie géométrique (MG) se présente comme l'étude quantitative de la géométrie des formes, et se base sur l'utilisation de point-repères homologues (PR ou "landmarks"), et la visualisation de leurs différences dans un espace morphologique (Adams et al., 2004). Cette méthode permet de mettre en évidence des variations morphologiques fines qui sont souvent indétectables par les études morphométriques classiques (Villemant et al., 2007 ; Dujardin, 2011). En conséquence, elle peut fournir des informations indirectes d'ordre génétique et environnemental sur les populations naturelles et s'avère très utile dans les études portant sur l'identification des espèces et la caractérisation de populations de différents groupes (Dujardin, 2011). La MG ouvre ainsi des perspectives intéressantes pour l'étude de l'évolution des populations de tiques, notamment dans le contexte de la lutte contre les espèces résistantes aux acaricides.

En Côte d'Ivoire (CI), la transhumance se déroule dans la partie nord faisant frontière avec le Burkina Faso. Au cours de ces déplacements, les animaux infestés de tiques sont échangés entre ces deux pays par deux axes majeurs au sein d'un couloir de transhumance. Ce travail vise ainsi à évaluer la diversité morphologique des populations de *R. (B.) microplus* à l'intérieur de ces deux axes du couloir de transhumance entre la CI et le Burkina au moyen de deux approches : la

morphométrie classique (MC) et la morphométrie géométrique (MG), afin de savoir celle qui apporterait les informations les plus pertinentes pour différencier les populations de *R. (B.) microplus* en fonction de la localisation géographique. Les résultats de cette étude, nous permettront de différencier efficacement les populations de *R. (B.) microplus* en fonction de l'axe de transhumance emprunté et d'obtenir des informations sur la structuration des populations dans le Nord-est de la Côte d'Ivoire.

MATERIEL ET METHODES

Situation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la partie nord-est de la Côte d'Ivoire, comprise entre (08° - 09° N ; 04° - 05° W) (Figure 1). Cette zone a la particularité de recevoir l'essentiel du bétail en provenance du Burkina Faso vers la Côte d'Ivoire à la faveur de la transhumance entre ces deux pays frontaliers. A l'intérieur de ce couloir de transhumance, deux axes sont empruntés : l'un à l'Ouest (axe 1) et l'autre à l'Est (axe 2). Dix (10) fermes distribuées le long de deux axes dans le couloir de transhumance ont servi de zones d'échantillonnage. Il s'agit de : sur l'axe 1 (IO3, IF1, IN4, IN5, IK1) et sur l'axe 2 (IIG3, IIG1, IIG8, IIG10, IID3).

Choix des fermes et échantillonnage des populations de tiques

Les dix (10) fermes (cinq sur chaque axe) ont été choisies en fonction de différents critères, notamment leur position le long des axes, l'effectif des animaux (au moins 20 bovins) et la présence d'infrastructures de soutien à l'élevage (barrages de rétention d'eau, structure d'encadrement d'élevage) dans la localité.

Dans chacune des fermes sélectionnées, 15 bovins ont été retenus et pendant 5 à 7 minutes les tiques ont été récoltées sur chaque animal et conservées dans des pots de 50 ml contenant de l'alcool à

70°. Les coordonnées géographiques des sites de collecte ont été enregistrées à l'aide d'un Global Positioning System (GPS) (Tableau 1) et le numéro attribué au bovin ainsi que la date de récolte ont été mentionnés sur chaque pot.

Méthodes d'étude

Identification morphologique des espèces

Un préalable à l'étude des caractères morphométriques est l'identification morphologique des tiques récoltées. Cette identification a été faite à l'aide de loupe binoculaire de marque OPTIKA au grossissement 10X et 20X, selon les clés d'identifications dichotomiques de Walker et al. (2003) et Meddour-Boudera & Meddour (2006). La diagnose des genres a été basée sur les caractères morphologiques de certaines parties du corps des tiques (rostre, yeux, festons) et celle des espèces sur certains détails morphologiques (ponctuation du scutum, coloration des pattes, forme des stigmates, forme des plaques adanales, caractères des sillons, des festons, des yeux et la dentition). Ainsi, sur l'ensemble des dix fermes, 2 079 tiques ont-elles été identifiées dont 1 721 individus de *R. (B.) microplus*, 309 individus de *Amblyomma variegatum* (Fabricius, 1794), 23 individus de *Hyalomma truncatum* (Koch, 1844), 16 individus de *Hyalomma marginatum rufipes* (Koch, 1844), 6 individus de *Hyalomma impressum* (Koch, 1844), 3 individus de *Rhipicephalus (Boophilus) geigy* (Aeschlimann & Morel, 1965) et 1 individu de *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* (Say, 1821). Pour la présente étude, seule l'espèce *R. (B.) microplus* a été prise en compte pour la suite du travail.

Utilisation de la morphométrie classique

Cette étude a été réalisée sur les mâles car les écarts de variations morphologiques chez les femelles peuvent être très grands en fonction de leur état d'engorgement. En effet, les mâles se retrouvent également sur les bovins mais se

gorgent moins que les femelles. L'étude des caractères morphométriques traditionnels, c'est-à-dire celle des distances entre points anatomiques (et non la position de ces points les uns par rapport aux autres) a concerné 259 individus (indiv.) mâles de *R. (B.) microplus* dans les proportions : l'axe 1 avec les fermes O3 (29 indiv.), K1 (27 indiv.), F1 (21 indiv.), N4 (25 indiv.), N5 (26 indiv.) et l'axe 2 avec les fermes D3 (30 indiv.), G1 (27 indiv.), G3 (23 indiv.), G8 (26 indiv.). Les paramètres quantitatifs mesurés sur les faces dorsales et ventrales des tiques ont été au nombre de neuf (9) (Tableau 2). Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un microscope digital et d'une caméra vidéo (PCE-MM 200 microscope) à échelle étalonnée.

Utilisation de la morphométrie géométrique

Sur les mêmes spécimens, des analyses de morphométrie géométrique ont été effectuées en raison de 20 mâles par ferme, soit un total de 200 individus. Cette approche moderne utilise les coordonnées des points anatomiques dans un système d'axes « x y », plutôt que les distances entre ces points, pour dégager des informations concernant la taille mais aussi et surtout la forme des individus.

Montage et numérisation des tiques

Le montage a consisté à positionner un spécimen de tique sur du papier millimétré. Pour la numérisation, la résolution (1600 ppp) aux dimensions (0,30 cm de longueur et 0,25 cm de largeur) a été retenue pour tous les échantillons sélectionnés. Elle a consisté à prendre en image chaque spécimen de tique montée à l'aide d'un microscope numérique (PCE-MM 200 microscope) reliée à un ordinateur et à échelle étalonnée. La numérisation a été réalisée par un seul et même opérateur. Cette pratique vise à réduire toute erreur instrumentale telle que relevée par Muñoz-Muñoz et Perpiñan (2010). L'image de chaque tique a été enregistrée sous le format de fichier image JPEG.

Collection des points repères ou digitalisation

A l'aide d'un ordinateur muni du logiciel CLIC (disponible gratuitement sous licence GPL <http://mom-clic.com>) (Dujardin & Slice, 2007; Dujardin et al., 2010), une digitalisation des point-repères (PR ou "landmarks") a été faite sur chacune des images de tique réalisées lors de la numérisation. Elle a consisté à positionner sur chaque image, des "landmarks" sur des structures anatomiques potentiellement sujettes à des changements micro-évolutifs (membres articulés, gonopore, anus), et toujours dans le même ordre. La digitalisation a été réalisée par un seul et même opérateur. Cette digitalisation s'est opérée à l'aide du module COO ("Collection of Coordinates") du logiciel CLIC. Les coordonnées x et y de chaque point sont placées automatiquement dans un système d'axes et enregistrées dans un fichier externe. Pour chaque individu, seize (16) point-repères (PR) ont été digitalisés, dans le même ordre, de 1 à 16 et la liaison de l'ensemble de ces landmarks forme un polygone ou configuration de landmarks qui permettra d'obtenir les variables de forme après superposition de chaque configuration individuelle (Figure 2). Cette procédure, réalisée à partir du module MOG du logiciel CLIC et appelée « superposition de Procrustes ». Elle nécessite plusieurs étapes de mises à l'échelle, de translation et de rotation afin que chaque configuration puisse être comparée aux autres. Elle génère des coordonnées résiduelles qui contiennent les informations relatives à la forme : les « partial warps » (PW), ou les « relative warps » (RW) qui sont les composantes principales des PW (Perrard, 2012). Ce sont ces variables qui peuvent ensuite être utilisées dans les comparaisons multivariées (ACP, AD) grâce aux modules VAR, COV et PAD du logiciel CLIC. Par ailleurs, la « superposition de Procruste » permet de dégager une estimation globale de la taille de chaque individu, appelée taille « centroïde » car son calcul se fait à partir du

point centroïde (moyen) de chaque configuration. La taille centroïde est l'estimateur géométrique de la taille globale de chaque individu. Elle est utilisée pour décrire les différences de taille entre population.

Arbre de distance

Les méthodes des distances (distances Euclidiennes entre composantes principales de la forme) se proposent de reconstruire des arbres en partant des ressemblances observées entre chaque paire d'unité évolutive. L'arbre traduit le degré de similarité sans nécessairement tenter de refléter l'évolution moléculaire sous-jacente (l'histoire) des phénotypes observés. Mais il est probable que plus la ressemblance globale entre deux unités est importante, plus leurs liens de parenté sont étroits. Un arbre de distance basé sur la méthode UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean*) a été construit pour chaque type d'analyse morphométrique en utilisant les commandes R générées par le module COV, exécutées ensuite dans l'interface du logiciel R.

Analyse statistique

Le traitement statistique des données issues des mesures des distances entre points anatomiques a été réalisé à l'aide du logiciel SPSS statistics pour Windows, (version 20). Le test statistique ANOVA (Analysis Of Variance) a été utilisé pour tester la signification statistique des différences observées entre les moyennes de chaque paramètre au sein et entre les deux axes, complétés avec des tests post-hoc de Duncan. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de simplifier les variables et de visualiser la distribution des individus en fonction de leur provenance dans un espace graphique (carte factorielle) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

Ces analyses centrées sur la forme ont été réalisées selon l'approche de Mosimann (Mosimann, 1970; Darroch & Mosimann, 1985) : $S = X/G$, où S représente la forme (S

pour « shape », X chacun des individus et G l'estimateur global de la taille, défini comme la moyenne géométrique d'un individu. Cette méthode, qui s'applique à un ensemble de mesures entre des points anatomiques, permet de calculer une taille globale et, séparément, une estimation globale de la variabilité de forme.

Le logiciel CLIC a été utilisé pour le traitement statistique des données sur la morphométrie géométrique. Ce logiciel regroupe plusieurs modules. Le module COO, a été utilisé pour la digitalisation des images,

le module TET pour modifier les données, le module MOG pour assurer la superposition de Procrustes et sa visualisation graphique, et divers autres modules (VAR, PAD, COV) pour faire les analyses multivariées des coordonnées transformées.

Pour les deux analyses, l'arbre UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean*) a été construit en utilisant les commandes R générées par le module COV, exécutées ensuite dans l'interface du logiciel R.

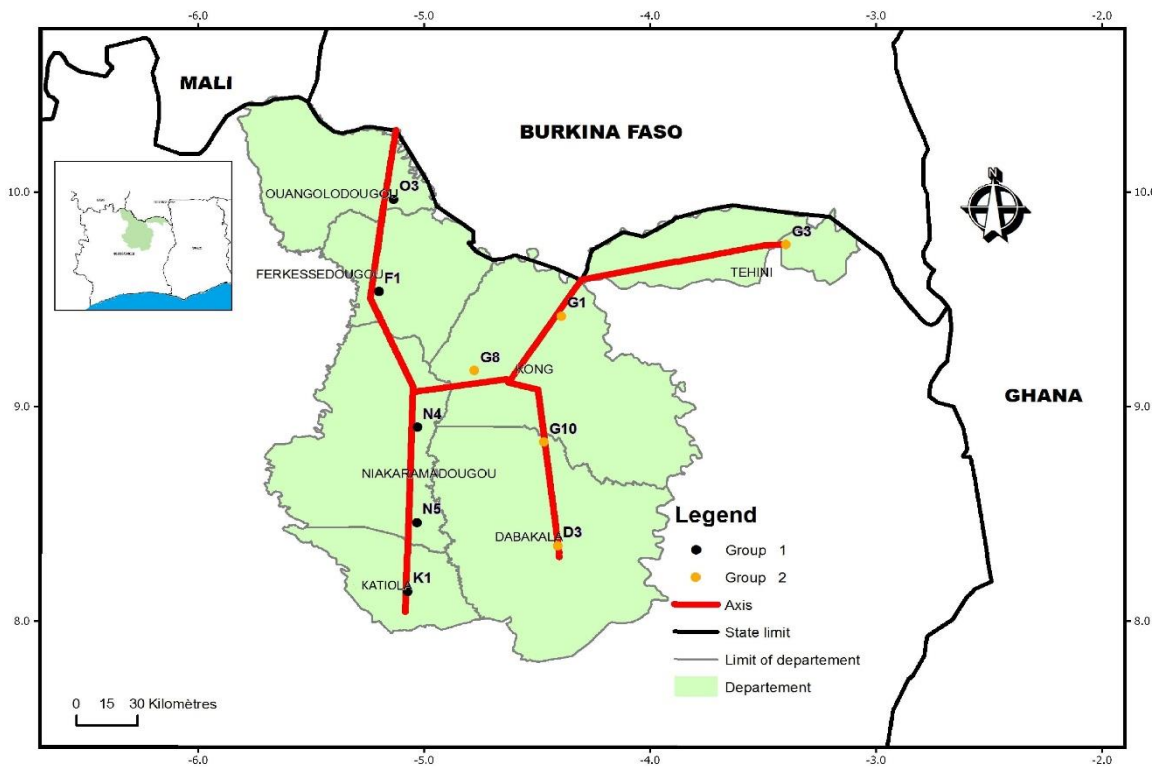


Figure 1 : Localisation des fermes sur les axes du couloir de transhumance. Axe 1: O3- Hamdalaye ; F1- Ferké ; N4- Sepikaha ; N5- Petionara ; K1- Darakokaha. Axe 2: G3-Doropo ; G1- Kafolo-bac ; G8- Nafana ; G10- Torokinkenin ; D3- Dabakala.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des sites de collecte de tiques.

Régions	Code-ferme	Géo-Références (DM)
Ouangolodougou	O3	9°58,86'N 5°8,38'W
Ferkessedougou	F1	9°33,05'N 5°12,33'W
Niakaramadougou	N4	8°55,03'N 2°2,04'W
	N5	8°28,37'N 5°2,16'W
Katiola	K1	8°9,01'N 5°4,57'W
Doropo	G3	9°46,34'N 3°24,01'W
	G1	9°26,14'N 4°23,71'W
Kong	G10	8°50,88'N 4°28,39'W
	G8	9°10,89'N 4°46,9'W
Dabakala	D3	8°21,86'N 4°24,62'W

Tableau 2 : Liste des paramètres utilisés en MC pour la caractérisation des populations de *R (B) microplus*.

Paramètres quantitatifs	
<i>Mesures prises sur la face dorsale</i>	
LC	: Longueur du capitulum
LDBC	: Longueur de la dépression de la base du capitulum
LDC	: Longueur du conscutum
LSMD	: Longueur du sillon médio-dorsal
LAC	: Longueur de l'appendice caudal
<i>Mesures prises sur la face ventrale</i>	
Ldc	: largeur du conscutum
LEC	: Longueur de l'éperon du coxa I
LPAP	: Longueur des plaques adanales principales
LPAA	: Longueur des plaques adanales accessoires



Figure 2 : Digitalisation des 16 points repères sur la face ventrale de la tique *R. (B.) microplus*.

RESULTATS

Analyses basées sur la morphométrie classique (MC)

Les tests d'ANOVA réalisés au sein de chaque axe puis entre les deux axes ont révélé des différences significatives des traits mesurés entre les axes du couloir de transhumance. Aussi, d'un axe à l'autre et au sein des deux axes les tests post hoc tel que le test de Duncan ont servi à déterminer les différences significatives entre les moyennes des groupes. Le test de Duncan présente les sous-populations ou les catégories ayant des moyennes significativement différentes

(Tableaux 3et 4).

Pour l'axe 1 du couloir de transhumance, des différences significatives ont été observées dans quatre (4) paramètres que sont : LC (Longueur du capitulum) ; LDBC (Longueur de la dépression de la base du capitulum) ; LEC (Longueur de l'éperon du coxa I) et LPAP (Longueur des plaques adanales principales). Aucune différence significative n'a été observée dans les autres paramètres. Au sein de cet axe, nous avons observé plus de différences significatives dans les paramètres LDBC et LPAP (Tableau 3).

Pour l'axe 2 du couloir de transhumance, des différences significatives ont été observées dans seulement quatre (4) paramètres. A savoir la Ldc (largeur du conscutum), LEC (Longueur de l'éperon du coxa I), LPAA (Longueur des plaques adanales accessoires) et LAC (Longueur de l'appendice caudal). Aucune différence significative n'a été observée dans les autres paramètres. Au sein de cet axe, nous avons observé plus de différences significatives dans les paramètres LPAA et LEC (Tableau 3).

Concernant les analyses faite entre les deux axes, des différences significatives ont été observées dans les neuf (9) paramètres LC (Longueur du capitulum), LDBC (Longueur de la dépression de la base du capitulum), LDC (Longueur du conscutum) Ldc (largeur du conscutum), LEC (Longueur de l'éperon du coxa I), LSMD (Longueur du sillon médio-dorsal), LPAP (Longueur des plaques adanales principales), LPAA (Longueur des plaques adanales accessoires) et LAC (Longueur de l'appendice caudal). Le plus grand nombre de différences significatives a été observé dans les paramètres LEC et LDBC (Tableau 4).

Les résultats des analyses morphométriques, basés sur l'ACP, montrent que les populations sont discriminées en fonction de l'axe du couloir de transhumance emprunté (Figure 3). En effet, un premier groupe est constitué des populations positionnées sur l'axe 1 du couloir de transhumance (D3, K1, N4, N5, F1 et O3), situées respectivement dans les régions de Dabakala, Katiola, Niakamadougou, Ferkéssedougou, et de Ouangolodougou. Le second groupe comporte les populations positionnées sur l'axe 2 (G8, G10, G1 et G3) situées respectivement dans les régions de Kong, et de Doropo, sauf pour la ferme D3 qui regroupe avec les populations de l'axe 1. Ces résultats se retrouvent sur l'arbre

UPGMA présentant les mêmes groupes que l'ACP (Figure 3).

Analyses basées sur la morphométrie géométrique (MG)

Cette méthode de morphométrie géométrique a portée sur la comparaison d'un total de 200 individus avec 20 individus de *R. (B.) microplus* par ferme sur lesquels 16 points repères (PR) ont été choisis (Figure 2).

Taille centroïde

L'étude de la taille centroïde des 10 populations (Figure 4) montre que :

- sur l'axe 1 de transhumance, les individus de la population O3 se distinguent par leur taille centroïde plus petite et moins variable que celles des quatre (4) autres populations. Les autres populations (F1, N5, K1) ont pratiquement les mêmes tailles, à l'exception de la population N4 qui semble être plus grande.

- sur l'axe 2, les individus de la population G8 se distinguent par une faible variabilité de leur taille centroïde bien que toutes les populations partagent une taille centroïde similaire à l'exception de la population G3 qui semble être plus grande.

Analyse en Composante principale (ACP) et Analyse Discriminante (AD)

Les moyennes des configurations de landmarks pour chaque population de *R. (B.) microplus* issue de l'analyse de Procrustes (GPA) peuvent être visualisées directement. La superposition imparfaite des landmarks suggère des différences fines dans la conformation des populations étudiées, en particulier au niveau des plaques adanales principale et accessoires en face ventrale. L'analyse en composante principale montre une séparation des populations en fonction de la piste de transhumance empruntée : le groupe 1 est formé des 5 populations de l'axe 1 (F1, K1, N4, N5 et O3) et le groupe 2 des 5 populations de l'axe 2 (D3, G1, G3, G8 et G10). Ces résultats se retrouvent sur l'arbre UPGMA présentant les mêmes groupes que l'ACP (Figure 5).

Tableau 3 : Résultats des ANOVA sur les différentes mesures morphologiques de *R. (B.) microplus* recueillis dans les fermes du couloir de transhumance (Comparaison au sein de chaque axe).

Paramètres	Comparaison des fermes deux à deux au sein de l'axe 1				
LC	O3 vs N5				
	-.0354973				
	0.019				
LDBC	N5 vs K1	O3 vs K1	N5 vs N4	O3 vs N4	
	.0144473	.0129911	.0135169	.0120607	
	0.007	0.012	0.012	0.018	
LEC	K1 vs F1	N5 vs K1			
	-.0111481	.0117764			
	0.016	0.008			
LPAP	O3 vs F1	O3 vs K1	O3 vs N4	O3 vs N5	
	-.0485911	-.0485964	-.0565283	-.045179	
	0.043	0.036	0.019	0.036	
Paramètres	Comparaison des fermes deux à deux au sein de l'axe 2				
Ldc	G10 vs G1	G3 vs G10			
	.0650207	-.0718452			
	0.011	0.008			
LEC	G1 vs D3	G10 vs D3	G3 vs D3	G8 vs D3	
	-.0146148	-.0201867	-.0194232	-.0153128	
	0.000	0.000	0.000	0.000	
LPAA	G1 vs D3	G3 vs D3	G10 vs G1	G3 vs G10	G8 vs G3
	-.0398593	-.0563246	.0380859	-.0545513	.0445067
	0.031	0.004	0.043	0.006	0.021
LAC	G10 vs G1	G3 vs G10			
	.0210489	-.0225513			
	0.012	0.011			

LC : Longueur du capitulum ; LDBC : Longueur de la dépression de la base du capitulum; Ldc : largeur du conscutum; LEC : Longueur de l'éperon du coxa I; LPAA : Longueur des plaques adanales accessoires; LAC : Longueur de l'appendice caudal. Les chiffres du haut représentent les écarts des moyennes des mesures prises deux à deux et les chiffres du bas représentent la p-value.

Tableau 4: Résultats des ANOVA sur les différentes mesures morphologiques de *R. (B.) microplus* recueillis dans les fermes du couloir de transhumance (Comparaison sur l'ensemble des deux axes).

Paramètres	Comparaison des fermes deux à deux sur l'ensemble des deux axes								
LC	O3 vs N5								
	-.0354973 0.022								
LDBC	K1 vs D3	N4 vs D3	G10 vs F1	G8 vs F1	K1 vs G1	N4 vs G1	K1 vs G10	N4 vs G10	
	-.0139037 0.002	-.0129733 0.005	.0129695 0.015	.0136557 0.010	-.0170741 0.000	-.0161437 0.001	-.0205304 0.000	-.01960 0.000	
	K1 vs G3	N4 vs G3	N4 vs G8	O3 vs K1	N5 vs N4	O3 vs N4			
	-.0148486 0.003	-.0139183 0.006	-.0202862 0.000	.0129911 0.004	.0135169 0.005	.0120607 0.008			
LDC	G10 vs F1	K1 vs G10	O3 vs G10	O3 vs G8					
	.0818438 0.035	-.0756163 0.034	-.077251 0.029	-.0703926 0.043					
Ldc	G10 vs F1	G8 vs F1	G10 vs G1	G3 vs G10	K1 vs G10				
	.0978038 0.001	.0649084 0.029	.0650207 0.016	-.0718452 0.011	-.0785763 0.004				
LEC	G1 vs D3	G10 vs D3	G3 vs D3	G8 vs D3	G1 vs F1	G10 vs F1	G3 vs F1	G8 vs F1	
	-.0146148 0.000	-.0201867 0.000	-.0194232 0.000	-.0153128 0.000	-.0184815 0.000	-.0240533 0.000	-.0232899 0.000	-.0191795 0.000	

	K1 vs F1	N4 vs G1	N5 vs G1	O3 vs G1	K1 vs G10	N4 vs G10	N5 vs G10	O3 vs G10
	-.0111481 0.013	.0147081 0.000	.0191097 0.000	.0120792 0.002	.0129052 0.002	.020280 0.000	.0246815 0.000	.017651 0.000
	K1 vs G3	N4 vs G3	N5 vs G3	O3 vs G3	N4 vs G8	N5 vs G8	O3 vs G8	N5 vs K1
	.0121417 0.004	.0195165 0.000	.0239181 0.000	.0168876 0.000	.0154062 0.000	.0198077 0.000	.0127772 0.002	.0117764 0.006
LSMD	F1 vs D3							
	-.0701571 0.018							
LPAP	O3 vs D3	O3 vs G1						
	-.0679816 0.003	-.0441149 0.040						
LPAA	G3 vs D3	O3 vs D3	G3 vs G10	O3 vs G10	G8 vs G3	N5 vs G3		
	-.0563246 0.007	-.0451747 0.023	-.0545513 0.012	-.0434014 0.036	.0445067 0.036	.0467759 0.031		
LAC	G10 vs G1	G3 vs G10						
	.0210489 0.018	-.0225513 0.015						

LC : L du Capitulum ; LDBC : L de la dépression de la base du Capitulum ; LDC : L du conscutum ; Ldc : largeur du conscutum ; LEC : L de l'éperon du coxa I ; LSMD : L du sillon medio-dorsal ; LPAP : L des plaques adanales principales ; LPAA : L des plaques adanales accessoires ; LAC : L de l'appendice caudale. Les chiffres du haut représentent les écarts des moyennes des mesures prises deux à deux et les chiffres du bas représentent la p-value.

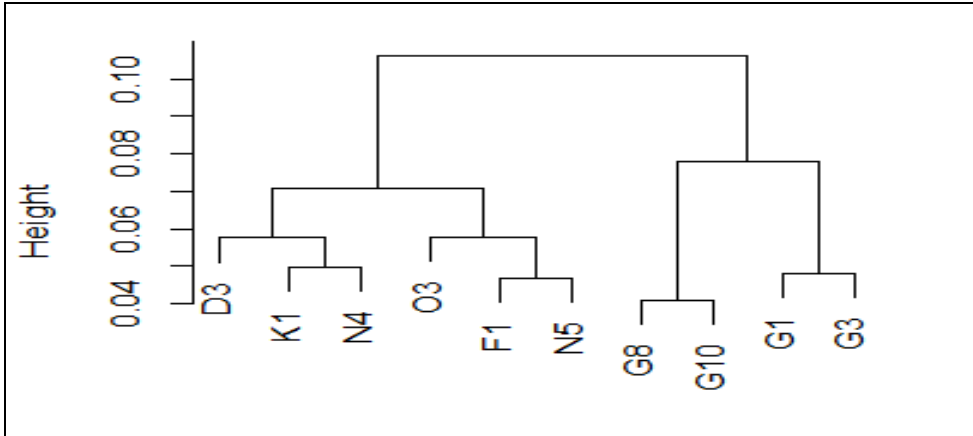


Figure 3: Arbre des distances euclidiennes entre les deux premières composantes principales de l'ACP représentant le regroupement des dix (10) populations de *R. (B.) microplus*, obtenu par la morphométrie classique. Axe 1: O3- Hamdalaye ; F1- Ferké ; N4- Sepikaha ; N5- Petionara ; K1- Darakokaha ; Axe 2: G3-Doropo; G1- Kafolo-bac ; G8- Nafana ; G10- Torokinkenin; D3- Dabakala

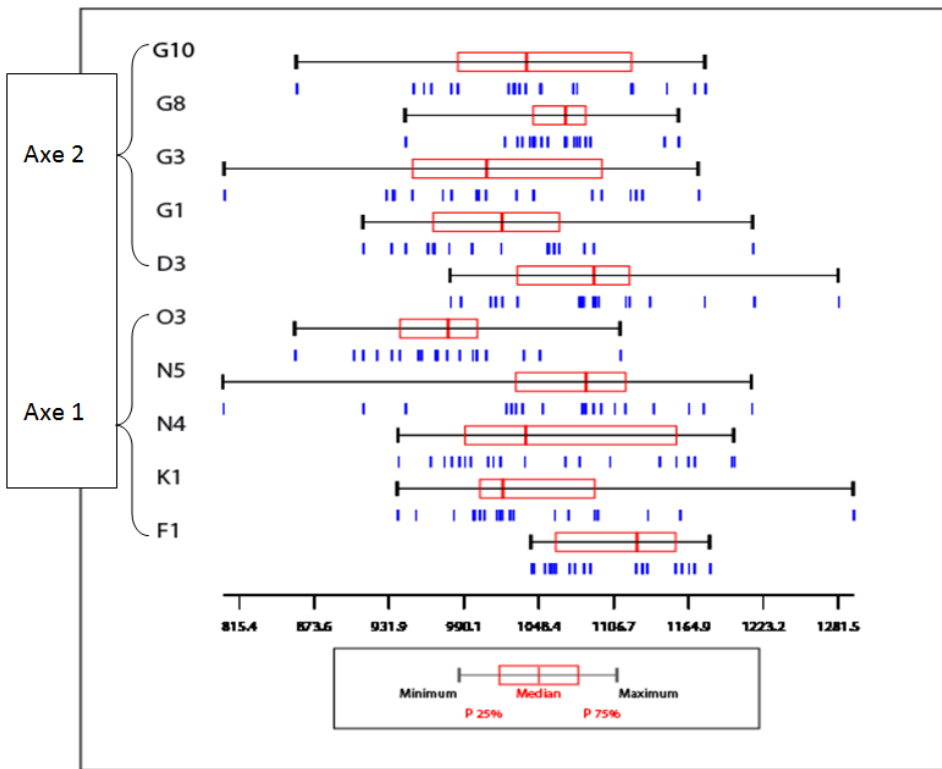


Figure 4 : Boîte de distribution des tailles centroïdes des populations de *R. (B.) microplus* étudiées. Axe 1: O3- Hamdalaye ; F1- Ferké ; N4- Sepikaha ; N5- Petionara ; K1- Darakokaha ; Axe 2: G3-Doropo; G1- Kafolo-bac ; G8- Nafana ; G10- Torokinkenin; D3- Dabakala.

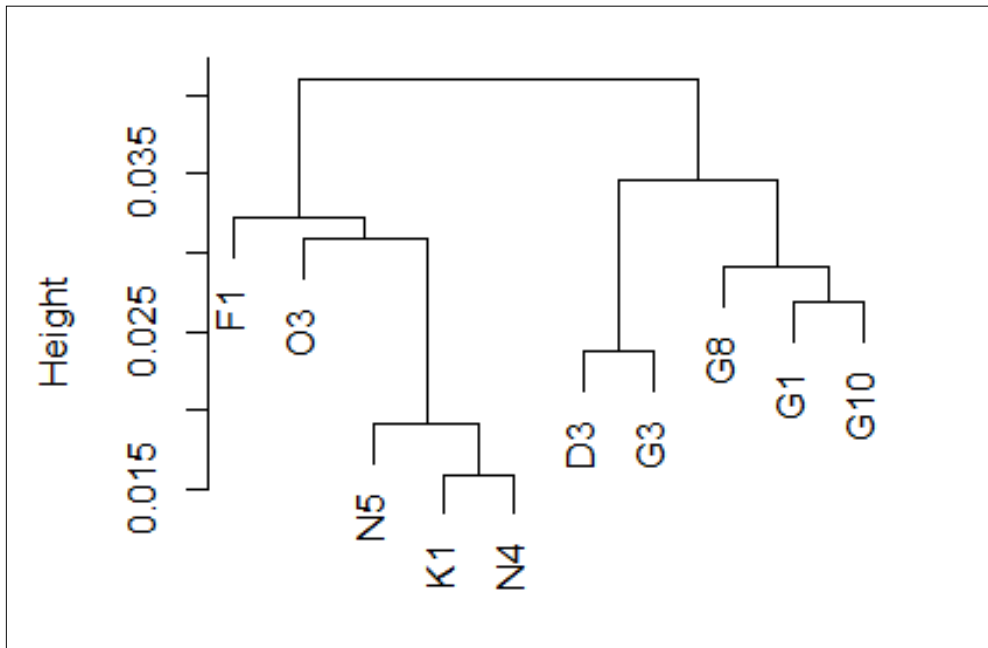


Figure 5: Arbre des distances euclidiennes entre les « relative warps » (RW) représentant le regroupement des dix (10) populations de *R. (B.) microplus*, obtenu par la morphométrie géométrique. Axe 1: O3- Hamdalaye ; F1- Ferké ; N4- Sepikaha ; N5- Petionara ; K1- Darakokaha, Axe 2: G3-Doropo; G1- Kafolo-bac ; G8- Nafana ; G10- Torokinkenin; D3- Dabakala

DISCUSSION

Dans cette étude, deux types d'analyses morphométriques ont été étudiées dans l'optique de tester leur capacité à discriminer 10 populations de la tique *R. (B.) microplus* récoltées dans les deux principales pistes de transhumance du bétail à la frontière ivoiro-burkinabé. Les résultats des mesures effectuées à l'aide de la morphométrie classique (MC) et de la morphométrie géométrique (MG) appuient l'idée d'une hétérogénéité morphologique entre les populations de l'axe 1 et celles de l'axe 2. Pour ces deux méthodes (MC et MG) les données proviennent d'un seul et même opérateur. Ces dispositions ont été prises en vue de minimiser les erreurs de méthodologie et rendent les résultats solidement interprétables. En effet, plusieurs études ont montré que les données provenant d'un seul

opérateur produisent beaucoup moins d'erreurs de classification que celles de plusieurs opérateurs (Dujardin et al., 2010 ; Muñoz-Muñoz & Perpiñan, 2010).

Certaines mesures de morphométrie classique se sont révélées significativement différentes entre populations, comme la longueur de l'éperon du coxa 1 (LEC). Elles peuvent donc être utilisées pour discriminer les populations des deux axes. Les résultats obtenus par la MG ont permis de visualiser les variations morphologiques globales entre les populations, un attribut propre de cette approche (Adams et al. (2004). Les différences de taille et de forme observées ici entre les populations de l'axe 1 et de l'axe 2 du couloir de transhumance illustrent la variabilité géographique de *R. (B.) microplus*. La taille est un indicateur majeur servant à apprécier l'hétérosie dans le cas d'une

hybridation (Dujardin, 2011). Elle est positivement corrélée à de nombreux caractères chez plusieurs organismes (Mitteroecker et al., 2004). Par exemple, chez les moustiques, la taille centroïde est positivement corrélée à la fécondité, la capacité de survie, la longévité, la résistance aux insecticides (Dujardin, 2011). Les variations de taille en rapport avec la géographie sont des trouvailles fréquentes en morphométrie, et, sauf exception, sont généralement attribuables à des variations environnementales. La taille n'informe pas bien sur la forme d'un organisme. Les variables utilisées en morphométrie traditionnelle sont toutes corrélées à la taille globale. Un effort très important de la morphométrie classique a porté sur la manière d'éliminer l'influence de la taille pour se rapprocher de la variation de la forme. L'objectif était d'extraire l'effet de taille pour n'avoir à traiter que des variables décrivant la forme (Claude, 2008 ; Barour, 2012).

Malgré les différentes solutions statistiques proposées, la MC a montré ses limites dans la description des formes complexes. Notre étude utilise l'une de ces méthodes (l'approche de Mosimann, 1970), et compare ses résultats à l'approche géométrique. Les deux approches détectent une structuration semblable sur la base de la conformation du corps de la tique, et suggèrent que cette structuration s'explique par l'existence de deux axes séparés de migration.

Les populations de *R. (B.) microplus* peuvent donc être différenciées en fonction de leur position géographique sur les deux axes du couloir de transhumance. Comment pouvons-nous expliquer les différences morphologiques de ces populations de tiques sur ces deux pistes? En effet, les variations de forme d'une population à l'autre au sein d'une même espèce peuvent être mises en rapport avec l'environnement, mais sont souvent aussi attribuables à des variations génétiques entre populations (Dujardin et al., 2014 ; Dupraz et

al., 2016). Plusieurs études ont montré une variation de forme au niveau géographique de l'espèce par exemple chez les tiques *Hyalomma anatolicum* (Hosseini et al., 2011), *Rhipicephalus sanguineus* (Sanches et al., 2016) et *Ornithodoros capensis* (Dupraz et al., 2016). Chez d'autres acariens également, tels que l'acarien *Scutacarus acarorum* qui s'est avéré être un véritable généraliste (Jagersbacher-Baumann, 2014) et l'acarien de la noix de coco, *Aceria guerreronis* Keifer (Navia et al., 2009). Chez les tiques, les facteurs climatiques sont des éléments essentiels influençant leur distribution, leur cycle de vie, la variation saisonnière de leur activité et leur comportement, ainsi que la dynamique des populations (Boyar, 2007). Les conditions macroclimatiques (à l'échelle de régions) limitent ainsi la distribution des différentes espèces, directement ou en influant sur le type de végétation utilisé par les tiques (Socolovschi et al., 2008 ; Touré et al., 2012).

Nos travaux ont montré que la MG est capable de distinguer des populations de *R. (B.) microplus*. En effet, le caractère homologue des points repères (PR) est à la base de cette discrimination. Ces PR contiennent des informations sur la taille (les distances entre les PR, ou entre les PR et le PR moyen, ou centroïde), la forme (la position relative des PR figurant dans leurs coordonnées). Ces caractères métriques peuvent contenir des variations morphologiques minimales qui sont souvent indétectables par les études morphométriques classiques (Villemant et al., 2007 ; Dujardin, 2011). Ces caractères métriques sont capables de fournir des informations indirectes d'ordre génétiques et environnementales sur les populations naturelles (Dujardin, 2011). Définie comme l'étude quantitative de la géométrie des formes, cette approche de la biologie comparative qualifiée de « révolutionnaire » par Adams et al. (2004), ouvre ainsi des perspectives intéressantes pour l'étude des populations de tiques, notamment

dans le contexte de la lutte contre cette espèce résistante aux acaricides.

Il n'est pas possible, sur la seule base des résultats morphométriques, de faire la part des choses entre plasticité phénotypique et variation génétique. Toutefois, lorsque les variations de forme sont corrélées à la géographie, il est raisonnable de supposer une séparation spatiale favorisant le développement local des variations de formes. Ces variations sont alors favorisées à la fois par un environnement différent et par une dérive locale d'origine génétique (Jirakanjanakit et al., 2008 ; Perrard et al., 2014). Dans notre étude, on peut donc travailler sur l'hypothèse d'une séparation des deux axes, à savoir l'hypothèse d'une absence de migration (ou d'une migration rare) entre les axes, de sorte qu'un traitement acaricide opéré sur un axe aurait peu de chance d'être contrecarré par une migration provenant de l'autre axe. Nos résultats ne commandent pas de traiter l'ensemble du territoire en même temps, mais suggèrent qu'il est possible d'adopter une stratégie de lutte séquentielle dans le temps, axe par axe. Au contraire, la grande similarité des formes au sein de chaque axe suggère de traiter chaque axe sur l'ensemble des fermes, sans écarter une seule d'entre elles. Ainsi, plus d'informations sur les variations morphologiques de *R. (B.) microplus* mises en relation avec des variables écologiques et environnementales sont importantes pour guider la recherche de procédures adéquates pour la lutte contre cette espèce. Sur cette base, l'utilisation de la morphométrie chez cette tique sur les axes du couloir de transhumance Ivoiro-Burkinabé peut être recommandée. La MG trouvera donc ici toute son application comme outil d'aide à la décision pour le choix des stratégies de lutte par les programmes nationaux et les institutions internationales.

Conclusion

Les 16 points-repères enregistrés sur *R. (B.) microplus* peuvent donc être considérés

comme des marqueurs morpho-géométriques remarquables pour l'étude de la variabilité intra-spécifique chez cette espèce. Par rapport à la morphométrie classique, la morphométrie géométrique présente le double intérêt de permettre une meilleure visualisation des différences de conformation et (donc) d'offrir un gain de puissance. Ainsi les méthodes modernes permettent une représentation géométrique des formes, séparant la taille et la forme. Ce travail a permis de révéler une hétérogénéité morphologique chez *R. (B.) microplus*. Les deux approches utilisées dans cette étude appuient l'idée d'une dichotomie entre les populations de l'axe 1 et celles de l'axe 2, et suggèrent qu'une stratégie de lutte séquentielle est envisageable. La morphométrie géométrique se présente donc comme une approche capable d'aider au choix de la stratégie de lutte antivectorielle, notamment dans le contexte de la lutte contre cette espèce de tique résistante aux acaricides et extrêmement redoutable pour l'élevage dans les pays en voie de développement. Nos résultats, couplés à des informations écologiques et environnementales sur cette espèce, vont donc pouvoir contribuer à une meilleure planification et une exécution des programmes de surveillance et de contrôle dans cette région.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas de conflit d'intérêts pour cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

ACADK a contribué à la collecte des données sous les directives de JPD, TYNTB et MD et a rédigé la version initiale du manuscrit. ACADK, JPD et TYNTB ont contribué à l'analyse des données. YLA, KPY et TYNTB ont conçu cette étude. TYNTB, KPY, YLA, MD, KK, JPD ont révisé le manuscrit.

REFERENCES

- Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, **71**(1): 5-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/11250000409356545>
- Attia S, Grissa KL, Ghrabi-Gammar Z, Maillieux CA, Lognay G, Le Goff G, & Hance T. 2011. Contrôle de *Tetranychus urticae* par les extraits de plantes en vergers d'agrumes. *Faunistic Entomology*, **63**(4): 229-235. URL: <http://popups.ulg.ac.be/2030-6318/index.php?id=2030&file=1&pid=2017>
- Barour C. 2012. Analyse de la biodiversité des populations d'Abeilles Mellifères *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reepen 1906) (*Hymenoptera Apidea*) dans le nord Algérien : Morphométrie Moderne Basée sur la Configuration des Points-Repères (Landmarks). Thèse de Doctorat, Université Badji-Mokhtar, Annaba, p. 292.
- Boyard C. 2007. Facteurs environnementaux de variation de l'abondance des tiques *Ixodes ricinus* dans des zones d'étude modèles en Auvergne. Thèse de Doctorat, Université d'Auvergne, Auvergne, p. 233.
- Castro-Janer E, Rifran L, Piaggio J, Gil A, Miller RJ, Schumaker TTS. 2009. In vitro tests to establish LC50 and discriminating concentrations for fipronil against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari, Ixodidae) and their standardization. *Veterinary Parasitology*, **162**(1-2):120-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.02.013>
- Chabi China TF, Gbangboche AB, Attindehou S, Doko Allou SY, Salifou S, Pangui LJ, Abiola FA. 2016. Elevage de bovins Somba et gestion de son écologie parasitaire gastro-intestinal au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(5): 2300-2315. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.28>
- Chagas ACS, Leite RC, Furlong J, Prates HT, Passos WM. 2003. Sensibilidade do carrapato *Boophilus microplus* a solvents. *Ciência Rural, Santa Maria*, **33**(1): 109-114. URL: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v33n1/14151.pdf>
- Claude J. 2008. *Morphometrics with R*. Springer-Verlag: New York.
- Darroch JN, Mosimann JE. 1985. Canonical and principal components of shape. *Biometrika*, **72**(2): 241-252. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/72.2.241>
- Dujardin JP, Slice D. 2007. Geometric morphometrics. Contributions to medical entomology. In *Encyclopedia of Infectious Diseases. Modern Methodologies*, Tibayrenc M (ed). Wiley & Sons; 435-447.
- Dujardin JP, Kaba D, Amy H. 2010. The exchangeability of shape. *BioMed Central BMC Research Notes* **3**: 266. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-0500-3-266>
- Dujardin JP. 2011. Modern Morphometrics of Medically Important Insects. *Genetics and Evolution of Infectious Disease*, **161**: 473-501. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384890-1.00016-9>
- Dujardin JP, Kaba D, Solano P, Dupraz M, McCoy KD, Jaramillo ON. 2014. Outline-based morphometrics, an overlooked method in arthropod studies? *Infection Genetics and Evolution*, **28**: 704-714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2014.07.035>
- Dupraz M, Toty C, Noël V, Estrada-Peña A, González-Solís J, Bouludier T, Dujardin JP, McCoy KD. 2016. Linking morphometric and genetic divergence with host use in the tick complex, *Ornithodoros capensis* sensu lato. *Infection, Infection Genetics and Evolution*, **46**: 12-22. DOI:

- <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.10.005>
- Estrada-Pena A, Bouattour A, Camicas JL, Guglielmone A, Horak I, Jongejan F, Latif A, Pegram R, Walker AR. 2006. The known distribution and ecological preferences of the tick subgenus *Boophilus* (Acari: Ixodidae) in Africa and Latin America. *Exp. Appl. Acarol.*, **38** (2-3): 219-235. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-006-0003-5>
- Hosseini A, Dalimi A, Abdigoudarzi M. 2011. Morphometric Study on Male Specimens of *Hyalomma anatolicum* (Acari: Ixodidae) in West of Iran. *Iran J Arthropod Borne Dis.*, **5**(2): 23-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.22073/pja.v2i3.10046>
- Jagersbacher-Baumann J. 2014. Traditional and geometric morphometric analyses reveal homogeneity in European *Scutacarus acarorum* Goeze, 1780 populations (Acari: Scutacaridae: Heterostigmata). *Journal of Natural History*, **49**: 1173-1190. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00222933.2014.974705>
- Jirakanjanakit N, Leemingsawat S, Dujardin JP. 2008. The geometry of the wing of *Aedes* (Stegomyia) *aegypti* in isofemale lines through successive generations. *Infection Genetics and Evolution*, **8**(4): 414-421. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2007.05.004>
- Kaba D. 2014. Morphométrie géométrique appliquée aux mouches tsé-tsé : taxonomie et identification de populations isolées pour la lutte contre les tsé-tsé et les trypanosomoses. Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, p. 209.
- Meddour-Bouderda K, Meddour A. 2006. Clés d'identification des Ixodina (Acarina) d'Algérie. *Sciences et Technologies*, **4**: 32-42. URL: <https://www.researchgate.net/publication/272357575>
- Mendes MC, Lima CK, Nogueira AH, Yoshihara E, Chiebao DP. 2011. Resistance to cypermethrin, deltamethrin and chlorpyrifos in populations of 83 *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Acari: Ixodidae) from small farms of the State of São Paulo. *Veterinary Parasitology*, **178**(3-4): 383-388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.01.006>
- Mitteroecker P, Gunz P, Bernhard M, Schaefer K, Bookstein FL. 2004. Comparison of cranial ontogenetic trajectories among great apes and humans. *Journal of Human Evolution*, **46**: 679-698. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2004.03.006>
- Mosimann JE. 1970. Size allometry: size and shape variables with characterization of the lognormal and generalized gamma distributions. *Journal of the American Statistical Association*, **65**: 930-948. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1970.10481136>
- Muñoz-Muñoz F, Perpiñan D. 2010. Measurement error in morphometric studies: comparison between manual and computerized methods. *Ann. Zool. Fennici*, **47**: 46-56. DOI: <https://doi.org/10.5735/086.047.0105>
- Navia D, Moraes GJ, Querino RB. 2009. Geographic pattern of morphological variation of the coconut mite, *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae), using multivariate morphometry. *Braz J Biol.*, **69**(3): 773-783. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842009000400004>
- Ogden NH, Lindsay LR, Beauchamp G, Charron D, Maarouf A, O'callaghan CJ, Waltner-Toews D, Barker IK. 2004. Investigation of Relationships between Temperature and Developmental Rates of Tick *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in the Laboratory and Field.

- Journal of Medical Entomology*, **41**(4): 622-33. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.4.622>
- Perrard A. 2012. Systématique et morphométrie géométrique : L'évolution de la nervation alaire au sein du genre *Vespa* (Hyménoptères : Vespidae). Thèse de Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, p. 219.
- Perrard A, Baylac M, Carpenter JM, Villemant C. 2014. Evolution of wing shape in hornets: why is the wing venation efficient for species identification? *J. Evol. Biol.*, **27**: 2665–2675. DOI: <https://doi.org/10.1111/jeb.12523>
- Sanches GS, Évora PM, Mangold AJ, Jittapalpong S, Rodriguez-Mallone A, Guzmán PEE, Gervásio HBF, Camargo-Mathiasa MI. 2016. Molecular, biological, and morphometric comparisons between different geographical populations of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology*, **215**: 78-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.11.007>
- Scott DW, Miller WH, Griffin CE. 2001. Parasitic ticks. In *kirk's Small Animal Dermatology*, Scott DW (ed). Saunders: Philadelphia; 442-445.
- Socolovschi C, Doudier B, Pages F, Parola P. 2008. Tiques et maladies transmises à l'homme en Afrique. *Médecine Tropicale*, **68**: 119-133. URL: <https://www.researchgate.net/publication/51404833>
- Toure A, Komoin-Oka C, Sylla I. 2012. Cattle ticks population and prevalence of *Babesia spp* amongst its vector: *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in a zone of Ivory Coast. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(4): 1514-1581. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.17>
- Toure A, Diaha CA, Sylla I, Kouakou K. 2014. Récentes recompositions des populations de tiques prévalent en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(2): 566-578. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.15>
- Villemant C, Simbolotti G, Kenis M. 2007. Discrimination of *Eubazus* (Hymenoptera, Braconidae) sibling species using geometric morphometric analysis of wing venation. *Syst. Entomol.* **32**(4): 625-634. DOI: 10.1111 / j.1365-3113.2007.00389.x
- Walker AR, Bouattour A, Camicas JL, Estrada-Pena A, Horak I, Latif A, Pegram R, Preston PM. 2003. *Ticks of Domestic Animals in Africa: A Guide to Identification of Species* (2nd edn). Bioscience Reports: Scotland, UK.
- Yeo N, Karamoko Y, Soro D, Zouh Bi ZF, Traore SI. 2017. Elevages de bétail dans la région du Poro (Côte d'Ivoire) : Caractérisation et modalités de lutte contre les pathogènes transmis par les tiques. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(1): 237-246. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.19>