

# Sommaire / Contents

## SYSTÈMES D'ÉLEVAGE ET FILIÈRES

### LIVESTOCK FARMING SYSTEMS AND VALUE CHAINS

**93-99 Impact de la sédentarisation des éleveurs sur la production bovine au nord du Bénin.** *Impact of the sedentarization of pastoralists on cattle production in Northern Benin.* Sounon K.L.S.A., Ickowicz A., Lesnoff M., Messad S., Valls-Fox H., Houinato M.R.B. (en français)

## PRODUCTIONS ANIMALES ET PRODUITS ANIMAUX

### ANIMAL PRODUCTION AND ANIMAL PRODUCTS

**101-106 Variation génétique des populations sauvages et des stocks issus d'élevage de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) à Madagascar.** *Genetic variation in wild populations and farmed stocks of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Madagascar.* Ravakarivelo M., Pepey E., Benzie J.A.H., Raminosa N., Rasamoelina H., Mikolasek O., de Verdal H. (in English)

## RESSOURCES ALIMENTAIRES ET ALIMENTATION

### FEED RESOURCES AND FEEDING

**107-113 Viande de lapin (*Oryctolagus cuniculus* L.) enrichie en oméga 3 avec un aliment contenant de l'euphorbe (*Euphorbia heterophylla* L.).** *Rabbit meat (*Oryctolagus cuniculus* L.) enriched in omega 3 with a feed containing euphorbia (*Euphorbia heterophylla* L.).* Kouakou N'G.D.V., Coulibaly S.B.M., Angbo-Kouakou C.E.M., Ahongo Y.D., Assidjo N.E., Kouba M. (en français)

## SANTÉ ANIMALE ET ÉPIDÉMIOLOGIE

### ANIMAL HEALTH AND EPIDEMIOLOGY

**115-121 Systèmes d'élevage porcin et cysticercose au nord de l'Ouganda.** *Pig farming systems and cysticercosis in Northern Uganda.* Kungu J.M., Masembe C., Apamaku M., Akol J., Amia W.C., Dione M. (in English)

**123-132 La tique du bétail en Nouvelle-Calédonie : synthèse sur 75 ans de présence et 60 ans de recherche. Une histoire locale pour un enseignement global.** *Livestock ticks in New Caledonia: Review on 75 years of presence and 60 years of research. Local history for global learning.* Hüe T. (en français)

**133-136 Étude préliminaire sur les vecteurs mécaniques potentiels des trypanosomes animaux dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun.** *Preliminary study on potential mechanical vectors of animal trypanosomes in the Far North region of Cameroon.* Suh P.F., Njiokou F., Garabed R., Mamoudou A., Arabi M., Malam A.T. (in English)

ISSN 1951-6711

Publication du  
Centre de coopération internationale  
en recherche agronomique pour le développement  
<http://revues.cirad.fr/index.php/REMT>  
<http://www.cirad.fr/>

Directeur de la publication / *Publication Director:*  
Michel Eddi, PDG / *President & CEO*

Rédacteurs en chef / *Editors-in-Chief:*  
Gilles Balança, Denis Bastianelli, Frédéric Stachurski

Rédacteurs associés / *Associate Editors:*  
Guillaume Duteurtre, Bernard Faye, Flavie Goutard,  
Vincent Porphyre

Coordinatrice d'édition / *Publishing Coordinator:*  
Marie-Cécile Maraval

Traductrices/*Translators:*  
Marie-Cécile Maraval (anglais),  
Suzanne Osorio-da Cruz (espagnol)

Webmestre/*Webmaster:* Christian Sahut

Maquettiste/*Layout:* Alter ego communication, Aniane, France

#### COMITÉ SCIENTIFIQUE / *SCIENTIFIC ADVISORY BOARD*

Hassane Adakal (NER), Nicolas Antoine-Moussiaux (BEL),  
Michel Doreau (FRA), Mohammed El Khasmi (MAR),  
Philippe Lescoat (FRA), Hamani Marichatou (NER),  
Ayao Missouhou (SEN),  
Harentsoaniana Rasamoelina-Andriamanivo (MDG),  
Jeremiah Saliki (USA, CMR), Jeewantee Sunita Santchurn (MUS),  
Hakim Senoussi (DZA), Taher Srairi (MAR),  
Hussaini Tukur (NGA), Jean Zoundi (BFA, FRA)



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cirad, Montpellier, septembre 2019



# Impact de la sédentarisation des éleveurs sur la production bovine au nord du Bénin

K.L.S. Adam Sounon <sup>1\*</sup> Alexandre Ickowicz <sup>2,3</sup>  
Matthieu Lesnoff <sup>2,3</sup> Samir Messad <sup>2,3</sup>  
Hugo Valls-Fox <sup>2,3</sup> Marcel R.B. Houinato <sup>4</sup>

## Mots-clés

Bovin, méthode d'élevage, effectif du cheptel, pastoralisme, productivité, modèle de simulation, Bénin

Submitted: 21 July 2018  
Accepted: 27 August 2019  
Published: 30 September 2019  
DOI: 10.19182/remvt.31778

## Résumé

Deux principaux systèmes d'élevage bovin cohabitent dans le bassin de la Donga au nord du Bénin : l'élevage semi-sédentaire et l'élevage mobile. Ce bassin, situé dans la zone agroécologique subhumide de l'Afrique de l'Ouest, a subi ces dernières décennies deux changements majeurs : a) une augmentation des besoins en produits animaux et b) l'expansion des terres cultivées qui entraîne une diminution de l'accès aux ressources fourragères et à l'eau, une plus grande mobilité des troupeaux, et des conflits plus fréquents entre cultivateurs et éleveurs mobiles. Face à ces contraintes, les pouvoirs publics privilégient la sédentarisation des éleveurs mobiles. L'élevage mobile étant pourvoyeur de jeunes animaux aux élevages semi-sédentaires, la dynamique de sédentarisation crée une incertitude quant à l'approvisionnement de la région en bétail bovin et en viande par un élevage semi-sédentaire qui deviendrait largement majoritaire. Pour appréhender la question de besoins croissants en produits animaux, la production de bétail a été simulée afin d'évaluer l'effet d'une incitation des pouvoirs publics à la sédentarisation des éleveurs mobiles. Les productivités numérique et en viande ont été simulées sous différentes hypothèses d'amélioration des performances zootechniques des élevages semi-sédentaires. L'ensemble des scénarios ont été construits à partir de l'hypothèse de l'augmentation du cheptel semi-sédentaire directement liée à la sédentarisation d'une partie des éleveurs mobiles. Une simulation obtenue à l'aide du modèle de projection démographique Dynmod suggère que la sédentarisation des éleveurs mobiles romprait la complémentarité locale entre les systèmes d'élevage et conduirait à une perte de production de viande. En outre, aucun des scénarios d'amélioration explorés ne suffirait à compenser la perte de production de viande résultant de la politique de sédentarisation. Pour maintenir la production de viande bovine par les éleveurs semi-sédentaires il faudrait développer les liens commerciaux régionaux avec les élevages des pays sahéliens.

■ Comment citer cet article : Sounon K.L.S.A., Ickowicz A., Lesnoff M., Messad S., Valls-Fox H., Houinato M.R.B., 2019. Impact of the sedentarization of pastoralists on cattle production in Northern Benin. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 72 (3): 93-99, doi: 10.19182/remvt.31778

## ■ INTRODUCTION

Deux principaux systèmes d'élevage bovin cohabitent dans le bassin de la Donga dans le nord du Bénin, l'élevage semi-sédentaire et l'élevage mobile (Sounon, 2016). L'élevage semi-sédentaire est géré

par des éleveurs autochtones qui sont copropriétaires avec des agriculteurs, des bouchers et des commerçants, de cheptels de taille moyenne (environ 50 têtes réparties en un ou plusieurs troupeaux), installés sur des territoires d'attache dont ils détiennent également la copropriété foncière. Il s'agit de troupeaux naisseurs-engraisseurs car une partie des jeunes animaux sont achetés chaque année et voués à l'embouche. Les semi-sédentaires pratiquent une transhumance saisonnière d'une durée de deux à trois mois et associent l'élevage aux cultures. Les parcelles mises en jachère sont exploitées par les troupeaux, de même que les résidus de récolte des champs récoltés. L'élevage mobile, quant à lui, regroupe majoritairement des éleveurs migrants originaires du Nigeria et du Borgou (Nord-Est Bénin) qui sont propriétaires exclusifs de cheptels de taille plus importante (plus de 100 têtes réparties en plusieurs troupeaux). Ils sont purs naisseurs et pourvoyeurs de jeunes animaux aux éleveurs semi-sédentaires.

1. INRAB, Abomey-Calavi, Bénin.
2. CIRAD, UMR SELMET, F-34398 Montpellier, France.
3. SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France.
4. FSA/UAC, Abomey-Calavi, Bénin.

\* Auteur pour la correspondance  
Email : kone907@yahoo.fr



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Ils n'ont pas de territoire d'attache fixe et se déplacent en permanence à l'intérieur du bassin de la Donga au rythme de l'expansion des cultures. Après un séjour de deux à dix ans dans un campement dont les terres des alentours ont subi un défrichement accru au fil du temps, ils se déplacent vers un autre campement dont les terres sont moins défrichées.

Plusieurs facteurs participent à la diminution des ressources pastorales pour les éleveurs du bassin de la Donga. L'urbanisation et la croissance démographique (3,5 % d'accroissement annuel) entraînent une expansion des zones de cultures aux dépens des pâturages (Blanc-Pamard et Boutrais, 1994 ; D'Aquino et al., 1995 ; Séguis et al., 2004 ; Jouve, 2007 ; Blein et al., 2008 ; Robert et al., 2018 ; INSAE, 2016). Depuis 2001, la modification de la politique forestière a limité l'accès aux pâturages qui se trouvent au sein de forêts classées (Convers et al., 2007). Ces forêts s'étendent sur 37 182 hectares, soit 9,4 % de la superficie de la région. Elles ont été réduites de 0,7 % entre 1973 et 2000 du fait de l'empiètement par les espaces cultivés (Blanchard et al., 2007). Une telle politique réduit d'autant plus la surface des pâturages disponibles aux éleveurs, et la fragmentation de l'espace pastoral entrave la mobilité des troupeaux. Le taux de croît annuel national du cheptel bovin est estimé à 2,5 % (FAO, 2013a).

Au regard des conflits entre éleveurs mobiles et cultivateurs autour de l'accès aux pâturages engendrés par la dynamique d'occupation du sol (Natali, 2008), la politique nationale du Bénin soumet l'élevage mobile à diverses autorisations et interdictions pour l'accès à certains pâturages, notamment forestiers (Judex et Thamm, 2008). Afin de favoriser l'abandon de la mobilité et l'adaptation au mode de vie sédentaire (Convers et al., 2007), les pouvoirs publics offrent l'accès aux éleveurs mobiles à des territoires de vie et d'activités. Cette politique de sédentarisation est censée réduire les conflits liés à la mobilité des troupeaux. L'élevage mobile étant pourvoyeur de jeunes animaux à l'embouche pour l'élevage semi-sédentaire, la dynamique de sédentarisation de l'élevage mobile crée alors une incertitude critique quant à l'approvisionnement en bétail et en viande bovine.

Cette étude a consisté dans un premier temps à réaliser, à partir de données d'enquêtes disponibles pour l'année 2012, un diagnostic des performances démographiques des deux principaux systèmes d'élevage bovin du bassin de la Donga. Ces estimations ont ensuite été utilisées comme paramètres d'entrée d'un modèle de projection démographique, qui a permis de simuler les productivités numérique et en viande à partir de plusieurs scénarios construits en modifiant la distribution des types d'élevages et en améliorant leurs performances zootechniques. Dans tous les scénarios l'accroissement du cheptel semi-sédentaire résultait d'une sédentarisation d'une partie des éleveurs mobiles. La sédentarisation a été considérée *a priori* en contradiction avec le contexte global et local d'augmentation de la demande en produits issus de l'élevage du fait notamment de la croissance démographique (Banoïn et Guengant, 1998 ; Dembélé, 2001).

## ■ MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

La commune de Djougou est située à 9° 42' N et 1° 40' E, et s'étend sur 3966 kilomètres carrés (Biaou et Guidibi, 2006). Elle est localisée dans le bassin versant de la Donga au nord-ouest du Bénin, dans la zone agroécologique subhumide de l'Afrique subsaharienne (CIPEA, 1984 ; FAO, 2003). Son climat est tropical avec une distribution des pluies unimodale et une pluviosité annuelle moyenne de 1250 millilitres pour 75 à 140 jours effectifs de pluie (Leroux, 2012). Il est caractérisé par deux saisons : une saison pluvieuse (mai à octobre) et une saison sèche (novembre à avril). La forte variabilité des pluies (les retards et la durée raccourcie de la saison des pluies) réduit la disponibilité en eau de surface ce qui constitue un facteur important

de variabilité de la mobilité des éleveurs. En effet, les rivières sont les principales sources en eau de boisson des troupeaux. Elles tarissent tôt en saison sèche, ne laissant que quelques flaques d'eau insuffisantes pour abreuver tout le cheptel.

La végétation est dominée par les savanes boisées, arborées et arbustives dont 9,4 % se retrouvent dans des forêts classées (Blanchard et al., 2007). La loi n° 2002-16 du 18 octobre 2004 interdit totalement l'accès du bétail aux forêts classées. La mise en œuvre de cette disposition, quoique difficile et occasionnant des affrontements entre forestiers et éleveurs, a durci la législation forestière.

En 2012, le cheptel bovin naisseur du bassin a été estimé à 44 080 têtes (18 347 semi-sédentaires et 25 733 mobiles). Il était constitué des races Borgou majoritairement, zébu M'bororo et taurin Somba qui sont toutes présentes dans les élevages sédentaires et mobiles (MAEO, 2012 ; FAO, 2013b). Les deux pratiques d'élevage étaient de type extensif qui se caractérise par une mobilité des troupeaux à différentes échelles spatio-temporelles. Au cours de la transhumance, le lieu de campement des animaux était déplacé périodiquement suivant plusieurs types de mouvements. Il pouvait s'agir d'une petite transhumance (2–10 km) pour éloigner les animaux du campement dont les alentours étaient occupés par des cultures, ou d'une grande transhumance au cours de laquelle les animaux étaient éloignés du lieu d'attache de l'éleveur (10–100 km voire plus). Celui-ci cherchait à relier certains points stratégiques comme des zones de forte culture offrant une disponibilité de résidus, ou des zones de forêts ou de savanes boisées n'ayant pas été cultivées, ou des points d'eau, ou des marchés.

Outre la transhumance, commune aux élevages semi-sédentaires et mobiles, qui ne nécessitait pas le déplacement du point d'attache de l'éleveur, nous avons observé des migrations pastorales au cours desquelles l'éleveur déplaçait non seulement le lieu de campement des animaux, mais aussi son lieu d'attache. C'était ce type de déplacement qui a caractérisé le système d'élevage défini comme mobile dans cette étude. Enfin, il y avait dans les deux types la mobilité journalière qui consistait à conduire chaque jour les animaux au pâturage sur un parcours de deux à cinq kilomètres.

### Enquêtes démographiques

Les troupeaux des deux principaux systèmes d'élevage naisseurs (mobile et semi-sédentaire) ont été sélectionnés de façon raisonnée. Les éleveurs propriétaires fonciers ayant des cheptels de taille moyenne appartenant à plusieurs propriétaires et pratiquant une transhumance annuelle ont été catégorisés comme semi-sédentaires. Les éleveurs sans propriété foncière, ayant des cheptels de grande taille dont ils étaient les propriétaires exclusifs, sans point d'attache pluriannuel, ont été classés comme mobiles. Au total, l'enquête a porté sur 52 troupeaux bovins (tableau I).

Dans chaque troupeau, une enquête rétrospective à dire d'éleveur a été réalisée pour estimer les paramètres démographiques pour l'année 2012 en utilisant la méthode 12MO (Lesnoff et al., 2013a). L'ensemble des animaux de chaque troupeau ont été recensés (par sexe et par âge) et les événements démographiques qui ont eu lieu au cours des 12 derniers mois ont été répertoriés (naissances, morts, achats, confiages, abattages, ventes).

### Estimation des taux démographiques

Les taux démographiques annuels  $h$  ont été obtenus par le rapport du nombre d'événements démographiques observés  $m$  et « du temps à risque »  $T$  calculés par sexe et par catégorie d'âge des animaux :  $h = \frac{m}{T}$

$T$  est la durée totale passée par les animaux dans le troupeau au cours des douze derniers mois. Les enquêtes rétrospectives ne permettent pas de mesurer avec précision le temps à risque mais la méthode 12MO en

fournit une approximation : l'effectif moyen d'animaux (Lesnoff et al., 2013a).

Les taux démographiques ont été estimés par sexe, classe d'âge (juvénile 0–12 mois, subadulte 13–36 mois, adulte 37–192 mois) et type de système d'élevage (mobile, semi-sédentaire) à l'aide d'un modèle linéaire logistique (Collett, 2002) considérant une distribution de Poisson des occurrences des événements. Les taux démographiques estimés étaient des taux instantanés de mises bas, correspondant à l'effectif moyen de mises bas d'une femelle présente dans le cheptel, de mortalités correspondant à toutes les causes de mort hors abattage, d'exploitation (abattage, vente, confiage, don, etc.) et d'importation (achat, confiage, don, etc.). Les estimations des paramètres du modèle ont été réalisées avec la méthode du maximum de vraisemblance ; les comparaisons des différents modèles ont été faites à l'aide du critère d'information d'Akaike (AIC) (Burnham et al., 2011). En cas de problème de surdispersion, les paramètres ont été estimés à l'aide d'un modèle binomial négatif plus à même d'obtenir des estimations correctes des variances des estimateurs (Lawless, 1987). Les estimations ont été présentées en fonction des facteurs (sexe, classe d'âge, système d'élevage) lorsque ceux-ci étaient significatifs. Les distributions sexe - classe d'âge des effectifs d'animaux par type de système d'élevage ont été comparées à l'aide d'un test du chi deux.

### Estimation de la productivité

La productivité numérique  $Q$  du cheptel est le nombre d'animaux exploitables durant une année pour un effectif standard de 100 animaux. Elle est estimée de la manière suivante :  $Q = \frac{\Delta N + O}{N}$

$\Delta N$  est la variation annuelle du nombre d'animaux ;  $O$  l'exploitation nette, soit le nombre d'animaux exploités (abattage, vente, confiage, don) minoré des animaux importés ; et  $N$  l'effectif annuel moyen du cheptel. La productivité  $Q$  a ensuite été traduite en nombre de têtes ou en quantité de viande.

Les productivités numériques (nombre d'animaux et quantité de viande produite) ont été simulées à l'aide du module Steady 1 du modèle de projection démographique Dynmod (Lesnoff, 2013). Le modèle Dynmod est construit à partir d'un modèle matriciel à temps discret déterministe où les événements démographiques sont catégorisés par sexe et par âge. Le module Steady 1 permet de simuler l'effectif d'animaux pour une année sous la condition d'équilibre démographique, c'est-à-dire en fixant une structure sexe-âge et un taux de croît de la population constants. Outre le fait que ce type de modèle permet d'estimer la productivité d'un cheptel en intégrant l'ensemble des paramètres démographiques (reproduction, mortalités et exploitation), la contrainte d'équilibre démographique a l'avantage de permettre de comparer différentes situations démographiques à partir de la même base définie par la structure des effectifs d'animaux par sexe et par âge. On peut alors facilement étudier l'effet de la variation des paramètres démographiques comme le taux de mises bas ou la proportion de femelles dans le cheptel (Upton, 1989). Un autre avantage de la contrainte d'équilibre démographique est que les simulations sont réalisées dans un contexte démographique stable, affranchies des fluctuations transitoires des effectifs d'animaux

qui peuvent survenir juste après une modification des paramètres démographiques sur la structure sexe-âge du cheptel.

Les résultats des simulations ont été exprimés en effectifs d'animaux exploités annuellement dans les différentes catégories d'animaux. Pour exprimer ce résultat en poids de viande, les poids vifs des animaux et le rendement carcasse à l'abattage ont été obtenus à partir de la littérature (Dehoux et Hounsou-ve, 1993 ; Tawah et Mbah, 1993 ; Youssao et al., 2000).

### Formalisation des scénarios

Le module Steady 1 de Dynmod a permis de simuler l'effet de la sédentarisation partielle des troupeaux mobiles sur la production numérique et de viande des élevages semi-sédentaires et mobiles. La sédentarisation partielle a été modélisée en augmentant la part des élevages semi-sédentaires au détriment des élevages mobiles. Les scénarios envisagés se situent après une phase de sédentarisation. Deux hypothèses de sédentarisation ont été envisagées : un taux de sédentarisation moyen (15 %), et un taux plus élevé (30 %). On suppose que les pratiques et la composition des troupeaux des éleveurs mobiles sédentarisés, ainsi que les paramètres démographiques, sont similaires à ceux des semi-sédentaires. Le scénario 1 envisage uniquement l'effet de la sédentarisation à deux niveaux possibles, 15 % et 30 % des éleveurs mobiles, alors que les scénarios 2 à 5 explorent en plus différentes pistes d'amélioration de la production de l'ensemble des éleveurs semi-sédentaires pour compenser l'effet de la sédentarisation (tableau II).

Dans le scénario 1 (+15 %) la proportion d'élevages semi-sédentaires a été augmentée de 15 %, les autres paramètres sont restés égaux à leurs valeurs de 2012.

Dans le scénario 2 (+vache %) la proportion de femelles a été augmentée de 10 % ou 20 % en intensifiant l'exploitation des mâles (le taux d'exploitation des mâles a été la variable d'ajustement de la proportion de femelles dans le cheptel). Il n'y avait pas d'importation d'animaux.

Dans le scénario 3 (+repro %) le taux de mises bas a été augmenté de 10 % ou 20 % par une meilleure alimentation ciblée des vaches.

Dans le scénario 4 (+poids) le poids vif des différentes catégories d'animaux a été augmenté de 10 % ou 20 % par une meilleure alimentation du cheptel semi-sédentaire à l'aide de réserves de fourrage sur pied ou sous forme de foin, de culture fourragère, de concentrés alimentaires pour bétail, et une meilleure réglementation de l'accès aux points d'eau en saison sèche et aux ressources forestières en saison pluvieuse.

Dans le scénario 5 (+combiné) la proportion de femelles, le taux de mises bas et le poids vif des différentes catégories d'animaux ont été augmentés simultanément de 10 % ou 20 %.

Les résultats des simulations ont ensuite été comparés aux productivités numérique et en viande de l'année 2012 qui a servi d'année de référence pour analyser la variation de la production. Enfin, pour tester l'effet d'une sédentarisation plus importante, les cinq scénarios ont été repris avec un accroissement du cheptel semi-sédentaire de 30 % par sédentarisation partielle des éleveurs mobiles, pour s'adapter aux difficultés de mobilité.

Tableau I

Description des effectifs bovins (n) dans les troupeaux échantillonnés au Nord Bénin

Système d'élevage	Nombre de troupeaux	Minimum (n)	Maximum (n)	Moyenne (n)	Ecart-type	Total (n)
Semi-sédentaire	26	10	70	30	18	757
Mobile	26	9	86	35	21	900

Tableau II

Variations selon le scénario (S) avec 15 % d'augmentation du cheptel semi-sédentaire au Nord Bénin

Variations	Réf. 2012	S1		S2		S3		S4		S5	
		+15 %		S1 +vache %		S1 +repro %		S1 +poids		S1 +combiné	
		10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %
Cheptel semi-sédentaire (%)	42	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Proportion de femelles	59	59	69	79	59	59	59	59	59	69	79
Taux de mises bas (/ 100 vaches / an)	43	43	43	43	53	63	43	43	53	63	63
Poids vif d'un mâle adulte (kg)*	246	246	246	246	246	246	258	271	258	271	271

\* Le poids vif des mâles adultes est pris à titre d'exemple ; S1 : + 15 % d'élevages semi-séd. ; S2 : + 10 ou 20 % de femelles en intensifiant l'exploitation des mâles ; S3 : + 10 ou 20 % de mises bas par meilleure alimentation des vaches ; S4 : + 10 ou 20 % de poids vif des différentes catégories d'animaux par meilleure alimentation du cheptel semi-séd. ; S5 : + 10 ou 20 % simultanément de femelles, de taux de mises bas et de poids vif des différentes catégories d'animaux

■ RESULTATS

**Paramètres démographiques**

Les principales différences entre les systèmes mobile et semi-sédentaire ont été la structure sexe-âge et la fertilité plus élevée des mobiles. Les effectifs des différentes classes d'âge (tableau III) ont révélé qu'il y avait plus de femelles (70 % vs 59 %) et en particulier de génisses (25 % vs 19 %) dans les élevages mobiles. Par ailleurs, un surplus de taurillons a été noté chez les semi-sédentaires (27 %) et un déficit de taurillons chez les mobiles (18 %). Cela suggère un transfert des jeunes mâles depuis le système mobile vers le système semi-sédentaire. Le taux de mises bas annuel du système mobile a été de 0,63 (± 0,05) et celui du système semi-sédentaire de 0,53 (± 0,05). En revanche, les taux de mortalités n'ont été que marginalement plus élevés dans les élevages semi-sédentaires. Pour les trois classes d'âge (juvénile 0-12 mois, subadulte 13-36 mois, adulte 37-192 mois), les taux de mortalités annuels ont été respectivement de 0,05 (± 0,02), 0,06 (± 0,02) et 0,07 (± 0,02) chez les mobiles, et de 0,05 (± 0,02), 0,07 (± 0,02) et 0,08 (± 0,03) chez les semi-sédentaires. Les taux d'exploitation nets (tableau IV) ont permis d'estimer le flux d'animaux entre les deux systèmes puisque des animaux vendus dans un système pouvaient être achetés par l'autre. Il est relevé dans le tableau d'exploitation des importations de génisses. Ces importations correspondaient à des confiages de génisses nées dans le troupeau et achetées par d'autres paysans qui en laissaient la garde aux éleveurs vendeurs. Lors de l'enquête, ces génisses ont été déclarées en confiage mais elles ne provenaient pas de troupeaux extérieurs.

**Productivités numérique et en viande**

Le diagnostic de performances productives a révélé que la productivité numérique annuelle différait de six points entre élevages semi-sédentaires (8,4 %) et mobiles (12,7 %) alors que la productivité en viande était similaire, respectivement de 12,6 et 12,9 kg de viande par animal par an.

Les performances du bassin ont révélé une production annuelle de 4963 animaux, soit 562 tonnes en équivalent viande. Ceci équivaut à une disponibilité en viande de 2,1 kg par habitant par an. Le scénario 1 a montré qu'une augmentation de la proportion de semi-sédentaires de 15 % entraînerait une perte de production numérique de 6 % mais n'affecterait que très peu la production de viande. Le scénario 2, qui suggère une plus grande exploitation des jeunes mâles en vue d'augmenter la proportion de femelles, engendrerait une augmentation de la production numérique de 9 % et une baisse de la production de viande de 6 %. Dans

Tableau III

Structure sexe-âge des cheptels semi-sédentaire et mobile au Nord Bénin

Sexe	Age	Semi-sédentaire		Mobile	
		(n)	%	(n)	%
Femelle	Velle (0-1 an)	49	6	78	9
	Génisse (1-4 ans)	144	19	225	25
	Vache (> 4 ans)	257	34	325	36
Sous-total		450	59	628	70
Mâle	Veau (0-1 an)	56	8	86	9
	Taurillon (1-4 ans)	206	27	159	18
	Taureau (> 4 ans)	45	6	27	3
Sous-total		307	41	272	30
Total		757	46	900	54

Tableau IV

Taux d'exploitation nets (bovins exploités sur 100 animaux par an) au Nord Bénin

Sexe	Age	Type d'élevage		Moyenne
		Semi-sédentaire	Mobile	
Femelle	Velle (0-1 an)	0	0	0
	Génisse (1-4 ans)	- 7 *	- 13	- 11
	Vache (> 4 ans)	9	0	3
Mâle	Veau (0-1 an)	- 4	- 01	- 3
	Taurillon (1-4 ans)	- 15	30	11
	Taureau (> 4 ans)	17	59	42

\* Un taux d'exploitation net négatif correspond à une importation d'animaux.

les scénarios 3 et 4, les améliorations respectives du taux de mises bas et du poids vif de toutes les catégories d'animaux ne suffisent pas à enrayer une perte de production numérique respectivement de 5 % et 6 % mais

permettraient une augmentation de la production de viande de 5 % dans les deux cas (tableau V). Le scénario 5 montre que des augmentations combinées de la proportion de femelles, du taux de mises bas et du poids vif de toutes les catégories d'animaux engendreraient des augmentations simultanées de la production numérique de 12 % et de la production de viande de 5 %.

Les résultats étaient qualitativement similaires avec une augmentation de 30 % de la population semi-sédentaire avec une hausse de la production numérique et une perte encore plus importante de la production de viande, sauf dans le cas d'une amélioration combinée des trois paramètres de production. Les tendances révélées par les scénarios ont également été similaires (tableau VI).

## ■ DISCUSSION

### *Différences de productivité entre systèmes mobile et semi-sédentaire*

La différence de productivité entre l'élevage semi-sédentaire et l'élevage mobile était la conséquence des différences observées au niveau de la proportion de femelles et du taux de mises bas. En effet, si le taux moyen de mises bas de 0,58 observé dans le bassin correspondait à la moyenne de la zone subsaharienne (Otte et Chilonda, 2002), les résultats ont montré que le taux de mises bas des élevages mobiles (0,63) était supérieur à celui des élevages semi-sédentaires (0,53). Cette différence pourrait être due à une meilleure alimentation des animaux par les éleveurs mobiles et leur savoir-faire pastoral, comme la conduite des troupeaux sur les parcours et la pâture de nuit (Chabi Toko et al., 2016). L'importation (achat, don, confiage) et l'engraissement de jeunes animaux mâles pour partie issus des élevages mobiles permettaient aux élevages semi-sédentaires de compenser leur faible production numérique par une production en viande presque égale à celle des élevages mobiles.

Toutefois, les paramètres démographiques des systèmes d'élevage n'ayant été estimés que sur l'année 2012, le diagnostic pourrait paraître insuffisant pour n'avoir pas intégré la variabilité interannuelle de ces paramètres. On peut cependant supposer que le diagnostic de l'année 2012 pourrait correspondre à celui d'une année moyenne compte tenu des déclarations des éleveurs au moment de l'enquête. En effet les entretiens avec les éleveurs suggéraient que l'année 2012 était une année moyenne du point de vue météorologique (pas d'inondation ni de sécheresse), sanitaire (aucune épidémie enregistrée) et favorable du point de vue sociétal (aucun conflit sanglant entraînant le départ ou l'arrivée massive de troupeaux signalé, contrairement aux années 2003 et 2007).

### *Effets d'une politique de sédentarisation sur la production et la complémentarité des systèmes d'élevage*

Les résultats ont révélé que la production moyenne du bassin en viande bovine était estimée à 562 tonnes en 2012. Nos scénarios ont montré qu'un accroissement annuel du cheptel semi-sédentaire de 15 % du fait d'une sédentarisation partielle des éleveurs mobiles entraînerait à terme une baisse de la production de viande bovine de 6 %. Cette situation provoquerait un déficit accru de la balance commerciale en viande (toutes catégories confondues) du Bénin. En effet, pour une production de viande de 63 000 tonnes en 2012, le Bénin a importé 184 000 tonnes de viande la même année, soit près du triple de la production nationale (Dognon et al., 2018). Afin de maintenir la production de viande bovine à son niveau de 2012 après une sédentarisation partielle des élevages mobiles, il faudrait trouver d'autres sources d'approvisionnement de jeunes animaux à engraisser et améliorer simultanément d'au moins 10 % le taux de mises bas et le poids vif de toutes les catégories d'animaux du cheptel semi-sédentaire. Pour améliorer l'alimentation de leurs animaux et compenser l'amenuisement des ressources pastorales, les éleveurs sédentarisés pourraient adopter une agriculture céréalière

Tableau V

Productivité selon le scénario (S) avec 15 % d'augmentation du cheptel bovin semi-sédentaire au Nord Bénin

Variations	Réf. 2012	S1		S2		S3		S4		S5	
		+15 %		S1 +vache %		S1 +repro %		S1 +poids		S1 +combiné	
		10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %
Numérique	0	-6	9	24	-5	-4	-6	-6	12	34	
En viande	0	0	-6	-7	5	9	5	11	5	21	

S1 : + 15 % d'élevages semi-séd. ; S2 : + 10 ou 20 % de femelles en intensifiant l'exploitation des mâles ; S3 : + 10 ou 20 % de mises bas par meilleure alimentation des vaches ; S4 : + 10 ou 20 % de poids vif des différentes catégories d'animaux par meilleure alimentation du cheptel semi-séd. ; S5 : + 10 ou 20 % simultanément de femelles, de taux de mises bas et de poids vif des différentes catégories d'animaux

Tableau VI

Productivité selon le scénario (S) avec 30 % d'augmentation du cheptel bovin semi-sédentaire au Nord Bénin

Variations	Réf. 2012	S1		S2		S3		S4		S5	
		+30 %		S1 +vache %		S1 +repro %		S1 +poids		S1 +combiné	
		10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %
Numérique	0	-12	7	26	-11	-9	-12	-12	11	38	
En viande	0	-1	-8	-9	6	11	6	13	6	27	

S1 : + 30 % d'élevages semi-séd. ; S2 : + 10 ou 20 % de femelles en intensifiant l'exploitation des mâles ; S3 : + 10 ou 20 % de mises bas par meilleure alimentation des vaches ; S4 : + 10 ou 20 % de poids vif des différentes catégories d'animaux par meilleure alimentation du cheptel semi-séd. ; S5 : + 10 ou 20 % simultanément de femelles, de taux de mises bas et de poids vif des différentes catégories d'animaux

valorisant la fumure animale, afin de diversifier les revenus et suppléer à la diminution de la production de bétail (Dongmo et al., 2012).

Du point de vue de la sécurité alimentaire, la disponibilité du bassin en viande bovine de 2,1 kg par habitant par an qui est faible par rapport à la moyenne en Afrique subsaharienne (3,6 kg) (FAO, 2013) est loin de satisfaire la demande des populations (ville et campagne) estimée à 11 kg par habitant par an en Afrique subsaharienne (Otte et Chilonda, 2002). Selon ces auteurs, cette demande devrait encore augmenter avec l'urbanisation, l'amélioration des revenus et le développement économique que connaît cette région. Dans cette perspective, la sédentarisation, même appuyée par une amélioration des taux de mises bas et une augmentation de la proportion de vaches dans les troupeaux, ne semble pas satisfaire la forte demande attendue en produits d'élevage. Plusieurs auteurs ont montré que les productivités numérique et en viande étaient sensibles à la proportion de femelles dans les troupeaux et au taux de mises bas (Ba et al., 2011 ; Lesnoff, 2015). Cependant les deux types de production n'y sont pas sensibles de la même façon. En augmentant la proportion de femelles dans le troupeau, on observe une augmentation numérique des naissances mais aussi une diminution de la production de viande du fait de l'exploitation accrue des jeunes mâles. En effet, pour augmenter la proportion de femelles dans le troupeau, il faut exploiter davantage les jeunes mâles, alors que ce sont l'engraissement de ces jeunes mâles et leur exploitation à des poids lourds qui garantissent un bon rendement en viande.

La sédentarisation des éleveurs mobiles entraîne non seulement une diminution de la production de viande mais elle rompt aussi une complémentarité locale entre deux systèmes (semi-sédentaire et mobile). Cette rupture est vraie, quel que soit le taux de sédentarisation (15 ou 30 %) de l'élevage mobile.

## ■ CONCLUSION

La Donga est un bassin de production bovine local, caractérisé par la cohabitation de deux systèmes d'élevage bovin : un système mobile (naiseur) et un système semi-sédentaire (mixte) qui comporte une vocation d'embouche. Si des aménagements appropriés (réhabilitation et extension des ouvrages hydrauliques, sécurisation des aires de pâturage et des axes de transhumance) ne sont pas réalisés pour maintenir la complémentarité des deux types d'élevages et si les éleveurs mobiles se sédentarisent sous la pression des dynamiques de populations et d'occupation du sol, le système semi-sédentaire manquera de source d'approvisionnement en jeunes animaux. On observera alors une baisse de la production de viande des éleveurs du bassin.

Les scénarios d'amélioration de la production par une augmentation de la proportion de femelles dans les troupeaux, du taux de mises bas et des poids vifs des animaux ont révélé certes une amélioration de la production numérique annuelle, mais ces augmentations ne suffiraient pas pour réduire la baisse de production annuelle de viande, sauf si les augmentations des trois paramètres étaient combinées. Si la sédentarisation partielle de l'élevage mobile brise la complémentarité locale des deux systèmes d'élevage, il importe alors de développer la complémentarité régionale avec les éleveurs pastoraux naisseurs des pays sahéliens (Mali, Burkina Faso, Niger) afin qu'ils puissent approvisionner les éleveurs sédentaires du bassin de la Donga pour continuer la pratique d'une embouche indispensable à l'approvisionnement local en viande bovine.

## Déclaration des contributions des auteurs

KLSAS, AI, SM et MH ont participé à la conception et à la planification de l'étude ; KLSAS a recueilli les données ; KLSAS, ML et SM ont effectué les analyses statistiques ; KLSAS a rédigé la première version du manuscrit ; SM et HVF ont révisé le manuscrit ; tous les auteurs autorisent la soumission de la version finale en vue de sa publication.

## REFERENCES

- Ba A., Lesnoff M., René P.-C., Moulin C.-H., 2011. Demographic dynamics and offtake of cattle herds in Southern Mali. *Trop. Anim. Health Prod.*, **43** (6): 1101-1109, doi: 10.1007/s11250-011-9808-2
- Banoïn M., Guengant J.-P., 1998. Les systèmes agraires traditionnels nigériens dans l'impasse face à la démographie. In : Atelier Jachère et systèmes agraires, Université de Niamey, Niger, 30 sept. - 2 oct., 14 p.
- Biau C.F., Guidibi E., 2006. Monographie de la commune de Djougou. Afrique Conseil, Programme d'appui au démarrage des communes, Bénin
- Blanc-Pamard C., Boutrais J., 1994. Dynamique des systèmes agraires à la croisée des parcours : pasteurs, éleveurs, cultivateurs. Orstom, Paris, France 340 p.
- Blanchard M., Peugeot C., Seghier J., 2007. Structure et dynamique saisonnière de la végétation sur quatre types de couvert végétal représentatifs de la diversité du bassin versant de la Donga. Gestion de l'hydraulique, Cotonou, Bénin / HydroSciences, Montpellier / IRD, Montpellier, France
- Blein R., Soulé B.G., Dupaigne B.F.D., Yérima B., 2008. Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (Cedeao). Fondation pour l'agriculture dans le monde, Presles, France, 116 p.
- Burnham K.P., Anderson D.R., Huyvaert K.P., 2011. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, **65**: 23-35, doi: 10.1007/s00265-010-1029-6
- Chabi Toko R., Adégbidi A., Lebailly P., 2016. Demography and zootechnical performance of traditional cattle farming in Northern Benin. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **69** (1): 33-39, doi: 10.19182/remvt.31169
- CIPEA, 1984. La production animale dans la zone subhumide de l'Afrique de l'Ouest : une étude régionale. CIPEA, Addis-Abeba, Ethiopie, 114 p.
- Collett D., 2002. Modelling binary data. CRC Press, New York, USA, 391 p.
- Convers A., Chaïbou I., Binot A., Dulieu D., 2007. La gestion de la transhumance dans la zone d'influence du parc régional du W par le programme Ecopas : une « approche projet » pour l'aménagement de la périphérie du parc. *Vertigo*, hors-série (4), doi : 10.4000/vertigo.761
- D'Aquino P., Lhoste P., Le Maçon A., 1995. Systèmes de production mixtes agriculture pluviale et élevage en zones humide et sub-humide d'Afrique. Cirad-emvt, Maisons-Alfort, France, 103 p.
- Dehoux J.P., Hounsou-ve G., 1993. Productivité de la race bovine Borgou selon les systèmes d'élevage traditionnels au nord-est du Bénin. FAO, Rome, Italie
- Dembélé N.N., 2001. Sécurité alimentaire en Afrique sub-saharienne : Quelle stratégie de réalisation ? Pasidma, Bamako, Mali 25 p.
- Dognon S.R., Salifou C.F.A., Dognon J., Dahouda M., Scippo M.-L., Youssao A.K.I., 2018. Production, importation et qualité des viandes consommées au Bénin. *J. Appl. Biosci.*, **124** : 12476-12488
- Dongmo A.L., Djamen P., Vall E., Koussou M.-O., Coulibaly D., Lossouarn J., 2012. Du nomadisme à la sédentarisation : l'élevage d'Afrique de l'Ouest et du Centre en quête d'innovation et de durabilité. *Rev. Ethnoécol.* (1) : 147-161, doi : 10.4000/ethnoecologie.779
- FAO, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. FAO, Rome, Italie
- FAO, 2013a. Bilan alimentaire viande. In: FAO Statistical Yearbook 2013. FAO, Rome, Italy
- FAO, 2013b. Total des effectifs d'animaux vivants. In: FAO Food-Security-Statistics 2013. FAO, Rome, Italy
- INSAE, 2016. Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin. INSAE, Cotonou, Bénin, 85 p.
- Jouve P., 2007. Le jeu croisé des dynamiques agraires et foncières en Afrique subsaharienne. *Cah. Agric.*, **16** (5) : 379-385, doi : 10.1684/agr.2007.0130
- Judex M., Thamm H.-P., 2008. IMPETUS Atlas Benin, research results 2000-2007. University of Bonn, Germany, 144 p.
- Lawless J.F., 1987. Negative binomial and mixed Poisson regression. *Can. J. Stat.*, **15** (3): 209-25, doi: 10.2307/3314912
- Leroux L., 2012. Analyse diachronique de la dynamique paysagère sur le bassin supérieur de l'Ouémé (Bénin) à partir de l'imagerie Landsat et Modis - Cas d'étude du communal de Djougou ; rapport. Hydrosociences Montpellier, France, 62 p.
- Lesnoff M., Messad S., Juanès X., 2013a. 12MO: A cross-sectional retrospective method for estimating livestock demographic parameters in tropical small-holder farming systems, Vers. 2. CIRAD, Montpellier, France, <http://livtools.cirad.fr>



- Lesnoff M., 2013b. Dynmod: A spreadsheet interface for demographic projections of tropical livestock populations. User's Manual. CIRAD, Montpellier, France, <http://livtools.cirad.fr>
- MAEP, 2012. Annuaire statistique sur l'élevage. Direction de l'Élevage, ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Bénin, 79 p.
- Natali K.L., 2008. De la mobilité à la sédentarisation : gestion des ressources naturelles et des territoires par les éleveurs Mbororo au nord du Cameroun. Thèse Doct., Université Montpellier III Paul Valéry, Montpellier, France, 285 p.
- Otte M.J., Chilonda P., 2002. Cattle and small ruminant production systems in Sub-Saharan Africa: livestock information sector analysis and policy branch. A systematic review. FAO, Rome, Italy, 109 p.
- Robert E., Merlet S., Auda Y., Gangneron F., Hiernaux P., 2018. Dynamiques de l'occupation du sol en milieu agro-pastoral dans la commune de Djougou au Bénin à partir d'images Landsat acquises entre 1984 et 2012 : une approche régressive associant télédétection et enquêtes de terrain. *Photo Interprétation*, hors-série (53) : 2-16
- Séguis L., Galle S., Arjounin M., Boubkraoui S., Bouchez J.-M., Braud I., Cazenave F., et al., 2004. Caractérisation des processus hydrologiques sur le super-site de la Donga, haut bassin de l'Ouémé (Bénin). In : Atelier Expérimentation et instrumentation, Paris, France, 23-24 mars 2004
- Sounon A., 2016. Diversité, vulnérabilité et adaptation de l'élevage bovin dans le bassin de la Donga au Bénin : changement du milieu et transformation des systèmes. Thèse Doct., Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Bénin, 257 p.
- Tawah C.L., Mbah D.A., 1993. Amélioration génétique : bilan et perspectives dans les pays du Sud. In : Maîtrise de la reproduction et amélioration génétique des ruminants. Les nouvelles éditions du Sénégal, Dakar, Sénégal, 119-143 (Coll. Universités francophones de l'UREF)
- Upton M., 1989. Livestock productivity assessment and herd growth models. *Agric. Syst.*, **29** (2): 149-164, doi : 10.1016/0308-521X(89)90060-7
- Youssao A.K.I., Ahissou A., Touré Z., Leroy P.L., 2000. Productivity of the Borgu breed at the Okpara breeding farm in Benin. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.* **53** (1): 67-74, doi: 10.19182/remvt.9766

## Summary

**Sounon K.L.S.A., Ickowicz A., Lesnoff M., Messad S., Valls-Fox H., Houinato M.R.B.** Impact of the sedentarization of pastoralists on cattle production in Northern Benin

Two main cattle farming systems coexist in Donga Basin in Northern Benin: semi-sedentary and mobile livestock farming. This basin, located in the subhumid agroecological zone of West Africa, has undergone two major changes in recent decades: i) an increase in the need for animal products, and ii) the expansion of cropland resulting in reduced access to fodder resources and water, increased herd mobility, and more frequent conflicts between farmers and mobile herders. Faced with these constraints, the public authorities favor the sedentarization of pastoralists. As mobile livestock farming provides young animals to semi-sedentary livestock farming, sedentarization dynamics create uncertainty as to the supply to the region of cattle and beef by semi-sedentary livestock farming, which would become the dominant herding system. To address the growing need for animal products, livestock production was simulated to assess the effects of government incentives to sedentarize mobile herders. Numerical and beef productivities were simulated under different hypotheses to improve the zootechnical performances of semi-sedentary livestock farms. All the scenarios were built on the assumption that the increase in semi-sedentary livestock was directly linked to the sedentarization of some mobile farmers. A simulation obtained using the DYNAMOD population projection model suggests that sedentarization of mobile livestock farmers would break local complementarity between livestock systems and lead to a loss of beef production. In addition, none of the improvement scenarios explored would be sufficient to offset the loss of beef production resulting from the sedentarization policy. To maintain beef production by semi-sedentary breeders, regional trade links with livestock farms in Sahelian countries would have to be developed.

**Keywords:** cattle, animal husbandry method, livestock numbers, pastoralism, productivity, simulation models, Benin

## Resumen

**Sounon K.L.S.A., Ickowicz A., Lesnoff M., Messad S., Valls-Fox H., Houinato M.R.B.** Impacto de la sedentarización de los ganaderos sobre la producción bovina en el norte de Benín

En la cuenca de Donga, norte de Benín, coexisten fundamentalmente dos sistemas de ganadería bovina: la semi-sedentaria y la móvil. Esta cuenca, ubicada en la zona agroecológica subhúmeda de África Occidental, ha sufrido en las últimas décadas dos cambios importantes: a) un aumento en la demanda de productos de origen animal y b) la expansión de tierras cultivadas conllevando a una disminución del acceso a recursos forrajeros y agua, y por ende a un gran aumento en la movilidad de los rebaños y conflictos más frecuentes entre agricultores y pastores. Ante esta problemática, las autoridades públicas favorecen la sedentarización de los pastores móviles. Dado que los rebaños con sistema móvil proveen de animales jóvenes a los rebaños semimóviles, la dinámica de sedentarización provoca incertidumbre sobre el aprovisionamiento de ganado en la región, así como de carne a través de la cría semimóvil, la cual vendría ampliamente mayoritaria. Para abordar la creciente necesidad de productos animales, se simuló la producción ganadera para evaluar el efecto de los incentivos gubernamentales para sedentarizar a los pastores móviles. Se simuló la productividad numérica y de carne bajo diferentes hipótesis para mejorar el rendimiento zootécnico de los rebaños semi-sedentarios. Todos los escenarios se construyeron bajo el supuesto de aumentar el rebaño semi-sedentario directamente relacionado con la sedentarización de una parte de los rebaños móviles. Una simulación obtenida utilizando el modelo de proyección de población Dynmod sugiere que la sedentarización de los pastores móviles rompería la complementariedad entre los sistemas agrícolas locales y conduciría a una pérdida de producción de carne. Por otra parte, ninguno de los escenarios de mejora explorados sería suficiente para compensar la pérdida de producción de carne resultante de la política de sedentarización. Para mantener la producción de carne bovina por parte de los ganaderos semi-sedentarios, se deberían desarrollar vínculos comerciales regionales con las zonas ganaderas del Sahel.

**Palabras clave:** ganado bovino, métodos de crianza, número de cabezas, pastoralismo, productividad, modelos de simulación, Benín



# Genetic variation in wild populations and farmed stocks of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Madagascar

Monique Ravakarivelo<sup>1,2</sup> Elodie Pepey<sup>3,4</sup> John A. H. Benzie<sup>5,6</sup>  
 Noromalala Raminosoa<sup>1</sup> Harentsoaniaina Rasamoelina<sup>1</sup>  
 Olivier Mikolasek<sup>3,4</sup> Hugues de Verdal<sup>3,4,6\*</sup>

## Keywords

*Oreochromis niloticus*, fish, tilapia, animal population, genetic variation, genetic structures, Madagascar

Submitted: 7 June 2018  
 Accepted: 5 September 2019  
 Published: 30 September 2019  
 DOI: 10.19182/remvt.31780

## Summary

Four farmed stocks and four wild populations of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), which was first introduced to Madagascar sixty years ago, were assayed for genetic variation at nine microsatellite loci to determine levels of genetic diversity within populations and genetic relationships between them. Allelic diversity overlapped with that found in previously sampled populations elsewhere in Africa. There was no evidence of deviations from allele frequencies expected under conditions of Hardy-Weinberg equilibrium or of inbreeding in studied populations. Three distinct clusters of genotypes provided evidence of three separate introductions (from Egypt and Mauritius in 1956, and from Japan in 2011), and the occurrence of genotypes from more than one cluster within a single population provided evidence of their mixing. There were significant differences between populations which were not from the same environment (wild or farmed) or were not geographically related. Wild populations may be a valuable resource to support further development of farmed stocks from the perspective of genetic diversity.

■ How to quote this article: Ravakarivelo M., Pepey E., Benzie J.A.H., Raminosoa N., Rasamoelina H., Mikolasek O., de Verdal H., 2019. Genetic variation in wild populations and farmed stocks of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Madagascar. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 72 (3): 101-106, doi: 10.19182/remvt.31780

## ■ INTRODUCTION

Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, is the second most frequently farmed fish worldwide after carps (FAO, 2014). World production is expected to attain 7.3 million tons a year in 2030 (FAO, 2014) with a market value of around 5 billion USD. Nile tilapia was introduced to Madagascar in 1956 from Egypt and Mauritius (Kiener, 1963; Moreau, 1988). Wild populations of this species were rapidly established and are now widely spread in natural lakes and rivers. Nile

tilapia has become one of the major fish species consumed in the country.

Although freshwater aquaculture in Madagascar is dominated by carps and tilapias, production has remained low (3763 tons, FAO, 2010-2019). One possible contributory factor to the low production is the potential low genetic variability and inbreeding in the wild populations themselves or in the farmed stocks derived from them, or both. In the past, although large numbers of fish may have been introduced, their genetic diversity was unknown and potentially limited. In addition, a small number of fish is used as breeders to develop the founder stock in individual farms in Madagascar. These practices are known to reduce genetic variability, increase inbreeding and thus reduce fish growth performance (Chevassus, 1989; Ferguson et al., 1985).

Rakotoambinima et al. (2009) noted the importance of estimating the genetic variability of this species about 50 years after its introduction and checking the relationships between wild and farmed fish. Estimates of genetic diversity are essential to manage the biodiversity of local resources (Beaumont and Hoare, 2003; Romana-Eguia et al., 2005) and are required to assess the soundness (sufficient variability and lack of inbreeding) of the stocks for the development of aquaculture (Desvignes et al., 2001; Thai et al., 2006). In the last decade

1. FOFIFA, DRZVP, Ampandrianomby, Antananarivo, Madagascar.
2. Department of Animal Biology, University of Antananarivo, Antananarivo, Madagascar.
3. CIRAD, UMR ISEM, TA B-116/16, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France.
4. SEM, Univ Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, Montpellier, France.
5. School of Biological Earth and Environmental Sciences, University College Cork, Cork Ireland.
6. Worldfish, Jalan Batu Maung, Bayan Lepas, Penang, Malaysia.

\* Corresponding author  
 Tel.: +33 4 67 61 44 67; email: hugues.de\_verdal@cirad.fr

 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

authorities and fish farmers increased genetic mixing through exchanges of breeders between farms and controlled restocking in different locations, in attempts to avoid diversity reduction and inbreeding. New strains of Nile tilapias were also introduced in 2011 and 2013 from Japan and Thailand, respectively, with a production objective. To date, however, there has been no direct measurement of the genetic variability of wild and farmed stocks.

The aims of the present study were 1) to assess the genetic structure of wild populations and farmed stocks of Nile tilapia using microsatellites to understand the present genetic diversity of Nile tilapia in Madagascar, and 2) to assess whether the inbreeding levels could affect fish farming development of this species in the country.

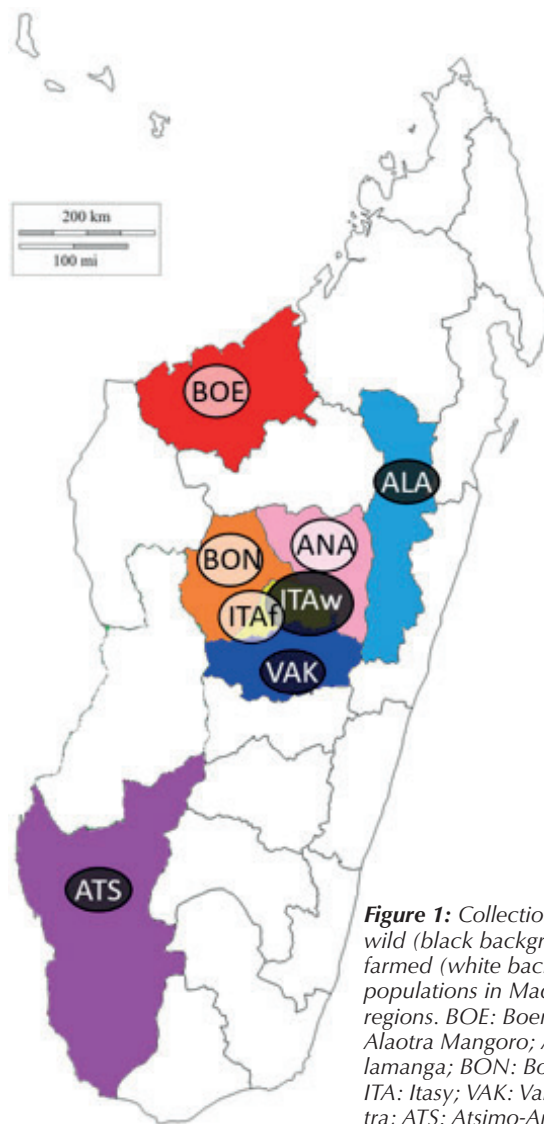
■ MATERIALS AND METHODS

**Samples**

A total of 306 samples from wild populations and farmed stocks were collected between 2011 and 2012 from eight locations in seven regions in Madagascar (ALA: Alaotra Mangoro; ANA: Analamanga; ATS: Atsimo-Andrefana; BOE: Boeny; BON: Bongolava; ITA: Itasy; VAK: Vakinankaratra) (Figure 1). Fish were sampled from four farms maintaining breeding stock, and from natural locations known to have wild populations. Although we aimed at sampling 50 fish per location, the low number of fish available at some sites and the difficulties met with in tissue preservation explained the lower sample sizes obtained for some populations (Table I). A small piece of dorsal fin was cut from each individual fish sampled, stored in 95% ethanol and exported to France for DNA analyses.

**DNA extraction**

Genomic DNA extraction was performed at the French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD), Montpellier, France, with two commercial kits. Genomic DNA from ALA, ITA wild (ITAw), ITA farmed (ITAf), VAK and ANA populations was extracted using Chelex 100 resin extraction kit (Bio-Rad, France) as a rapid and simple technique for extracting DNA with a reduced potential



**Figure 1:** Collection sites for wild (black background) and farmed (white background) populations in Madagascar regions. BOE: Boeny; ALA: Alaotra Mangoro; ANA: Analamanga; BON: Bongolava; ITA: Itasy; VAK: Vakinankaratra; ATS: Atsimo-Andrefana.

**Table I**

Sample size (n), average number of alleles per locus (A), number of private alleles per population (pA), observed heterozygosity (H<sub>0</sub>), expected heterozygosity (H<sub>E</sub>) and inbreeding coefficient (F<sub>IS</sub>) based on the average of nine polymorphic microsatellite loci for eight Nile tilapia populations in Madagascar

Population	n	A	pA	H <sub>0</sub>	H <sub>E</sub>	H <sub>0</sub> /H <sub>E</sub>	F <sub>IS</sub>
<b>Farmed</b>							
BOE	27	3.78	7	0.54	0.55	0.98	-0.16
ANA	25	5.22	1	0.67	0.70	0.95	0.07
BON	24	5.22	2	0.58	0.64	0.90	0.25
ITAf	50	8.78	17	0.69	0.74	0.93	0.05
Mean	31.5	5.75	6.75	0.62	0.66	0.94	0.05
<b>Wild</b>							
ALA	50	5.44	4	0.49	0.49	0.99	-0.18
ITAw	50	8.89	29	0.66	0.77	0.86	0.03
VAK	50	3.33	1	0.55	0.54	1.02	0.04
ATS	30	4.56	4	0.59	0.59	1.00	-0.06
Mean	45	5.56	9.5	0.57	0.60	0.97	-0.04

Populations in each group are listed from the most northern to the most southern sites. BOE: Boeny; ANA: Analamanga; BON: Bongolava; ITA: Itasy; ALA: Alaotra Mangoro; VAK: Vakinankaratra; ATS: Atsimo-Andrefana; w: wild; f: farmed; H<sub>0</sub>/H<sub>E</sub> and F<sub>IS</sub> are not significantly different from 1 and 0, respectively.

for contamination given the low number of steps and reagents added (Walsh et al., 1991; Musapa et al., 2013). Fin clip samples were placed in 96 well plates with 150  $\mu$ l of Chelex solution at 5% already prepared and stirred. Then 150  $\mu$ l of TE buffer 1X (containing Tris EDTA) was added to each well followed by 10  $\mu$ l of proteinase K at 10 mg.ml<sup>-1</sup>. Plates were incubated in a thermocycler for 2 h at 55°C, then 10 min at 96°C according to the manufacturer's instructions. However, the DNA in some samples was degraded and that from ATS, BON and BOE populations was extracted using Wizard Genomic DNA purification kit (Promega, USA) according to the manufacturer's instructions. After extraction with either technique, the DNA was stored at -20°C until processing.

### Microsatellite analyses

The polymerase chain reaction (PCR) was used to amplify DNA fragments containing microsatellites that differed in number repetitions of the repeated motifs. The nine microsatellites used were developed from the *Oreochromis niloticus* genomic DNA library produced by Lee and Kocher (1996) (Supplementary Material I).

Genotypes were obtained by PCR amplification with indirect fluorescent tagging (Schuelke, 2000; Bezaul et al., 2011). With this approach, for each locus the F primer was elongated in his 5' extremity by a 19 base-pair (bp) M13 sequence (5'-CACGACGTTGTAAAACGAC-3') and a primer labeled with appropriate fluorescent dyes, specific to the M13 sequence, was also incorporated to the PCR reaction.

The PCR amplification was performed in a 20- $\mu$ l reaction volume containing 25 ng of template DNA, 80 nM of F primer, 100 nM of R primer, 0.1 pM IRDye 700 or 8000-labeled universal M13 primer, 2 mM of dNTPs, 0.5 U of Taq DNA polymerase, 2  $\mu$ l of 10X reaction buffer (10 mM Tris-HCl pH 9, 50 mM KCl, 1.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.1% Triton X100, 0.2 mg/ml BSA). The same composition of the PCR mixture was used in amplification of all microsatellites investigated in the present study.

Thermal cycling conditions consisted of enzyme activation at 94°C for 5°C, followed by 10 cycles of touchdown starting at the annealing temperature + 5°C with a decrease of 0.5°C at each cycle during 10 cycles. Then 30 cycles of amplification were done with the annealing temperature, specific for each couple of primers. A final extension step was performed at 72°C for 10 min, followed by a final hold at 15°C.

Samples were run on 7% denaturing acrylamide gel using 4300 DNA Analyzer LI-COR (Li-color Bioscience, USA). Allele size was estimated using SAGA GT Client Software (Li-color Bioscience) by comparing the samples to molecular weight standards (from 71 to 363 bp).

### Data analyses

The number of alleles, observed and expected heterozygosity (Nei, 1987) were calculated for each population using GENEPOP software (version 4.1, Rousset 2008). The Hardy-Weinberg equilibrium was tested using GENEPOP. Alleles were classified as private alleles when they were observed only in one population. The same software was used to determine the proportion of genetic variation partitioned among populations ( $F_{ST}$ ). Arlequin software (version 3.5, Excoffier and Lischer, 2010) was used to determine the proportion of genetic variation partitioned within populations ( $F_{IS}$ ). Mann-Whitney tests were used to compare the results of wild populations and farmed stocks.

To identify different genetic subgroups and to infer the genetic ancestry of individual animals to a given population, multi-locus genotypes were analyzed by a model-based clustering algorithm with the Structure 2.3.4 software (Pritchard and Donnelly, 2000; Falush et al., 2007). Twenty runs of Structure were performed for each K from 1 to 8 (the total number of populations sampled). We used 100,000 iterations of the Gibbs sampler after a burn-in of 50,000 iterations. To estimate the posterior

probability of K, the method developed by Evanno et al. (2005) was followed, plotting values of LnP(D) (the log probability of data) for each K and estimating the delta K ( $\Delta K$ ) statistics, based on the rate of change in LnP(D) between two successive K values.

## RESULTS

### Genetic diversity

Estimates of microsatellite variations in the eight Nile tilapia populations (n = 306) are presented in Table I. The average number of alleles per locus ranged from 3.33 to 8.89 and was not significantly different between wild populations and farmed stocks. In the same way, the number of private alleles was not significantly different between wild populations and farmed stocks. Wild populations and farmed stocks from Itasy, ITAw and ITAf, respectively, showed a higher number of private alleles than the other populations.

Among the eight populations collected, observed heterozygosity was the lowest in ALA (0.49) and the highest in ITAf (0.69). In every population, observed and expected heterozygosities were not significantly different when the average across microsatellite loci was considered, which indicates general conformation to expectations of Hardy-Weinberg equilibrium. Individual loci did not show deviation from Hardy-Weinberg equilibrium (data not shown). Globally, there were no significant differences between the observed heterozygosities in wild populations and farmed stocks.  $F_{IS}$  estimated for each population was not significantly different from zero, indicating that none of the eight populations collected had significant inbreeding.

### Population structure

Significant population differentiation was observed at the global level, with 17.7 % of overall genetic variation attributed to differences between populations (i.e.  $F_{ST}$ ). Population pairwise  $F_{ST}$  ranged from 0.038 to 0.379 (Table II). BOE population showed high differentiation from all the other populations, with  $F_{ST}$  values ranging from 0.225 to 0.379. The wild ALA population was differentiated from the other three wild populations with  $F_{ST}$  values ranging from 0.201 to 0.335. A moderate differentiation was estimated between the farmed BON stock and three of the wild populations (not ITAw).

There was no indication showing that the farmed stocks as a group were more differentiated from the wild populations as a group than

Table II

Pairwise genetic variation ( $F_{ST}$ ) values between sites sampled for Nile tilapia in Madagascar

	Farm			Wild			
	ANA	BON	ITAf	ALA	ITAw	VAK	ATS
BOE	0.264	0.291	0.225	0.379	0.243	0.364	0.301
ANA		0.040	0.038	0.168	0.033	0.108	0.105
BON			0.068	0.188	0.085	0.168	0.161
ITAf				0.098	0.076	0.169	0.151
ALA					0.201	0.335	0.316
ITAw						0.114	0.101
VAK							0.190

Populations in each group are listed from the most northern to the most southern sites. BOE: Boeny; ANA: Analamanga; BON: Bongolava; ITA: Itasy; ALA: Alaotra Mangoro; VAK: Vakinankaratra; ATS: Atsimo-Andrefana; w: wild; f: farmed

populations within each group. If anything, the wild populations showed more differentiation from each other than the farmed stocks.

The graph of  $\text{LnP}(D)$  did not show a clear point of change in the slope for any specific  $K$  value although minor changes in the slope were visible between  $K = 3$  and  $K = 4$  (Figure 2A). The distribution of  $\Delta K$  clearly detected one peak at  $K = 3$ , suggesting a higher level of hierarchy at this  $K$  (Figure 2B). The structure pattern analyzed for  $K = 3$  showed that the BOE population was composed of genotypes from one genetic group (light gray), differentiated from a second genetic group (gray) found in the majority of populations, and a third group of genotypes most commonly found in ALA and part of ITAf populations (dark gray) (Figure 3). Genotypes with other than 90% probability of being assigned to one genetic group may indicate a degree of introgression between the three genetic groups.

## ■ DISCUSSION

### Wild populations

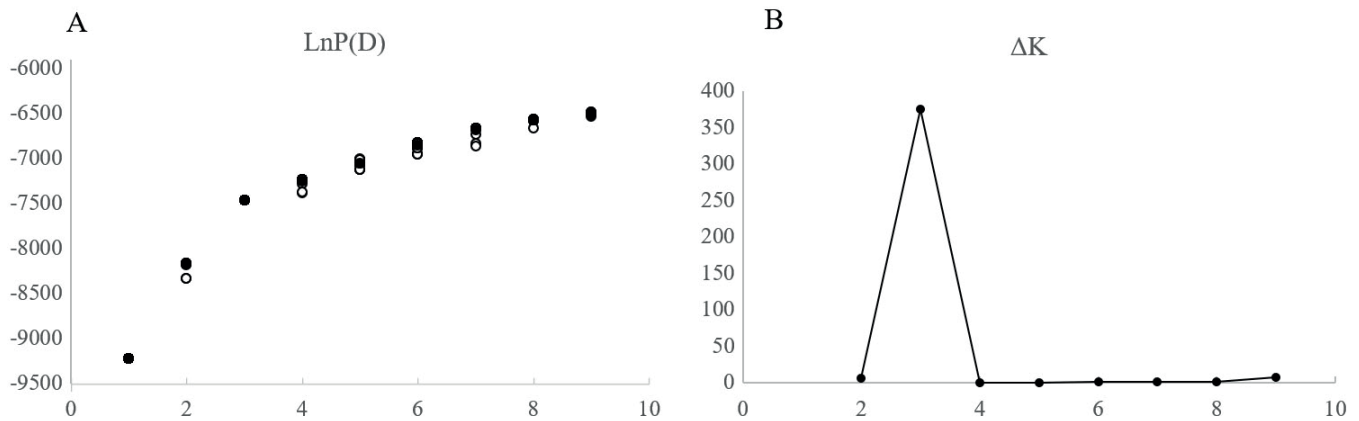
None of the individual populations showed a deviation from Hardy-Weinberg equilibrium or evidence of inbreeding, suggesting the wild populations had reached an equilibrium (if they ever departed from it). The introduction of Nile tilapia in 1956 also appears to have resulted in wild populations, which today have comparable heterozygosities and allelic diversities as other wild African tilapia populations (Bezault et al., 2011; Ndiwa et al., 2014). Mwanja et al. (2010) and Angienda et al. (2011) on introduced Nile tilapia in Victoria Lake, and Gu et al. (2014) on Chinese wild populations estimated the genetic structure and gene flow of wild Nile tilapia populations. They found for *O. niloticus* a number of alleles per locus ranging from 3.8 to 8.4, an observed heterozygosity ranging from 0.31 to 0.80, and low inbreeding ( $F_{IS}$ ) ranging from -0.10 to 0.28. These results are in the

same range as those of the present estimations, with on average 5.7 alleles per locus, 0.60 observed heterozygosity and -0.04 inbreeding.

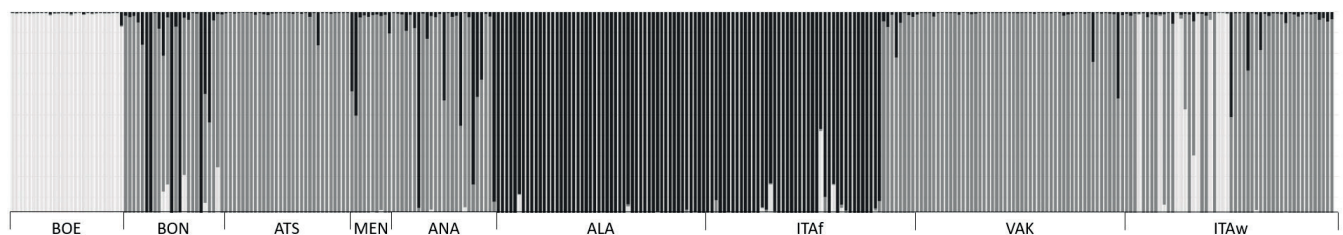
Although neither the number of fish introduced at specific times nor details on their genetic constitution (e.g. number of families, number of populations included in the transfer) were known, there were multiple introductions. This, and subsequent mixing of those populations, including that deliberately undertaken in the last few years, may have resulted in genetic diversity in individual wild populations not very far from what is found in other wild populations.

The population structure analysis distinguished three clusters which may reflect the three known introductions of Nile tilapia in Madagascar (two in 1956 and one in 2011). Thai strains were introduced in 2013, after the sampling for this study was completed. There was evidence of mixing of the three different genetic groupings including that of the latest introduction with the others (e.g. in ITAw and ITAf) and those populations showed high allelic diversity. However, much of this high allelic diversity was associated with high diversity of private alleles. Other populations with less evidence of mixing showed measures of genetic diversity equivalent to other stocks. This suggested that the original introductions must have had a relatively adequate level of genetic diversity.

The relatively low differentiation between many of the wild populations (estimated by the pairwise  $F_{ST}$ ) could be hypothesized by a potential origin of the Mauritius strain from Egypt. There is no available data to our knowledge to assess this hypothesis. The differences between the wild populations did not appear to be related to the degree of geographical separation of the populations. For example, ITAw showed more differences with ALA although it was closer geographically than ATS, with which it had less differences. It is more likely that the levels of differentiation reflected the predominant origins of the source populations rather than the influence of any other factor.



**Figure 2:** Uppermost hierarchical structure of Nile tilapia in Madagascar based on  $\Delta K$ . A) Estimated likelihood,  $\text{LnP}(D)$  for values of  $K$  ranged from one to eight. The mean  $\text{LnP}(D)$  for each  $K$  over 20 runs were represented by a dark circle and each value of the 20 runs by a white circle. B)  $\Delta K$  calculated as Evanno et al. (2005).



**Figure 3:** Clustering assignment of the eight Nile tilapia populations samples from Madagascar using STRUCTURE with  $K = 3$ . Each color (light gray, gray and dark gray) represents one cluster. Each vertical line represents one individual, and each color for each line represents the membership probability of an individual to a given cluster.

## Farmed stocks

According to Oswald et al. (2016), there are three main types of tilapia farmers in Madagascar. The first type includes small scale farmers who represent the majority of tilapia farmers in the country. They have only one pond for reproduction and grow-out, and mainly use fish for personal consumption. There is generally no management of the strain, and exchanges between farmers are scant. Farmers harvest their fish regularly, sell the biggest fish and stock the smallest back to the pond. The second type includes farmers who have different ponds for reproduction and grow-out. Fry are produced throughout the hot season and sold to grow-out farmers or kept in grow-out ponds. The third type includes farmers specializing in fry production. They have an agreement to produce 100% male fry by hormonal inversion. They produce most of the fry used in aquaculture, which are transported over long distances to ponds and cages in lakes. These practices generate a high level of exchange between farms, and between farmed stocks and wild populations. This is due to escapees but also to relatively frequent captures of wild populations to renew the breeders used on farms.

It is important to note that only the biggest Nile tilapia farms were sampled in the present study. None of the small-scale farms were collected because of logistical reasons. This could bias the conclusions but the larger farms that maintain a separate broodstock population are more likely than either of the other two to show differentiation from wild populations, as they usually capture less wild fish for broodstock than the other two types. It would be interesting to increase the number of sample locations to have a broader view of the genetic diversity of the Nile tilapia in different farming systems in Madagascar.

As a consequence of this sampling choices, the fish sampled from the farms also showed no deviation of allele frequencies from that expected under conditions of Hardy-Weinberg Equilibrium or high signs of inbreeding indicating that they were either adequately managed or that insufficient time had elapsed for inbreeding to develop. These processes would explain the lack of significant genetic differences between most farmed stocks and wild populations.

Fish sampled from BOE farm showed a marked differentiation from the other farmed stocks which reflects the recent introduction (2011) of the population on that farm from Japan. Material has been sent from that farm to others and to the wild, which is reflected in individual fish being allocated to the BOE genotype group in ITAf and ITAw. The lack of differentiation between most of the farmed stocks and all the wild populations probably shows that farmers use wild populations for their farms and exchange fish among themselves. It is interesting to note that in wild population ITAw (from Itasy Lake) some fish were grouped in the same cluster as BOE, representing fish introduced from Japan in 2011. These results point to the high probability that fish from BOE were stocked in cages in Itasy Lake, and that escapees occurred or larvae from BOE hatcheries were used for restocking in Itasy Lake.

## CONCLUSION

A comprehensive assessment of the multiple impediments to aquaculture growth and a comprehensive industry strategy are needed in order to fulfill the potential of this growing sector. The present results highlight that wild and domestic populations are relatively close genetically. As a consequence, the wild population could be a good resource for those facing diversity loss and/or inbreeding in some domestic stocks.

The extent to which wild populations performance is satisfactory with respect to production traits such as growth remains to be evaluated. Growth trials should evaluate the performance of Nile tilapia in different rearing environments, given that relatively high-altitude sites in Madagascar, where temperatures can be cold in winter, are markedly

different from lowland sites. These trials may require a breeding program including traits for cold tolerance, or another species of tilapia, e.g. *O. mossambicus* and *O. macrochir* have already been introduced in Madagascar (Oswald et al., 2016).

## Acknowledgments

The authors are most grateful to the Great Regional Technical Platform (GPTR) core facility for its technical support, especially to R. Rivallan (UMR AGAP, CIRAD) for his laboratory assistance during the experiments with the Li-Cor gel sequencer.

## Author contributions statement

MR, NR, HR, OM, EP and HdV designed the experiment, MR, NR, HR collected the samples, MR and EP analyzed the samples, MR, EP and HdV performed statistical analyses and drafted the article, JAHB and OM revised the article. All the authors approved the manuscript.

## REFERENCES

- Angienda P.O., Lee H.J., Elmer K.R., Abila R., Waindi E.N., Meyer A., 2011. Genetic structure and gene flow in an endangered native tilapia fish (*Oreochromis esculentus*) compared to invasive Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Yala swamp, East Africa. *Conserv. Genet.*, **12**: 243-255, doi: 10.1007/s10592-010-0136-2
- Beaumont R.A., Hoare K., 2003. Biotechnology and genetics in fisheries and aquaculture. Blackwell Science, Oxford, UK, 202 p., doi: 10.1002/9780470995198
- Bezault E., Balaresque P., Toguyeni A., Fermon Y., Araki H., Baroiller J.-F., Rognon X., 2011. Spatial and temporal variation in population genetic structure of wild Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) across Africa. *BMC Genet.*, **12**: 102, doi: 10.1186/1471-2156-12-102
- Chevassus B., 1989. Aspects génétiques de la constitution de populations d'élevage destinées au repeuplement. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, **314** : 146-168, doi : 10.1051/kmae:1989010
- Desvignes J.F., Laroche J., Durand J.D., Bouvet Y., 2001. Genetic variability in reared stocks of common carp (*Cyprinus carpio* L.) based on allozymes and microsatellites. *Aquaculture*, **194**: 291-301, doi: 10.1016/s0044-8486(00)00534-2
- Evanno G., Regnaut S., Goudet J., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Mol. Ecol.*, **14**: 2611-2620, doi: 10.1111/j.1365-294x.2005.02553.x
- Excoffier L., Lischer H.E.L., 2010. Arlequin suite vers. 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Mol. Ecol. Resour.*, **10**: 564-567, doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x
- Falush D., Stephens M., Pritchard J.K., 2007. Inference of population structure using multilocus genotype data: dominant markers and null alleles. *Mol. Ecol. Notes*, **7**: 574-578, doi: 10.1111/j.1471-8286.2007.01758.x
- FAO, 2014. The state of world fisheries and aquaculture. FAO, Rome, Italy
- FAO, 2010-2019. Fisheries Global Information System (FAO-FIGIS). FAO / Fisheries and Aquaculture Department, Rome, Italy (www.fao.org/fishery/)
- Ferguson M.M., Danzmann R.G., Allendorf F.W., 1985. Developmental divergence among hatchery strains of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). I. Pure strains. *Can. J. Genet. Cytol.*, **27**: 289-297, doi: 10.1139/g85-043
- Gu D., Mu X., Song H., Luo D., Xu M., Luo J., Hu Y., 2014. Genetic diversity of invasive *Oreochromis* sp. (tilapia) populations in Guangdong province of China using microsatellite markers. *Biochem. Syst. Ecol.*, **55**: 198-204, doi: 10.1016/j.bse.2014.03.035
- Kiener A., 1963. Poissons, pêche et pisciculture à Madagascar. Centre technique forestier tropical, Nogent-sur-Marne, France, 160 p.
- Lee W.-J., Kocher T.D., 1996. Microsatellites DNA markers for genetic mapping in *Oreochromis niloticus*. *J. Fish Biol.* **49**: 169-171, doi: 10.1111/j.1095-8649.1996.tb00014.x
- Moreau J., 1988. Tilapia genetic resources for aquaculture. Madagascar. In: Proc. Workshop Tilapia Genetic Resources for Aquaculture (Ed. Pullin R.S.V.). International Center for Living Aquatic Resources Management, Bangkok, Thailand, 29-32, doi: 10.1016/0044-8486(86)90236-x

- Musapa M., Kumwenda T., Mkulama M., Chrishimba S., Norris D.E., Tuma P.E., Mharakurwa S., 2013. A simple Chelex protocol for DNA extraction from *Anopheles* sp. *J. Vis. Exp.*, **71**: 3281, doi: 10.3791/3281
- Mwanja W.M., Kaufman L., Fuerst P.A., 2010. Comparison of the genetic and ecological diversity of the native to the introduced tilapiines (Pisces: Cichlidae), and their population structures in the Lake Victoria region, East Africa. *Aquat. Ecosyst. Health Manag.*, **13**: 442-450, doi: 10.1080/14634988.2010.527268
- Ndiwa T.C., Nyingi D.W., Agnese J.F., 2014. An important natural genetic resource of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) threatened by aquaculture activities in Lobo Drainage, Kenya. *PLoS One*, **9**: e106972, doi: 10.1371/journal.pone.0106972
- Nei M., 1987. Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press, New-York, USA, 512 p., doi: 10.7312/nei-92038
- Oswald M.R., Ravakarivelo M., Mikolasek O., Rasamoelina H., de Verdal H., Bentz B., Pepey E., et al., 2016. Combining a comprehensive approach to fish-farming systems with assessment of their genetics - from planning to realization. In: Actes projet FSP PARRUR, Recherche interdisciplinaire pour le développement durable et la biodiversité des espaces ruraux malgaches. Application à différentes thématiques de territoire (éds Duchaufour H., et al.). MYE, Antananarivo, Madagascar, 219-267
- Pritchard M.J.K.S., Donnelly P., 2000. Inference of population structure using microlocus genotype data. *Genetics*, **155**: 945-959
- Rakotoambinima S., Desprez D., David D.G., Bosc P., Le Roux Y., 2009. Caractérisation des environnements écologiques et socio-économiques de la production piscicole continentale à Madagascar. *Cah. Outre Mer*, **248**: 471-488, doi: 10.4000/com.5778
- Romana-Eguia M.R.R., Ikeda M., Basiao Z.U., Taniguchi N., 2005. Genetic changes during mass selection for growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), assessed by microsatellites. *Aquac. Res.*, **36**: 69-78, doi: 10.1111/j.1365-2109.2004.01185.x
- Rousset F., 2008. GENEPOP'007: a complete re-implementation of the GENEPOP software for Windows and Linux. *Mol. Ecol. Resour.*, **8**: 103-106, doi: 10.1111/j.1471-8286.2007.01931.x
- Schuelke M., 2000. An economic method for the fluorescent labelling of PCR fragments. *Nat. Biotechnol.*, **18**: 233-234, doi: 10.1038/72708
- Thai B.T., Pham T.A., Austin C.M., 2006. Genetic diversity of common carp in Vietnam using direct sequencing and SSCP analysis of the mitochondrial DNA control region. *Aquaculture*, **258**: 228-240, doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.03.025
- Walsh P.S., Metzger D.A., Higuchi R., 1991. Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*, **10**: 506-513, doi: 10.2144/000114018

## Résumé

**Ravakarivelo M., Pepey E., Benzie J.A.H., Raminosoa N., Rasamoelina H., Mikolasek O., de Verdal H.** Variation génétique des populations sauvages et des stocks issus d'élevage de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) à Madagascar

Quatre stocks issus de piscicultures et quatre populations sauvages de tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*), espèce qui a été introduite initialement à Madagascar il y a soixante ans, ont été évalués pour leurs variations génétiques à partir de l'analyse de neuf locus microsatellites pour déterminer les niveaux de variabilité génétique au sein des populations et les relations génétiques entre ces populations. La diversité allélique recoupait celle qui a été rapportée dans d'autres populations africaines. Il n'y avait ni évidence d'écart dans les fréquences alléliques attendues dans les conditions d'équilibre de Hardy-Weinberg ni de consanguinité dans les populations étudiées. Trois groupes génotypiques distincts ont montré trois introductions séparées (à partir d'Égypte et de l'île Maurice en 1956, et du Japon en 2011) et la présence de génotypes issus de plus d'un groupe dans une même population a fourni la preuve de mélanges. Il y avait des différences significatives entre les populations qui ne provenaient pas du même milieu (sauvage ou d'élevage) ou qui n'étaient pas géographiquement reliées. De par leur diversité génétique, les populations sauvages pourraient être des ressources intéressantes dans la perspective d'un développement de la pisciculture du tilapia du Nil à Madagascar.

**Mots-clés :** *Oreochromis niloticus*, poisson, tilapia, population animale, variation génétique, structures génétiques, Madagascar

## Resumen

**Ravakarivelo M., Pepey E., Benzie J.A.H., Raminosoa N., Rasamoelina H., Mikolasek O., de Verdal H.** Variación genética de las poblaciones silvestres y de los cultivos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en Madagascar

La variación genética de cuatro poblaciones de cultivo y cuatro poblaciones silvestres de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, introducida en Madagascar hace 60 años) fue evaluada con la análisis de 9 loci de microsatélites, con vistas a determinar los niveles de variabilidad genética dentro de las poblaciones y las relaciones genéticas entre las mismas. La diversidad alélica coincide con reportes referentes a otras poblaciones africanas. No se encontró evidencia de discrepancia en las frecuencias alélicas esperadas en condiciones de equilibrio Hardy-Weinberg ni de consanguinidad en las poblaciones estudiadas. Tres grupos genotípicos diferentes mostraron tres introducciones separadas (provenientes de Egipto y de Islas Mauricio en 1956, así como de Japón en 2011). La presencia de genotipos provenientes de más de un grupo en una misma población proporcionó la evidencia de mezclas genéticas. Se encontraron diferencias significativas entre las poblaciones que no provenían del mismo hábitat (salvaje o de cultivo) o que no estaban geográficamente relacionadas. Debido a su diversidad genética, las poblaciones salvajes podrían representar un valioso recurso con vistas al desarrollo de la piscicultura de tilapia del Nilo en Madagascar.

**Palabras clave:** *Oreochromis niloticus*, pescado, tilapia, población animal, variación genética, estructura genética, Madagascar



# Viande de lapin (*Oryctolagus cuniculus* L.) enrichie en oméga 3 avec un aliment contenant de l'euphorbe (*Euphorbia heterophylla* L.)

N'Goran David Vincent Kouakou <sup>1\*</sup> Seydou Ba Mohamed Coulibaly <sup>2</sup> Cho Euphrasie Monique Angbo-Kouakou <sup>1,3,4</sup> Yélèhi Diane Ahongo <sup>1</sup> Nogbou Emmanuel Assidjo <sup>5</sup> Maryline Kouba <sup>6</sup>

## Mots-clés

Lapin, *Euphorbia heterophylla*, qualité de la viande, acides gras polyinsaturés, Côte d'Ivoire

Submitted: 21 August 2018  
Accepted: 12 June 2019  
Published: 30 September 2019  
DOI: 10.19182/remvt.31779

## Résumé

*Euphorbia heterophylla* est une adventice dont les feuilles et les tiges peuvent constituer 70 % de l'alimentation des lapins (*Oryctolagus cuniculus* L.). Par ailleurs, sa teneur en acide-linolénique (ALA, C18:3 n-3) (56 % des acides gras totaux) est proche de celle du lin (*Linum usitatissimum*). Afin de contribuer à un meilleur équilibre nutritionnel des populations, l'effet de la durée de la supplémentation d'un régime alimentaire à base de granulé (MOD0) par les feuilles et les tiges de cette adventice sur les teneurs en acide linoléique (LA, C18:2 n-6) et en ALA des muscles *semimembranosus*, *longissimus dorsi* et du tissu adipeux périrénal des lapins en croissance a été étudié. Le régime témoin (MOD0) a été supplémen-té par 50 % de matière sèche d'euphorbe de la naissance à trois mois d'âge (MOD90) ou par 50 % de matière sèche d'euphorbe seulement durant un mois entre 61 et 91 jours d'âge (MOD30). Les ratios LA/ALA étaient de 9,8, 2,1 et 1,5 dans le muscle *semimembranosus*, de 11,8, 4,6 et 2,1 dans le *longissimus dorsi*, et de 8,6, 2,0 et 1,0 dans le tissu adipeux périrénal, respectivement pour MOD0, MOD30 et MOD90 ( $p < 0,001$ ). La durée de la supplémentation d'au moins 30 jours par l'euphorbe a eu un impact positif sur les ratios LA/ALA qui ont été conformes à la recommandation internationale ( $\leq 5$ ) pour la nutrition humaine. En conclusion, la supplémentation appropriée des régimes de lapins par l'euphorbe, dans les régions où elle abonde, sera bénéfique pour la santé humaine.

■ Comment citer cet article: Kouakou N'G.D.V., Coulibaly S.B.M., Angbo-Kouakou C.E.M., Ahongo Y.D., Assidjo N.E., Kouba M., 2019. Rabbit meat (*Oryctolagus cuniculus* L.) enriched in omega 3 with a feed containing euphorbia (*Euphorbia heterophylla* L.). *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 72 (3): 107-113, doi: 10.19182/remvt.31779

## ■ INTRODUCTION

Originnaire d'Amérique tropicale et subtropicale, l'euphorbe, *Euphorbia heterophylla* L., est également présente en Afrique et en Asie. Dans certains pays d'Afrique de l'Ouest (Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria et Togo), elle est une adventice majeure car elle peut se développer en

peuplement monospécifique, se montrant particulièrement compétitive avec des cultures comme le soja, le niébé, l'arachide et le cotonnier (Ipou et al., 2004). Sa durée de vie est d'environ 45 à 50 jours et elle peut ainsi avoir plusieurs cycles de reproduction par an. Les feuilles et les graines de cette plante ont une teneur en acide  $\alpha$ -linoléique (ALA, C18:3 n-3) de 56 % des acides gras totaux, proche de celle du lin (*Linum usitatissimum* L.) (55 % des acides gras totaux (Earle et al., 1960). Les feuilles sont utilisées pour améliorer le profil en acides gras polyinsaturés (AGPI) n-3 de la viande de cochon d'Inde (Kouakou et al., 2013), tandis que l'incorporation des graines dans l'alimentation des poules et des cailles pondeuses améliore le profil du jaune d'œuf (Kouakou et al., 2015 ; 2018). Ces produits animaux enrichis en AGPI n-3, tels que les acides  $\alpha$ -linoléique, eicosapentaénoïque (EPA, C20:5 n-3) et docosahexaénoïque (DHA, C22:6 n-3), réduisent les risques de troubles et inflammations cardiovasculaires (Justi et al., 2003 ; Anses, 2011), premières causes de décès dans le monde, en particulier dans les pays à revenu faible ou intermédiaire (OMS, 2015). Malheureusement, dans ces pays l'alimentation humaine ne contient presque pas d'AGPI n-3 contrairement aux acides gras saturés dont les incidences sur la santé humaine sont sujettes à polémique (Lecerf, 2013).

1. Groupe de recherche en innovation agricole, alimentation, nutrition et santé humaine, Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

2. UFR Sciences de la nature et de l'environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire.

3. CIRAD, UMR INNOVATION, F-34398 Montpellier, France.

4. INNOVATION, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, Univ Montpellier, Montpellier, France.

5. Laboratoire des procédés industriels et de synthèse de l'environnement, Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

6. INRA, UMR PEGASE, Rennes, France.

\* Auteur pour la correspondance

Tél. : +225 08 39 33 63 ; email : david.kouakou@inphb.ci



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

En Côte d'Ivoire, le lapin est une viande appréciée par les populations et son élevage est en développement. L'élevage de lapin y est réalisé de manière intensive avec une alimentation exclusivement basée sur les granulés pour lapin, de manière semi-intensive avec une alimentation mixte (granulé pour lapin et fourrage vert) ou de manière extensive uniquement avec du fourrage vert. Parmi ces fourrages figure *E. heterophylla*, bien appréciée des lapins chez qui elle peut constituer 70 % de l'apport alimentaire en matière sèche (Kouakou et al., 2015). Aussi, dans le cadre de la valorisation des feuilles et des tiges de cette plante dans l'alimentation des lapins locaux, deux études zootechniques ont été réalisées à l'Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro sans que l'aspect relatif à la qualité nutritionnelle de la viande n'ait été abordé (Kouakou et al., 2015 ; 2016a). Cependant, au regard de la teneur de ce fourrage en AGPI n-3, de la corrélation positive entre la qualité des lipides alimentaires et les profils des lipides musculaires des lapins (Kouba et al., 2008 ; Peiretti et al., 2011 ; Dal Bosco et al., 2015), il importe que l'effet de l'ingestion de ce fourrage sur les teneurs en acides gras polyinsaturés des muscles *semimembranosus* et *longissimus dorsi*, et du tissu adipeux périrénal des lapins locaux en croissance soit connu.

## ■ MATERIEL ET METHODES

### Matériel biologique

L'étude a été conduite à partir d'échantillons d'aliments et de carcasses de lapins locaux issus des travaux de Kouakou et al. (2016a). Les aliments étaient constitués d'échantillons séchés et broyés de feuilles et tiges de l'herbe de Guinée (*Panicum maximum* Jacq., syn *Megathyrus maximus* [Jacq.] B.K. Simon et S.W.L. Jacobs), d'euphorbe (*Euphorbia heterophylla* L.) et d'un aliment commercial granulé pour lapin de type croissance.

Le matériel animal était constitué de trois lots de 10 carcasses de lapins locaux (*Oryctolagus cuniculus*) de 91 jours d'âge issus de trois modes d'alimentation différents à partir de deux types d'association d'aliments (PanGran et PanEuph). PanGran était l'association de l'herbe de Guinée et du granulé. PanEuph était l'association de l'herbe de Guinée, du granulé, et de tiges et de feuilles d'euphorbe (Kouakou et al., 2016a).

Le premier mode a consisté à distribuer le régime témoin (PanGran) à base de granulé (MOD0) durant les trois mois de vie des lapins. Le deuxième mode (MOD90) a consisté à compléter le régime témoin (PanGran) avec 50 % de matière sèche (MS) de feuilles et de tiges d'euphorbe durant les trois mois de vie des lapins (PanEuph). Enfin, pour le troisième mode (MOD30), le régime témoin (PanGran) a été distribué aux lapins durant les deux premiers mois, puis l'aliment PanEuph seulement durant 30 jours entre 61 et 91 jours d'âge.

### Préparation des échantillons

A 91 jours d'âge, tous les lapins ont été mis à jeun pendant 12 heures et pesés avant l'abattage. Les dix lapins les plus lourds issus de MOD0, MOD30 et MOD90 ont été étourdis après un petit coup sec sur la nuque à l'aide d'un bâton avant d'être saignés par section de la carotide. Ensuite, ils ont été dépouillés et éviscérés, les manchons (parties distales des membres recouvertes de fourrure) et la tête ont été sectionnés. Des échantillons des muscles *longissimus dorsi* et *semimembranosus*, et du tissu adipeux périrénal ont été prélevés sur la moitié de la carcasse gauche. Enfin, ces échantillons ont été congelés à -18 °C pendant une semaine avant les analyses.

### Analyses chimiques

La matière sèche a été déterminée par séchage à 105 °C durant 24 h dans une étuve (Memmert 854, Allemagne). La cendre a été déterminée après calcination dans un four à moufle (Nabertherm GmbH, Allemagne). La

matière azotée totale (MAT) a été dosée par la méthode de Kjeldahl grâce à une rampe de minéralisation (FOSS, Tecator, France) et un distillateur (Buchi 321 Kjeldahl, Suisse). Les fibres brutes ont été analysées selon Van Soest et al. (1991) avec un Fibertec (FOSS, Fibertec 1020 [M2], France). Les lipides ont été extraits au laboratoire de biochimie-nutrition humaine d'Agrocampus Ouest de Rennes à partir d'échantillons de tissus et de régimes, en utilisant la procédure de Delsal (1944). Les esters méthyliques d'acides gras (FAME) ont été préparés avec du trifluorure de bore (BF<sub>3</sub>) à 14 % dans du méthanol selon Morrison et Smith (1964), et analysés sur un chromatographe en phase gazeuse Agilent Technologies 6890 N (Bios Analytic, France) équipé d'un injecteur divisé (40:1) à 250 °C et d'une colonne capillaire de silice collée (0,25 mm de diamètre interne, BPX 70, SGE, France) contenant une phase stationnaire polaire de 70 % de cyanopropyl polysilphénylène-siloxane (0,25 µm d'épaisseur de film). De l'hélium a été utilisé comme gaz porteur (vitesse moyenne de 24 cm/s). Le programme de température de la colonne a débuté à 150 °C, a augmenté de 2 °C/min jusqu'à 220 °C et a été maintenu à 220 °C pendant 10 min. La température du détecteur d'ionisation de flamme était de 250 °C. L'identification des esters méthyliques d'acides gras a été basée sur les temps de rétention obtenus pour les esters méthyliques d'acides gras préparés à partir d'étalons d'acides gras. Les résultats ont été exprimés en pourcentages de la somme des acides gras quantifiés.

### Analyses statistiques

Les valeurs moyennes des paramètres étudiés par régime alimentaire testé ont été soumises à une analyse Anova à un facteur. La comparaison multiple des moyennes a été effectuée au seuil de signification de 5 % avec le test de Student-Newman-Keuls si les différences révélées par l'Anova étaient significatives. Tous les calculs ont été effectués avec le logiciel Stata 12 (StataCorp, 2011).

## ■ RESULTATS

### Caractéristiques chimiques des fourrages et de l'aliment commercial granulé

La composition chimique et le profil en AGPI des fourrages et du granulé sont présentés dans le tableau I. L'herbe de Guinée a présenté de faibles teneurs en lipides (2,5 % de la MS) et en protéines brutes (9,7 % de la MS), et une teneur élevée en fibres brutes (32,1 % de la MS). En revanche, l'euphorbe a eu une faible teneur en matière sèche (20,3 %), et des teneurs élevées en protéines brutes (16,5 % de la MS) et en lipides (7,2 % de la MS). Le granulé a présenté une teneur élevée en matière sèche (88,7 %) et une faible teneur en cellulose brute (14,6 % de la MS). Les profils en acides gras des fourrages expérimentaux et du granulé étaient très différents. En effet, les concentrations respectives en acides gras saturés (AGS) et en acides gras mono-insaturés (AGMI) de l'euphorbe (22,6 % et 3,6 %) des AG totaux (AGT) identifiés étaient plus faibles que celles de l'herbe de Guinée (25,4 % et 22,6 % des AGT) et de l'aliment commercial (40,6 % et 20,4 % des AGT). L'euphorbe avait neuf fois moins d'acide oléique (C18:1 n-9) (2,2 % des AGT) que l'herbe de Guinée (20,2 % des AGT) et le granulé (19,2 % des AGT). En revanche, la teneur en ALA de l'euphorbe (56,5 % des AGT) était deux fois plus élevée que celle de l'herbe de Guinée (27 % des AGT) et 30 fois plus élevée que celle du granulé (2 % des AGT).

### Ingestion des aliments et régimes expérimentaux

Les valeurs moyennes de l'ingestion journalière de la matière sèche (IVJMS) des aliments et des régimes alimentaires sont présentées dans le tableau II. Durant l'allaitement et la croissance, les animaux sous MOD0 et MOD30 ont présenté un niveau d'ingestion supérieur à ceux soumis à MOD90 respectivement de 21 % et 28 % (p < 0,05) (tableau II). Durant la période de finition, l'ingestion a été en moyenne similaire entre les trois modes d'alimentation (p > 0,05). Le rapport de l'IVJMS

de l'herbe de Guinée et du granulé du MOD0 a varié d'un quart à un sixième entre l'allaitement et la finition. Dans les régimes supplémentés par l'euphorbe, l'IVJMS de granulé pour lapin représentait un tiers à un demi de l'IVJMS totale du régime de l'allaitement à la finition ; l'herbe de Guinée a représenté 27 % à 21 % de la MS des fourrages ingérés.

### Compositions en acides gras des tissus animaux

#### Muscle semimembranosus

Les teneurs en AGPI n-3 totaux dans le muscle *semimembranosus* étaient respectivement 4,4 et 5,8 plus élevées dans les échantillons MOD30 et MOD90 ( $p < 0,01$ ) que dans ceux de MOD0, avec une augmentation significative des teneurs en ALA et en acide docosapentaénoïque (DPA, C22:5 n-3) (tableau III). Aucun effet significatif des régimes alimentaires n'a été enregistré sur les AGPI n-6 (21 % des AGT) des différents échantillons ( $p > 0,05$ ). Le rapport AGPI n-6 / AGPI n-3 était respectivement 6,7 et 1,5 plus faible dans les échantillons MOD90 et MOD30 ( $p < 0,000$ ) que dans ceux de MOD0. Par ailleurs, la supplémentation du régime de base par l'euphorbe a diminué respectivement de 18 % et de 30 % la teneur en acides gras mono-insaturés (AGMI) dans les échantillons MOD30 et MOD90 par rapport à ceux de MOD0 ( $p < 0,0001$ ).

#### Muscle longissimus dorsi

Les teneurs en AGPI n-3 totaux dans le muscle *longissimus dorsi* étaient respectivement 2,5 et 5,5 plus élevées dans les échantillons MOD30 et MOD90 ( $p < 0,01$ ) que dans ceux de MOD0, avec une augmentation significative des teneurs en ALA et en DPA (tableau IV). Aucun effet significatif des régimes alimentaires n'a été enregistré sur les teneurs en acide palmitique (C16:0) (29,1 % des AGT), en acides gras saturés (42,2 % des AGT) et en AGPI n-6 (26,4 % des AGT) des différents échantillons ( $p > 0,05$ ). Le rapport des AGPI n-6 / AGPI n-3 était respectivement 6,2 et 2,3 plus faible dans les échantillons MOD90 et MOD30 ( $p < 0,001$ ) que dans ceux de MOD0. Le ratio LA/ALA était respectivement de 11,8, 4,6 et 2,1 dans les échantillons MOD0, MOD30 et MOD90 ( $p < 0,001$ ). Par ailleurs, la supplémentation du régime de base par l'euphorbe a diminué respectivement de 23 % et de 35 % la teneur en AGMI dans les échantillons MOD30 et MOD90 par rapport à ceux de MOD0 ( $p < 0,0001$ ).

#### Tissu adipeux périrénal

Les teneurs en AGPI n-3 totaux dans le tissu adipeux étaient respectivement 5 et 9 plus élevées dans les échantillons MOD30 et MOD90

( $p < 0,01$ ) que dans ceux de MOD0, avec une augmentation significative des teneurs en ALA après la supplémentation par l'euphorbe (tableau V). Le rapport des AGPI n-6 / AGPI n-3 était respectivement 8 et 2 plus faible dans les échantillons MOD90 et MOD30 ( $p < 0,0001$ ) que dans ceux de MOD0. Le ratio LA/ALA était respectivement de 8,6, 2,0 et 1,0 dans les échantillons MOD0, MOD30 et MOD90 ( $p < 0,00001$ ). Cette supplémentation a par ailleurs induit une réduction de 24 % de la teneur en AGS, principalement due aux teneurs plus

Tableau I

Composition chimique et profil en acides gras des fourrages et de l'aliment commercial granulé pour lapin

Composition chimique (% MS)	Euphorbe	Aliment commercial granulé	Herbe de Guinée
Matière sèche (%)	20,3	88,7	26,9
Protéine brute	16,5	13,0	9,7
Cellulose brute	22,4	14,6	32,1
Lipides	7,2	3,3	2,5
Profil en acides gras (% des acides gras totaux identifiés)			
AGS	22,6	40,6	25,4
C12:0	0,1	14,5	0,1
C14:0	0,4	5,4	0,2
C16:0	19,6	18,8	22,5
C18:0	2,5	1,9	2,6
AGMI	3,6	20,4	22,6
C16:1 n-7	0,4	–	0,5
C16:1 n-9	0,9	0,1	1,8
C18:1 n-7	1,0	1,1	0,1
C18:1 n-9	2,2	19,2	20,2
AGPI	67,2	37,9	48,4
C18:2 n-6	10,7	36,0	21,4
C18:3 n-3	56,5	2,0	27,0
C18:2 n-6 / C18:3 n-3	0,2	18,1	0,8

MS : matière sèche ; AGS : acides gras saturés ; AGMI : acides gras mono-insaturés ; AGPI : acides gras polyinsaturés

Tableau II

Ingestion volontaire journalière (g/MS) des aliments et des régimes alimentaires des lapins au cours de la période d'allaitement, de croissance et de finition

Mode alimentaire	Allaitement (lapines)			Croissance (sevrons)			Finition (lapins)		
	MOD0	MOD30	MOD90	MOD0	MOD30	MOD90	MOD0	MOD30	MOD90
Ingestion totale	236,5 ± 11,3 <sup>a</sup>		194,1 ± 17,3 <sup>b</sup>	101,9 ± 9,8 <sup>a</sup>		79,4 ± 18,0 <sup>b</sup>	128,2 ± 17,8 <sup>a</sup>	132,8 ± 13,1 <sup>a</sup>	131,0 ± 26,7 <sup>a</sup>
<i>Panicum maximum</i>	50,8 ± 4,4 <sup>a</sup>		39,9 ± 4,0 <sup>b</sup>	16,9 ± 3,6 <sup>a</sup>		14,8 ± 3,5 <sup>a</sup>	19,0 ± 5,3 <sup>a</sup>	18,2 ± 4,8 <sup>a</sup>	16,0 ± 6,0 <sup>a</sup>
Granulé pour lapin	185,6 ± 8,9 <sup>a</sup>		44,3 ± 0,0 <sup>b</sup>	85,0 ± 0,7 <sup>a</sup>		26,8 ± 4,5 <sup>b</sup>	109,2 ± 19,1 <sup>a</sup>	44,3 ± 0,0 <sup>b</sup>	44,3 ± 0,0 <sup>b</sup>
<i>Euphorbia heterophylla</i>	–		109,8 ± 20,6	–		37,8 ± 13,9	–	70,2 ± 9,9 <sup>a</sup>	70,7 ± 22,4 <sup>a</sup>

MOD0 : distribution de PanGran durant 90 jours ; MOD30 : distribution de PanGran durant 60 jours, suivie de la distribution de PanEuph durant 30 jours ; MOD90 : distribution de PanEuph durant 90 jours. PanGran : distribution de *Panicum maximum* associé au granulé pour lapin ; PanEuph : distribution de *P. maximum* associé à *Euphorbia heterophylla* avec une quantité de granulé pour lapin

Moyenne ± écart-type (n = 6 animaux par traitement) ; <sup>a, b, c</sup> Les moyennes sur une même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau III

Profil en acides gras du muscle *semimembranosus* de lapins nourris seulement avec un aliment à base de l'aliment commercial granulé (MOD0) ou supplémentés avec de l'euphorbe pendant 30 ou 90 jours (MOD30 et MOD90)

Profil en acides gras (% AGT)	MOD0	MOD30	MOD90	Effet mode
C12:0	2,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,2 <sup>b</sup>	0,5 ± 0,2 <sup>b</sup>	0,001
C14:0	6,6 ± 0,0 <sup>a</sup>	3,3 ± 0,3 <sup>b</sup>	2,3 ± 0,2 <sup>c</sup>	0,001
C14:1 n-5	0,7 ± 0,25	–	–	
C15:0	0,5 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,9 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,001
C16:0	28,0 ± 0,7 <sup>ab</sup>	27,1 ± 1,5 <sup>a</sup>	30,4 ± 1,0 <sup>b</sup>	0,044
C16:1 n-9	0,4 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,0 <sup>ab</sup>	0,4 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,018
C16:1 n-7	5,6 ± 1,4 <sup>a</sup>	2,3 ± 1,1 <sup>b</sup>	1,6 ± 0,4 <sup>b</sup>	0,008
C17:1	0,2 ± 0,15	–	–	
C18:0	5,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	8,6 ± 0,3 <sup>b</sup>	9,8 ± 0,4 <sup>c</sup>	0,001
C18:1 n-9	24,7 ± 0,6 <sup>a</sup>	22,9 ± 1,0 <sup>ab</sup>	20,0 ± 1,7 <sup>b</sup>	0,008
C18:1 n-7	1,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,204
C18:2 n-6	20,0 ± 1,6 <sup>a</sup>	20,8 ± 2,3 <sup>a</sup>	17,6 ± 1,3 <sup>a</sup>	0,148
C18:3 n-3	2,0 ± 0,1	9,9 ± 1,2	12,2 ± 1,8	0,001
C20:0	–	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,012
C20:1 n-9	0,1 ± 0,1	–	–	
C20:4 n-6	1,7 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,088
C20:5 n-3	–	–	0,2 ± 0,2	
C22:4 n-6	0,3 ± 0,0	–	–	
C22:5 n-3	0,3 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,0 <sup>ab</sup>	1,0 ± 0,4 <sup>b</sup>	0,046
C22:6 n-3	–	–	0,4 ± 0,4	
AGS	42,6 ± 0,8 <sup>ab</sup>	40,6 ± 1,2 <sup>a</sup>	44,4 ± 1,9 <sup>b</sup>	0,045
AGMI	33,0 ± 1,5 <sup>a</sup>	26,9 ± 2,2 <sup>b</sup>	22,9 ± 2,2 <sup>b</sup>	0,002
AGPI	24,4 ± 1,8 <sup>a</sup>	32,6 ± 3,2 <sup>b</sup>	32,7 ± 4,0 <sup>b</sup>	0,029
AGPI n-6	22,0 ± 1,6 <sup>a</sup>	22,2 ± 2,1 <sup>a</sup>	18,9 ± 1,6 <sup>a</sup>	0,110
AGPI n-3	2,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	10,4 ± 1,2 <sup>b</sup>	13,8 ± 2,7 <sup>b</sup>	0,001
AGPI n-6/AGPI n-3	9,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,1 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,4 ± 0,2 <sup>c</sup>	0,001
C18:2 n-6/C18:3 n-3	9,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,1 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,5 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,001

AGT : acides gras totaux ; MOD0 : distribution de PanGran durant 90 jours ; MOD30 : distribution de PanGran durant 60 jours, suivie de la distribution de PanEuph durant 30 jours ; MOD90 : distribution de PanEuph durant 90 jours. PanGran : distribution de *Panicum maximum* associé au granulé pour lapin ; PanEuph : distribution de *P. maximum* associé à *Euphorbia heterophylla* avec une quantité de granulé pour lapin  
Moyenne ± écart-type (n = 6 animaux par traitement) ; <sup>a, b, c</sup> Les moyennes sur une même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

faibles en acides laurique (C12:0), myristique (C14:0) et palmitique (p < 0,001). Par ailleurs, la supplémentation du régime de base par l'euphorbe a diminué respectivement de 12 % et de 29 % la teneur en AGMI dans les échantillons MOD30 et MOD90 par rapport à ceux de MOD0 (p < 0,0001).

Tableau IV

Profil en acides gras du muscle *longissimus dorsi* de lapins nourris avec un aliment à base de granulé commercial ou supplémentés avec de l'euphorbe pendant 30 ou 90 jours

Profil en acides gras (% AGT)	MOD0	MOD30	MOD90	Effet mode
C12:0	1,7 ± 0,4	–	–	
C14:0	5,6 ± 0,6 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,9 <sup>b</sup>	1,5 ± 0,3 <sup>b</sup>	0,001
C15:0	0,5 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,1 <sup>ab</sup>	0,83 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,011
C16:0	28,0 ± 2,6 <sup>a</sup>	29,9 ± 2,5 <sup>a</sup>	29,4 ± 1,1 <sup>a</sup>	0,576
C16:1 n-9	0,4 ± 0,0 <sup>a</sup>	–	0,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,127
C16:1 n-7	2,6 ± 0,8 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,3 <sup>b</sup>	0,8 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,011
C18:0	5,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	9,7 ± 2,2 <sup>b</sup>	10,3 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,010
C18:1 n-9	25,2 ± 1,7 <sup>a</sup>	20,6 ± 2,7 <sup>ab</sup>	17,2 ± 1,4 <sup>a</sup>	0,0078
C18:1 n-7	1,3 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,054
C18:2 n-6	24,8 ± 4,2 <sup>a</sup>	25,5 ± 1,4 <sup>a</sup>	22,8 ± 1,6 <sup>a</sup>	0,502
C18:3 n-3	2,2 ± 0,7 <sup>a</sup>	5,8 ± 1,6 <sup>b</sup>	10,9 ± 1,4 <sup>c</sup>	0,001
C20:1 n-9	0,1 ± 0,1	–	–	
C20:4 n-6	1,2 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,2 ± 1,7 <sup>a</sup>	2,3 ± 0,7 <sup>a</sup>	0,422
C20:5 n-3	–	–	0,4 ± 0,3	
C22:4 n-6	0,3 ± 0,1	–	–	
C22:5 n-3	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,9 <sup>ab</sup>	1,8 ± 0,5 <sup>b</sup>	0,042
C22:6 n-3	–	–	0,4 ± 0,3	
AGS	41,6 ± 3,1 <sup>a</sup>	42,9 ± 4,2 <sup>a</sup>	42,1 ± 1,2 <sup>a</sup>	0,881
AGMI	29,7 ± 2,7 <sup>a</sup>	22,9 ± 2,9 <sup>b</sup>	19,4 ± 1,6 <sup>b</sup>	0,006
AGPI	28,7 ± 5,5 <sup>a</sup>	34,3 ± 3,4 <sup>ab</sup>	38,5 ± 1,5 <sup>b</sup>	0,052
AGPI n-6	26,3 ± 4,6 <sup>a</sup>	27,7 ± 2,5 <sup>a</sup>	25,1 ± 2,1 <sup>a</sup>	0,646
AGPI n-3	2,4 ± 0,8 <sup>a</sup>	6,5 ± 1,5 <sup>b</sup>	13,4 ± 1,0 <sup>c</sup>	0,001
AGPI n-6/AGPI n-3	11,7 ± 2,7 <sup>a</sup>	4,4 ± 0,9 <sup>b</sup>	1,9 ± 0,3 <sup>b</sup>	0,001
C18:2 n-6/C18:3 n-3	11,8 ± 2,1 <sup>a</sup>	4,6 ± 1,1 <sup>b</sup>	2,1 ± 0,4 <sup>b</sup>	0,001

AGT : acides gras totaux ; MOD0 : distribution de PanGran durant 90 jours ; MOD30 : distribution de PanGran durant 60 jours, suivie de la distribution de PanEuph durant 30 jours ; MOD90 : distribution de PanEuph durant 90 jours. PanGran : distribution de *Panicum maximum* associé au granulé pour lapin ; PanEuph : distribution de *P. maximum* associé à *Euphorbia heterophylla* avec une quantité de granulé pour lapin  
Moyenne ± écart-type (n = 6 animaux par traitement) ; <sup>a, b, c</sup> Les moyennes sur une même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

DISCUSSION

Ingestion de l'euphorbe

La quantité d'euphorbe ingérée dans cette étude a confirmé la forte appétibilité de ce fourrage par les lapins chez lesquels il représentait plus de 50 % de la matière sèche ingérée. La meilleure ingestion de l'euphorbe et du granulé pour lapin comparativement à l'herbe de Guinée s'expliquerait par leurs plus faibles teneurs en fibres et par la physiologie digestive du lapin (Kouakou et al., 2016b).

Tableau V

Profil en acides gras du tissu adipeux périrénal de lapins nourris avec un aliment à base de granulé commercial ou supplémentés avec de l'euphorbe pendant 30 ou 90 jours

Profil en acides gras (% AGT)	MOD0	MOD30	MOD90	Effet mode
C12:0	4,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,9 ± 0,3 <sup>b</sup>	0,6 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,001
C14:0	7,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	4,2 ± 0,0 <sup>b</sup>	2,5 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,001
C14:1 n-5	0,3 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>ab</sup>	0,030
C15:0	0,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,8 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,010
C16:0	27,6 ± 0,8 <sup>a</sup>	22,4 ± 1,6 <sup>b</sup>	23,0 ± 1,8 <sup>b</sup>	0,009
C16:1 n-9	0,4 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,5 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,014
C16:1 n-7	2,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	1,5 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0,9 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,016
C17:1	0,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,810
C18:0	6,0 ± 0,7 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,9 <sup>a</sup>	6,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,264
C18:1 trans	0,1 ± 0,0	–	–	
C18:1 n-9	24,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	21,8 ± 1,4 <sup>a</sup>	17,7 ± 1,1 <sup>b</sup>	0,007
C18:1 n-7	1,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,051
C18:2 n-6	21,8 ± 0,7 <sup>a</sup>	25,6 ± 1,6 <sup>b</sup>	22,3 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,013
C18:3 n-6	0,1 ± 0,0 <sup>a</sup>	–	–	
C18:3 n-3	2,5 ± 0,1 <sup>a</sup>	13,2 ± 0,3 <sup>b</sup>	22,8 ± 2,8 <sup>c</sup>	0,001
C20:0	0,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,061
C20:1 n-9	0,3 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>ab</sup>	0,12 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,048
C20:2 n-6	0,1 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,313
C20:4 n-6	0,1 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,974
C22:5 n-6	0,1 ± 0,2 <sup>a</sup>	–	–	
C22:5 n-3	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,589
C22:6 n-3	0,1 ± 0,0	–	–	
AGS	46,0 ± 1,2 <sup>a</sup>	35,5 ± 2,3 <sup>b</sup>	34,0 ± 2,0 <sup>b</sup>	0,001
AGMI	27,4 ± 0,7 <sup>a</sup>	24,1 ± 1,9 <sup>b</sup>	19,4 ± 1,1 <sup>c</sup>	0,001
AGPI	25,0 ± 1,2 <sup>a</sup>	39,0 ± 1,8 <sup>b</sup>	45,5 ± 2,5 <sup>c</sup>	0,001
AGPI n-6	22,3 ± 0,9 <sup>a</sup>	25,8 ± 1,5 <sup>b</sup>	22,4 ± 1,0 <sup>a</sup>	0,018
AGPI n-3	2,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	13,3 ± 0,4 <sup>b</sup>	23,1 ± 2,7 <sup>c</sup>	0,001
Autres	1,5 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,2 <sup>ab</sup>	1,2 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,029
AGPI n-6/ AGPI n-3	8,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,0 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,001
C18:2 n-6/ C18:3 n-3	8,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,0 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,001

AGT : acides gras totaux ; MOD0 : distribution de PanGran durant 90 jours ; MOD30 : distribution de PanGran durant 60 jours, suivie de la distribution de PanEuph durant 30 jours ; MOD90 : distribution de PanEuph durant 90 jours. Pan-Gran : distribution de *Panicum maximum* associé au granulé pour lapin ; PanEuph : distribution de *P. maximum* associé à *Euphorbia heterophylla* avec une quantité de granulé pour lapin

Moyenne ± écart-type (n = 6 animaux par traitement) ; a, b, c Les moyennes sur une même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

### Compositions des acides gras des tissus

Cette étude confirme que l'incorporation de l'euphorbe dans l'aliment des animaux accroît les teneurs d'AGPI n-3 dans certains tissus animaux.

Des résultats similaires ont été obtenus avec des graines de lin chez les lapins (Kouba et al., 2008 ; Peiretti et al., 2011 ; Dal Bosco et al., 2015), chez les volailles (Mourot, 2010) et chez les porcs (Raes et al., 2004 ; Wood et al., 2003).

Les teneurs en AGPI n-3 des échantillons prélevés sur les carcasses de lapins peuvent s'expliquer par les teneurs en AGPI n-3 des régimes et par leurs durées de distribution. En effet, plus le régime alimentaire est riche en AGPI n-3, plus les tissus du lapin sont enrichis en AGPI n-3, car chez ces derniers les acides gras d'origine alimentaire sont directement incorporés dans les lipides intramusculaires (Gigaud et Combes, 2007 ; Peiretti et Meineiri, 2008 ; Dalle Zotte et al., 2016).

La réduction globale du rapport des AGPI n-6 / AGPI n-3 était due à l'augmentation de la teneur totale en AGPI n-3 avec le régime supplémenté en euphorbe. Ces observations concordent avec les résultats obtenus chez les lapins et les porcs (Ander et al., 2010 ; Guillevic et al., 2009). Elles suggèrent que la teneur accrue en ALA et généralement en AGPI n-3 favorise une utilisation équilibrée de la  $\Delta$ -6 désaturase pour le métabolisme des AGPI n-6 et n-3 (Ander et al., 2010). Le rapport des acides gras LA/ALA des muscles *semimembranosus* et *longissimus dorsi* des lapins témoins (MOD0) est similaire à celui de la carcasse et du *longissimus dorsi* des lapins nourris de manière traditionnelle (Combes, 2004). Par ailleurs, les rapports LA/ALA obtenus dans les échantillons MOD30 et MOD90 étaient conformes aux recommandations internationales ( $\leq 5$ ) (Combes et Cauquil, 2006 ; Gigaud et Combes, 2007).

Les acides gras ont été incorporés différemment dans les *longissimus dorsi* et *semimembranosus* en raison des variations des teneurs en phospholipides et triacylglycérols entre ces tissus (Konieczka et al., 2017). Le DPA est préférentiellement incorporé dans les phospholipides qui se retrouvent dans une proportion plus élevée dans le *longissimus dorsi* que dans le *semimembranosus*. En revanche, l'ALA est préférentiellement incorporé dans la fraction triacylglycérol, qui se trouve en plus grande quantité dans le *semimembranosus* que dans le *longissimus dorsi* (Peiretti et Meineri, 2008 ; Xue et al., 2015).

### CONCLUSION

Les résultats ont montré que la supplémentation de l'aliment classique des lapins, composé de l'aliment commercial granulé et de l'herbe de Guinée, par un équivalent de feuilles et de tiges d'euphorbe chez les lapins locaux durant seulement 30 jours (entre 60 et 90 jours d'âge) ou durant 90 jours était un moyen assez simple pour obtenir à moindre coût une viande avec un rapport LA/ALA égal ou inférieur à cinq, conforme aux recommandations internationales. La production de lapins enrichis en AGPI n-3 dans les régions où l'euphorbe est disponible pourrait avoir un impact positif sur la santé humaine, notamment en contribuant à la réduction des facteurs de risque de maladies cardiovasculaires. Certes, l'excès en acides gras polyinsaturés oméga 3 pourrait induire une altération de la qualité organoleptique des carcasses. Cependant, compte tenu du déficit de ce nutriment dans l'alimentation dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, les deux modes de supplémentation étudiés sont à populariser.

### Remerciements

Les auteurs remercient Prof. P. Legrand et Dr D. Catheline du laboratoire de Biochimie-nutrition humaine d'Agrocampus Ouest de Rennes pour leurs contributions.

### Déclaration des contributions des auteurs

NDVK, MK et NEA ont participé à la conception et à la planification de l'étude ; SBMC, YDA et NDVK ont recueilli les données et effectué les analyses statistiques ; CEMAK et NDVK ont rédigé et révisé les différentes versions du manuscrit.

## REFERENCES

- Ander B.P., Edel A.L., McCullough R., Rodriguez-Leyva D., Rampersad P., Gilchrist J.S.C., Lukas A., et al., 2010. Distribution of omega-3 fatty acids in tissues of rabbits fed a flaxseed-supplemented diet. *Metabolism*, **59** (5): 620-627, doi: 10.1016/j.metabol.2009.09.005
- ANSES, 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort, France, 327 p.
- Combes S., 2004. Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. *Prod. Anim.*, **17** (5) : 373-383
- Combes S., Cauquil L., 2006. La luzerne déshydratée : une source d'acides gras oméga-3 pour le lapin. *Cunicult. Mag.*, **33** : 71-77
- Dal Bosco A., Castellini C., Martino M., Mattioli S., Marconi O., Sileoni V., Ruggeri S., et al., 2015. The effect of dietary alfalfa and flax sprouts on rabbit meat antioxidant content, lipid oxidation and fatty acid composition. *Meat Sci.*, **106**: 31-37, doi: 10.1016/j.meatsci.2015.03.021
- Dalle Zotte A., Cullere M., Alberghini L., Catellani P., Paci G., 2016. Proximate composition, fatty acid profile, and heme iron and cholesterol content of rabbit meat as affected by sire breed, season, parity order, and gender in an organic production system. *Czech J. Anim. Sci.*, **61** (9): 383-390, doi: 10.17221/24/2016-CJAS
- Delsal L., 1944. A new procedure for extraction of serum lipids with methyl AL. Application to microdetermination of total cholesterol, phosphoaminolipids and proteins. *Bull. Soc. Chem. Biol.*, **26**: 99-105
- Earle F.R., Mcguire T.A., Mallan L., Bagby M.O., Wolff I.A., 1960. Search for new industrial oils. II. Oils with high iodine values. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **37**: 48-51. doi: 10.1007/BF02630825
- Gigaud V., Combes S., 2007. Effet d'un rapport décroissant oméga 6 / oméga 3 du régime sur la teneur en acides gras de la viande de lapin et contribution de la viande ainsi produite aux apports nutritionnels conseillés. In : 12<sup>es</sup> Journées de la recherche cunicole, Le Mans, France, 27-28 nov. 2007, 191-194
- Guillevic M., Kouba M., Mourot J., 2009. Effect of a linseed diet or a sunflower diet on performances, fatty acid composition, lipogenic enzyme activities and stearoyl-CoA-desaturase activity in the pig. *Livest. Sci.*, **124** (1-3): 288-294, doi: 10.1016/j.livsci.2009.02.009
- Ipou I.J., Marmotte P., Kadio G.A., Aké S., Touré Y., 2004. Influence de quelques facteurs environnementaux sur la germination d'*Euphorbia heterophylla* L. (Euphorbiaceae). *Tropicicultura*, **22** : 176-179
- Justi H., Visentainer De S., Matsushita, 2003. The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. *Food Chem.*, **80** (4): 489-493, doi: 10.1016/S0308-8146(02)00317-5
- Konieczka P., Czauderna M., Smulikowska S., 2017. The enrichment of chicken meat with omega-3 fatty acids by dietary fish oil or its mixture with rapeseed or flaxseed. Effect of feeding duration dietary fish oil, flaxseed, and rapeseed and n-3 enriched broiler meat. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **223**: 42-52, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.10.023
- Kouakou N.D.V., Coulibaly S.B.M., Angbo C.E.M., Thys E., Assidjo N.E., Kouba M., 2016a. Réduction des coûts alimentaires des lapins (*Oryctolagus cuniculus* L.) par la distribution de l'herbe de lait (*Euphorbia heterophylla* [L.] Klotz. & Garcke) associée à l'herbe de Guinée (*Panicum maximum* Jacq.) Lam. en élevage semi-intensif. *J. Appl. Biosci.*, **99** : 9373-9381, doi : 10.4314/jab.v99i1.3
- Kouakou N.D.V., Grongnet J.-F., Assidjo N.E., Thys E., Marnet P.-G., Catheline D., Legrand P., Kouba M., 2013. Effect of a supplementation of *Euphorbia heterophylla* on nutritional meat quality of Guinea pig (*Cavia porcellus* L.). *Meat Sci.*, **93** (4): 821-826, doi: 10.1016/j.meatsci.2012.11.036
- Kouakou N'G.D.V., Koffi K.F., Angbo-Kouakou C.E.M., Koné G.A., Kouassi G.F., Amoikon K.E., Kouba M., 2017. Enrichment of quail (*Coturnix coturnix japonica*) egg yolks with omega-3 polyunsaturated fatty acids by euphorbia (*Euphorbia heterophylla*) seeds. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **70** (3): 99-103, doi: 10.19182/remvt.31523
- Kouakou N.D.V., Kouakou N.J.A., Iritié B.M., Adji-Adjemian S.B., Diarrassouba Z., N'Guessan K.R., Kouba M., 2015. Effet de l'herbe de Guinée (*Panicum maximum* Jacq.) associée à l'herbe de lait (*Euphorbia heterophylla* L.) ou aux feuilles de patate douce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) sur la croissance des lapins (*Oryctolagus cuniculus* L.). *J. Appl. Biosci.*, **93** : 8688-8695, doi : 10.4314/jab.v93i1.3
- Kouakou N.D.V., Thys E., Kouba M., 2016b. Etude comparative de digestibilité *in vivo* de *Panicum maximum* associé à *Ipomoea batatas* ou à *Euphorbia heterophylla* chez le lapin (*Oryctolagus cuniculus*) et le cobaye (*Cavia porcellus*). *Tropicicultura*, **34** (2) : 158-165
- Kouba M., Benatmane F., Blochet J.E., Mourot J., 2008. Effect of a linseed diet on lipid oxidation, fatty acid composition of muscle, perirenal fat, and raw and cooked rabbit meat. *Meat Sci.*, **80** (3): 829-834, doi: 10.1016/j.meatsci.2008.03.029
- Lecerf J.-M., 2013. L'huile de palme : aspects nutritionnels et métaboliques : rôle sur le risque cardiovasculaire. *OCL*, **20** (3) : 147-159, doi : 10.1051/ocl.2013.0507
- Morrison W.R., Smith L.M., 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *Lipids Res.*, **5**: 600-608
- Mourot J., 2010. Que peut-on attendre des pratiques d'élevage pour la viande de porcs et autres monogastriques ? *OCL*, **17** (1) : 37-42, doi : 10.1051/ocl.2010.0289
- OMS, 2015. Maladies cardiovasculaires. OMS, Genève, Suisse
- Peiretti P.G., Gasco L., Brugiapaglia A., Gai F., 2011. Effects of perilla (*Perilla frutescens* L.) seeds supplementation on performance, carcass characteristics, meat quality and fatty acid composition of rabbits. *Livest. Sci.*, **138** (1-3): 118-124, doi: 10.1016/j.livsci.2010.12.007
- Peiretti P.G., Meineri G., 2008. Effects on growth performance, carcass characteristics, and the fat and meat fatty acid profile of rabbits fed diets with chia (*Salvia hispanica* L.) seed supplements. *Meat Sci.*, **80** (4): 1116-1121, doi: 10.1016/j.meatsci.2008.05.003
- Raes K., De Smet S., Demeyer D., 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **113** (1-4): 199-221, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2003.09.001
- StataCorp, 2011. Stata/IC 12.0 for Windows. StataCorp, College Station, TX, USA
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, **74**: 3583-3597, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Wood J.D., Richardson R.I., Nute G.R., Fisher A.V., Campo M.M., Kasapidou E., Sheard P.R., et al., 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.*, **66** (1): 21-32, doi: 10.1016/S0309-1740(03)00022-6
- Xue S., He Z., Lu J., Tao X., Zheng L., Xie Y., Xiao X., et al., 2015. Effect of growth on fatty acid composition of total intramuscular lipids and phospholipids in Ira rabbits. *Korean J. Food Sci. Anim.*, **35** (1): 10-18, doi: 10.5851/kosfa.2015.35.1.10

## Summary

**Kouakou N'G.D.V., Coulibaly S.B.M., Angbo-Kouakou C.E.M., Ahongo Y.D., Assidjo N.E., Kouba M.** Rabbit meat (*Oryctolagus cuniculus* L.) enriched in omega 3 with a feed containing euphorbia (*Euphorbia heterophylla* L.)

*Euphorbia heterophylla* is a weed whose leaves and stems can make up 70% of the diet of rabbits (*Oryctolagus cuniculus* L.). In addition, its content in  $\alpha$ -linolenic acid (ALA, C18:3 n-3)

## Resumen

**Kouakou N'G.D.V., Coulibaly S.B.M., Angbo-Kouakou C.E.M., Ahongo Y.D., Assidjo N.E., Kouba M.** Carne de conejo (*Oryctolagus cuniculus* L.) enriquecida en omega 3 con un alimento que contiene euphorbia (*Euphorbia heterophylla* L.)

*Euphorbia heterophylla* es una planta adventicia cuyas hojas y tallos pueden constituir el 70% de la alimentación de los conejos (*Oryctolagus cuniculus* L.). Por otro lado, su conte-

(56% of total fatty acids) is close to that of flax (*Linum usitatissimum*). To contribute to a better nutritional balance of populations, we investigated the effect of the duration of the supplementation of a pellet-based diet (MOD0) with leaves and stems of this weed on the contents in linoleic acid (LA, C18:2 n-6) and ALA of *semimembranosus* and *longissimus dorsi* muscles, and perirenal adipose tissue of growing rabbits. The control diet (MOD0) was supplemented with 50% of euphorbia dry matter from birth to three months old (MOD90) or with 50% of euphorbia dry matter only for one month between 61 and 91 days old (MOD30). The LA/ALA ratios were 9.8, 2.1 and 1.5 in the *semimembranosus* muscle, 11.8, 4.6 and 2.1 in the *longissimus dorsi*, and 8.6, 2.0 and 1.0 in perirenal fat for MOD0, MOD30 and MOD90, respectively ( $p < 0.001$ ). The 30-day minimum supplementation with euphorbia had a positive impact on LA/ALA ratios that fell under international recommendations ( $\leq 5$ ) for human nutrition. In conclusion, the adequate supplementation of rabbit diets with euphorbia, in areas where it abounds, will benefit human health.

**Keywords:** rabbits, *Euphorbia heterophylla*, meat quality, polyunsaturated fatty acids, Cote d'Ivoire

nido en ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA, C18:3 n-3) (56% de ácidos grasos totales) es próximo al del lino (*Linum usitatissimum*). Con el fin de contribuir a un mejor balance nutricional de las poblaciones, se estudió el efecto del período de suplementación de una dieta basada en pienso granulado (MOD0) a partir de hojas y tallos de esta planta adventicia sobre los contenidos de ácido linoleico (LA, C18:2 n-6) y de ALA en los músculos *semimembranosus*, *longissimus dorsi* y en el tejido adiposo perirrenal de conejos en crecimiento. La dieta control (MOD0) se complementó con 50% de materia seca de euphorbia desde el nacimiento hasta los tres meses de edad (MOD90) o solo durante un mes, entre 61 y 91 días de edad (MOD30). La proporción LA/ALA fue de 9,8, 2,1 y 1,5 en el músculo *semimembranosus*; así como de 11,8, 4,6 y 2,1 en el *longissimus dorsi* y de 8,6, 2,0 y 1,0 en el tejido adiposo perirrenal, para los tratamientos MOD0, MOD30 y MOD90, respectivamente ( $p < 0,001$ ). La suplementación con euphorbia, por un período de al menos 30 días tuvo un efecto positivo sobre la proporción LA/ALA, que estaba en línea con la recomendación internacional para la nutrición humana ( $\leq 5$ ). En conclusión, una suplementación adecuada de las dietas de conejos con euphorbia, en las regiones donde este recurso abunde, puede resultar favorable para la salud humana.

**Palabras clave:** conejo, *Euphorbia heterophylla*, calidad de la carne, ácidos grasos poliinsaturados, Cote d'Ivoire





# Pig farming systems and cysticercosis in Northern Uganda

Joseph Morison Kungu<sup>1</sup> Charles Masembe<sup>2</sup>  
Michael Apamaku<sup>3</sup> Joyce Akol<sup>4</sup>  
Winfred Christine Amia<sup>4</sup> Michel Dione<sup>4\*</sup>

## Keywords

Swine, livestock management, *Taenia* spp., cysticercosis, seroprevalence, risk factors, Uganda

Submitted: 14 July 2017  
Accepted: 5 September 2019  
Published: 30 September 2019  
DOI: 10.19182/remvt.31254

## Summary

Rudimentary non-market-oriented pig rearing systems have been implicated in the persistence of *Taenia solium* cysticercosis, an endemic disease of high public health concern in Uganda. We investigated the seroprevalence and key predisposing factors of the disease in Moyo and Lira, two pig-producing districts in Northern Uganda. Cross-sectional serosurveys were conducted in 428 pig farms (Moyo, 262; Lira, 166). Farmers kept on average two adult pigs per herd. Tethering was a common practice in rural areas; free-ranging less so. Confinement of pigs in pens was characteristic of periurban farming systems. Pigs were mainly fed crop residues and forages in the rainy season, and swill and crop residues in the dry season. The majority of farmers of the survey were women (55%) above 45 years old, and 51% of farmers had attained primary school education. A total of 723 pig serum samples were collected, 403 in Moyo, and 320 in Lira. They were analyzed for *Taenia* spp. antigens using B158C11A10/B60H8A4 Antigen-ELISA. The overall animal seroprevalence of *Taenia* spp. serum antigen was 10.4% (95% confidence interval [CI]: 4.9–17.6), with 13.2% (95% CI: 7.1–21.2) the highest in Moyo vs 6.9% (95% CI: 2.9–13.9) in Lira. The herd-level seroprevalence was estimated at 13.7% (95% CI: 9.8–18.5) in Moyo and 11.4% (95% CI: 7.0–17.2) in Lira. Out of 12 explanatory variables assessed for association with the observed seroprevalence, only the district of origin was significant ( $p = 0.01$ ). Pigs originating from Lira were a protective factor against *Taenia* spp. cysticercosis (odds ratio: 0.54). These findings highlight the urgent need for an awareness campaign with prevention and control measures to minimize the risk of transmission to pork consumers in these districts.

■ How to quote this article: Kungu J.M., Masembe C., Apamaku M., Akol J., Amia W.C., Dione M., 2019. Pig farming systems and cysticercosis in Northern Uganda. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 72 (3): 115-121, doi: 10.19182/remvt.31254

## ■ INTRODUCTION

In recent years the rural poor, and middle income urban communities in Uganda have come to appreciate pig production systems as an important source of income and financial security (Ouma, et al., 2014). Pork production has been promoted as a fairly inexpensive option to address protein deficiency, given the limited consumption of animal source foods in Uganda (FAOSTAT. 2014). In Central and Eastern

Uganda, free-ranging, tethering and housing management systems are common farming systems for rearing pigs. These management systems tend to be used interchangeably depending on seasonal patterns (Dione et al., 2014; Muhanguzi et al., 2012). The increase in pig production in response to the increasing urban pork consumption in Uganda represents a market opportunity for rural producers if they can guarantee the production of disease-free pork. However, good biosecurity practices are not uniformly applied along the pig value chain (Dione et al., 2017). The authors of these studies observed that practices where biosecurity and hygiene are poor have a high potential for disease transmission, and this risk is greater when the pathogen is zoonotic. In free-ranging, tethering pig-rearing systems if hygiene and sanitation are poor, they are key drivers of transmission of pig diseases such as *Taenia solium* cysticercosis, a condition of high public health concern. In pig-keeping systems in Uganda, some socio-cultural practices may undermine good hygiene and sanitation; scarcity of feed and water in the dry season may encourage free-range management, compromising the implementation of strategies to control and prevent cysticercosis (Adenuga et al., 2018; Krecek et al., 2012; Kungu et al., 2017b).

1. College of Veterinary Medicine, Animal Resources and Biosecurity, Makerere University, Kampala, Uganda.
2. College of Natural Sciences, Department of Zoology, Entomology and Fisheries Sciences, Makerere University, Kampala, Uganda.
3. National Agricultural Research Organization, Abi Zonal Agricultural Research and Development Institute, Arua, Uganda.
4. International Livestock Research Institute, C/O Bioversity International, PO Box 24384, Kampala, Uganda.

\* Corresponding author  
Email: m.dione@cgiar.org



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

The stage of infection with *T. solium* determines the outcome and/or prognosis of infection in humans. Human infection by consumption of encysted larval stages of *T. solium* in undercooked pork completes the life cycle, with development of pork tapeworms (taeniasis), which has implications on growth and development in children. More deleterious effects to human health result when humans become intermediate hosts. Under these circumstances the larval stages of the parasite become encysted in the brain and muscles of humans. Development of larval cysts in the human brain or neurocysticercosis may result in epileptic seizures, even death. Both humans and pigs acquire cysticercosis by ingesting food or fluids contaminated with *T. solium* eggs shed in the feces of humans with taeniasis (Carabin et al., 2009; Mwape et al., 2015).

Previous prevalence studies have reported the occurrence of the condition in various developing countries in Asia, Latin America and Africa. In Uganda, available studies indicate an emerging *T. solium* cysticercosis problem (Adenuga et al., 2018; Praet et al., 2009; Rodriguez-Hidalgo et al., 2006; Sciutto et al., 2003; Sreedevi et al., 2012). Recent studies in Uganda have reported a high occurrence of the condition in pigs, in both rural and urban settings in Central and Eastern Uganda, and discussed potential risk factors (Kungu et al., 2017a,b). An investigation of this condition in the remote rural settings of Northern Uganda where pig production is steadily increasing will provide more insight on the situation in larger geographical parts of the country. Although there have been efforts to undertake studies to document cysticercosis in Uganda, limited research has been done to assess the magnitude of infection in pig production systems in the Northern area. This study thus aimed to describe the pig production systems and determine the prevalence and risk factors for cysticercosis in the Northern districts of Lira and Moyo.

■ MATERIALS AND METHODS

**Study area**

Cross-sectional surveys were conducted in July 2015 in Lira and Moyo districts (Figure 1). Lira has a human population of 410,516 and Moyo of 137,439. The target subcounties surveyed constituted 47% and 39% of this population, respectively. Together these two districts have 11% of the total pig population in Northern Uganda with 28,631 pigs in Lira and 9,034 pigs in Moyo (UBOS and MAAIF, 2009).

**Site selection**

In Moyo and Lira, the district veterinary officers (DVOs) and subcounty veterinary personnel assisted to identify the subcounties with the highest pig population densities, and these subcounties were included in the current surveys. African swine fever (ASF) disease outbreak reports were used as an additional indicator for high pig population density. For data validation, the DVOs and para-veterinarians operating in the areas were consulted about their perceptions on pig populations in the target subcounties. Two subcounties in Moyo (Moyo, Metu) and five in Lira (Ojwina, Barr, Lira, Adyel and Adekokwok) were selected for the study. Based on the pig value chain domain classification that was previously used (Ouma et al., 2015), Moyo subcounties were all classified in the rural production domain. In Lira District, Adyel, Ojwina and Lira divisions were classified as periurban domains, whereas Barr and Adekokwok were classified as rural domains.

**Sample size calculation**

The pig population sample size was calculated considering an infinite population using the formula  $n = [Z^2 P (1-P)] / d^2$  (Thrusfield, 2007), and an estimated cysticercosis seroprevalence of 12.3%, reported in Central and Eastern Uganda (Kungu et al., 2017a). The minimum sample size to detect a seroprevalence of cysticercosis with an

80%–95% confidence interval was 166 pigs. We adjusted the sample size for intra-cluster correlation using a coefficient of 0.2. As a result, the adjusted sample size was estimated at 200 pigs per district. However, we sampled 320 pigs in Lira and 403 pigs in Moyo. Households enrolled in the survey were randomly selected from a list of farmers generated for each subcounty. In each household, up to three pigs were enrolled under random selection with the exclusion of pigs less than three months old, pregnant sows, and weak piglets.

**Ethical considerations**

Ethical approval was granted by the Research and Ethics Committee of the College of Veterinary Medicine, Animal Resources and Biosciences of Makerere University (Ref. No. SBLS/REC/15/128) and by the Ugandan National Council for Science and Technology (Ref. No. A508). All farmers signed a consent form to participate in the study and to allow their pigs to be sampled.

**Collection of household information and pig serum**

A pig biological data form and a household questionnaire were used to collect information on the individual pigs (age, sex and breed), farmers' demographic information (gender, age, nature of pig business, level of formal education, main source of income, etc.) and pig farming characteristics. For blood collection, pigs were restrained using a pig snare and bled from the anterior vena cava into 10-ml plain vacutainers using 20-gauge needles. Blood samples were transported in cold boxes to the district laboratories and kept overnight at room temperature to facilitate coagulation. Serum was harvested from the whole blood by pipetting into 2-ml cryovials and stored at -20°C pending serological analysis.

**Key informant interviews**

Key informant interviews were carried out with DVOs and district production officers of respective districts in order to gain more information on pig production constraints. Such information was considered to support findings.

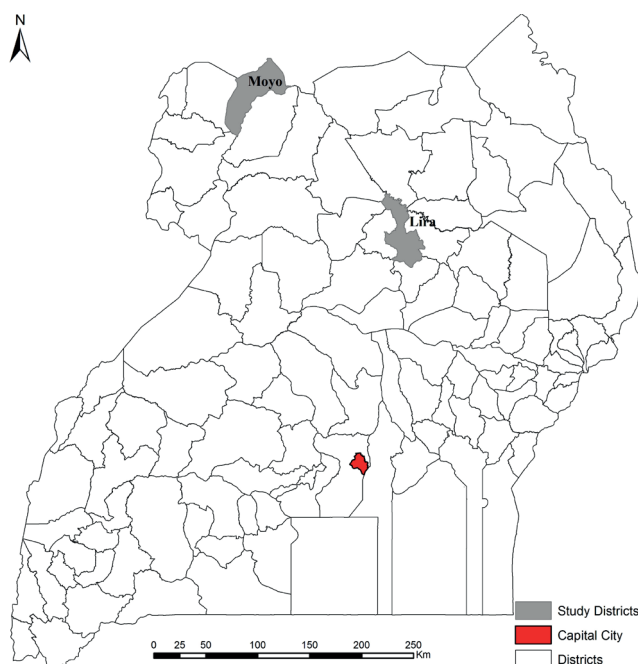


Figure 1: Map of Uganda showing the two districts of the study.

## Serological analysis

Serological analysis for *Taenia* spp. cysticercosis was carried out at the Molecular Biology Laboratory of the College of Natural Sciences, Department of Zoology, Entomology and Fisheries Sciences in Makerere University. Analyses were performed using B158C11A10/B60H8A4 Antigen-ELISA (apDia In Vitro Diagnostic Kit, Belgium) following the manufacturer's instructions. The optical density (OD) of the samples was measured by reading the test plate at 450-nm wavelength (Multiscan Ex, ThermoScientific). For the interpretation of results, the cut-off of the antigen index (Ag Index) for porcine specimens was calculated. The mean OD of the negative control was used to calculate the cut-off by multiplying its value by 3.5. The Ag Index of each sample was calculated by dividing the OD value of the sample by the cut-off value. A positive reaction corresponded to an Ag Index greater than or equal to 1.3. A negative reaction corresponded to an Ag Index less than or equal to 0.8. When the Ag Index was between 0.8 and 1.3, it was considered as a gray zone and samples were retested. They were considered as doubtful if the results remained the same and were excluded from the analysis. Positive and negative controls were provided by the manufacturer.

## Statistical analysis

Individual pig biological data was entered in SPSS 16 for analysis. Samples that did not have biological information associated to them were removed from the analysis ( $n = 18$ ). Descriptive statistics were used to analyze data on farmers' demographic characteristics as well as pig keeping and feeding systems. A logistic regression was conducted to determine associations between cysticercosis seroprevalence and potential risk factors. At first, a univariable analysis using a logistic regression was performed. Factors with  $p \leq 0.2$  were expected to be included in a model for multivariable logistic stepwise regression analysis. Since the seroprevalence of cysticercosis was significantly different in the two districts, the logistic regression analysis of the explanatory variables was also independently done. Multivariable analysis was not conducted in any case because none of the variables were significant at univariable analysis.

## RESULTS

### Farmers' demographic characteristics

A total of 428 pig-keeping households were visited. Female respondents predominated (55%) and most farmers were more than 45 years old. Almost all pig farmers characterized their livelihood as a pig-keeping business (98%), as opposed to communal village boar keeping (2%). Up to 51% of household heads had received primary level education only (Table I).

### Pig demographic characteristics

Demographic data are presented in Table II. Sizes of the pig herds were very small with an average of two adult pigs per farm. The pigs sampled in Lira and Moyo were predominantly local breed (58%) females (61.3%). However, a number of farmers had improved pig breeds (mainly crossbreeds).

### Pig management practices

Tethering (Figure 2) was the most prevalent practice in both districts compared to free-ranging. Highly significant variations in the three management systems were observed between the rainy and the dry seasons ( $\chi^2 = 6.2$ ,  $p = 0.00$ ). The proportion of farmers who practiced free-ranging was higher in the dry season (16%) than in the rainy

**Table I**  
Pig farmers' demographic characteristics  
in two districts of Northern Uganda

Characteristic	Lira District	Moyo District	Total (%)
	Num. of farmers	Num. of farmers	
Sex			
Male	81	112	193 (45.0)
Female	85	150	235 (55.0)
Age (years)			
15–24	16	36	52 (12.0)
25–34	45	69	114 (27.0)
35–44	56	65	121 (28.0)
$\geq 45$	49	92	140 (33.0)
Nature of pig business			
Producer	164	256	420 (98.0)
Village boar keeper	2	6	8 (2.0)
Level of education			
Primary	92	127	219 (51.0)
Secondary	36	50	86 (20.0)
Tertiary	38	85	123 (29.0)
Main source of income for the household			
Pig keeping	28	19	47 (11.0)
Crop farming	110	218	328 (76.6)
Other	28	25	53 (12.4)

**Table II**  
Demographic characteristics of pigs sampled  
in two districts of Northern Uganda

Characteristic	Lira District	Moyo District	Total (%)
	Num. of pigs	Num. of pigs	
Sex			
Male	130	150	280 (38.7)
Female	190	253	443 (61.3)
Breed type			
Local	194	223	416 (58.0)
Cross	96	180	276 (38.0)
Exotic	30	0	30 (4.0)
Category			
Weaner	52	3	55 (7.6)
Gilt	108	95	203 (28.1)
Grower	15	20	35 (4.8)
Communal boar	47	34	81 (11.2)
Castrate	30	109	139 (19.2)
Sow	68	142	210 (29.1)
Age (months)			
4–6	179	39	218 (30.2)
7–12	55	159	214 (29.6)
$> 12$	86	205	291 (40.2)

one (4%). Likewise, the number of pigs tethered was lower in the dry season (66%) than in the rainy one (78%).



Figure 2: Tethered pig in a rural area of Northern Uganda.

**Pig feeding strategies**

There was significant variation in the feed types used in the rainy and dry seasons ( $\chi^2 = 4.01, p = 0.00$ ). During the rainy season, pigs were mainly fed on crop residues (63%) (raw or boiled cassava leaf and peelings, sweet potato vine, pumpkin and rice husk) and forages (25%). In the dry season, they were mainly fed household kitchen swill (39%) and crop residues (38%). Commercial feeds including maize, rice bran, blood and fishmeal were used to supplement diets, but supplementation was less practiced during both the rainy and dry seasons.

**Pig health constraints**

Pig health challenges included ASF, and internal and external parasites (worms, lice and ticks). ASF was endemic in both districts and outbreaks occurred frequently especially during the dry season. ASF was perceived by farmers and key informants as the most important health constraint to pig systems. Besides ASF, which is known by local names, farmers could only mention clinical signs in their pigs, and the most commonly reported were diarrheas, respiratory problems, appetite and weight loss, shivering (fever sign), and skin affections. The high rate of piglet mortality and lack of feeds were also pointed out as major concerns. Farmers' knowledge of pig zoonoses was generally very poor. However, porcine cysticercosis was relatively known by farmers, traders and butchers, but its mode of transmission and impact to humans was not well understood. Pig slaughter was conducted in backyard slaughter slabs in both districts, and pork inspection did not frequently occur. In Moyo a community slaughter slab had been built in order to centralize pig slaughter, thus allowing easy meat inspection. Major constraints reported by veterinary officers, meat inspectors, extension workers and private animal health practitioners included i) failure by the community to report pig disease outbreaks to the district veterinary office, ii) uncontrolled movement of livestock and livestock products within and outside the districts, iii) high porosity of South Sudan and Moyo District border enabling easy exchange of livestock with limited sanitary control, iv) low awareness of the community about zoonotic diseases, and v) low level of farmers' knowledge regarding safe handling and processing of dead animals.

**Seroprevalence and risk factor analysis**

Out of 723 pig serum samples, only 75 were positive, implying that the overall prevalence was 10.4% (95% confidence interval [CI]: 4.9–17.6). Moyo had more affected pigs (95% CI: 13.2%; 7.1–21.2)

than Lira (95% CI: 6.9%; 2.9–13.9) (Table III). The herd seroprevalence was estimated at 13.7% (95% CI: 9.8–18.5) for Moyo, and 11.4% (95% CI: 7.0–17.2) in Lira (Table IV). Eleven potential risk factors were assessed for association with cysticercosis seroprevalence using a univariable logistic regression analysis (Table V). However, only the district was shown to be significantly associated with the condition (Table V). Results showed that the infection increased significantly with the age increase of pigs in Moyo ( $p = 0.014; F = 6.09$ ). There was no significant association observed between pig infection and age in Lira. Univariable analyses were run independently by district with no significant factors observed.

**DISCUSSION**

Pigs were kept in small numbers for subsistence mostly by women and children. The observed pig farming practices were characteristic of a typical smallholder pig farming system, which is predominant in

Table III

Pig seroprevalence of cysticercosis according to the location in two districts of Northern Uganda

District	Subcounty	Num. of pigs	Num. positive (%)	% Positive (CI)
Lira	Ojwina (U)	46	3	6.5 (2.9–13.9)
	Barr (R)	143	12	8.4 (3.5–15.2)
	Lira (U)	29	1	3.4 (0.6–8.5)
	Adyel (U)	42	2	4.8 (1.6–11.3)
	Adekokwok (R)	60	4	6.7 (2.9–13.9)
	Total	320	22	6.9 (2.9–13.9)
Moyo	Moyo (R)	188	21	11.2 (5.6–18.8)
	Metu (R)	215	32	14.9 (8.7–23.50)
	Total	403	53	13.2 (7.1–21.2)
Overall total		723	75	10.4 (4.9–17.6)

CI: 95% confidence interval; R: rural pig production; U: periurban pig production

Table IV

Herd seroprevalence of cysticercosis according to the location in two districts of Northern Uganda

District	Subcounty	Num. of herds	Num. positive (%)	% Positive (CI)
Lira	Ojwina (U)	23	2	0.4 (0.1–2.2)
	Barr (R)	77	10	1.3 (0.6–2.2)
	Lira (U)	14	1	0.6 (0.1–3.4)
	Adyel (U)	20	2	0.7 (0.1–3.2)
	Adekokwok (R)	32	4	1.2 (0.4–2.9)
	Total	166	19	11.4 (7.0–17.2)
Moyo	Moyo (R)	96	11	11.4 (5.9–19.6)
	Metu (R)	166	25	15.0 (9.9–21.4)
	Total	262	36	13.7 (9.8–18.5)
Overall total		428	55	12.8 (9.8–16.4)

CI: 95% confidence interval; R: rural pig production; U: periurban pig production

Table V

Univariable regression of risk factors of cysticercosis in two districts of Northern Uganda

Variable	Num. of pigs	Num. positives (%)	P
District			
Lira	320	22 (6.9)	0.01
Moyo	403	53 (13.2)	
Pig sex			
Male	280	27 (9.6)	0.61
Female	443	48 (10.8)	
Pig breed			
Local	416	42 (10.1)	0.83
Cross	275	30 (10.9)	
Exotic	30	3 (10.0)	
Pig category			
Weaner	55	4 (7.3)	0.24
Gilt	203	17 (8.4)	
Grower	35	5 (14.3)	
Entire boar	81	5 (6.2)	
Castrate	139	14 (10.1)	
Sow	210	30 (14.3)	
Rainy season, day management			
Free-ranging	29	2 (6.9)	0.56
Tethering	567	63 (11.0)	
Housed	127	10 (7.9)	
Rainy season, night management			
Free-ranging	27	4 (14.8)	0.16
Tethering	539	61 (11.2)	
Housed	157	10 (6.4)	
Dry season, day management			
Free-ranging	114	14 (12.3)	0.62
Tethering	477	50 (10.5)	
Housed	130	11 (8.5)	
Dry season, night management			
Free-ranging	105	13 (12.4)	0.23
Tethering	465	52 (11.2)	
Housed	150	10 (6.7)	
Feed in rainy season			
Crop residues	454	47 (10.4)	0.17
Forage	178	24 (13.5)	
Concentrate	54	2 (3.7)	
Swill	37	2 (5.4)	
Feed in dry season			
Crop residues	276	28 (10.1)	0.16
Forage	87	8 (9.2)	
Concentrate	79	3 (3.8)	
Swill	281	36 (12.8)	
Dewormer used in pigs			
Levamisole	368	37 (10.1)	0.98
Ivermectin	35	4 (11.4)	
Albendazole	5	0 (0.0)	

Uganda, where up to 80% of pig farmers hold a small stock ranging from one to five pigs (Ouma et al., 2015). In this study, the majority of the pig farmers interviewed were female. The proportion of female-headed households owning pigs in Uganda has increased significantly in the last 10 years, from 15% to 32%. Regardless of who heads the household, it is widely agreed that women and children actively participate in managing pigs and other animals reared in homesteads (Uganda Bureau of Statistics, 2014).

The pig management practices reported in this study (free-ranging, tethering and housing) were similar to those reported in Central and Eastern Uganda, and in Gulu District in the North (Chenais et al., 2017; Dione et al., 2014). Although tethering was predominantly practiced in both districts, highly significant variations were noted in the three systems of management during the rainy and dry seasons. The number of free-ranging pigs was higher in the dry season than in the rainy one, a finding which concurs with previous studies in Uganda and the Democratic Republic of Congo (Dione et al., 2014; Lekule and Kyvsgaard, 2003). These changes in management systems with seasonal patterns have mainly been associated with limited feed resources and minimal crops during the dry season (Lekule and Kyvsgaard, 2003). Most farmers favored tethering as an alternative to roaming, as they could not afford building proper housing for pigs. In comparison with the housing system, it is considered to be less labor intensive (Dione et al., 2014).

A significant variation in feed types given to the pigs was noted in this study, whereby crop residues and forages were mainly used in the rainy season, whereas swill and crop residues predominated during the dry season. During the rainy season, there was an increased availability of forage and crop residues such as cassava leaf and sweet potato vine. During the dry season, feeds became scarce, resulting in farmers tethering their pigs in grazing fields with scanty pastures and supplementing them with swill (Braae et al., 2015). Limited use of commercial feed (concentrate) was reported probably because of their high cost (Lekule and Kyvsgaard, 2003).

The rearing systems reported here faced many challenges such as exposure of pigs to diseases, theft and predation, environmental stressors, poor nutrition, as reported elsewhere (Lekule and Kyvsgaard, 2003). Pig farmers also faced other challenges such as a high disease prevalence (especially ASF), feed scarcity and limited access to markets, which are the same challenges reported in other districts of Uganda (Dione et al., 2014; Muhanguzi et al., 2012).

The overall cysticercosis prevalence (10.4%) was within the range of that reported elsewhere in the country (Kungu et al., 2016; Nsadhwa et al., 2014; Waiswa et al., 2009). The higher odds of disease occurrence in Moyo could be attributed to a greater exposure of pigs to the infection given that Moyo had a more extensive pig system than Lira. Tethering and free-ranging represented risks that could not be underestimated.

Traditional rearing systems increase the likelihood of pigs accessing human fecal matter contaminated with tapeworm eggs, facilitating the completion and maintenance of the transmission cycle of pork tapeworms and cysticercosis (Carabin et al., 2015; Mwanjali et al., 2013; Thys, 2016; Braae et al., 2015). In Uganda, the occurrence of cysticercosis is a major public health concern given that farmers who are also consumers have little awareness of the condition and how to prevent and control it (Kungu et al., 2017b). Therefore, there is a need to raise awareness among pig value chain actors and stakeholders about the risks of infection with *Taenia* spp. through community advocacy campaigns with relevant authorities. Improved prevention and mitigation measures are highly needed to minimize transmission of the disease to people, with apparent benefits to the pig sector in terms of incomes and human health. Further studies should focus on the assessment of the roles of pig value chain actors in the management of cysticercosis and to investigate the effectiveness of approaches that promote the participation of farmers and other actors and stakeholders in the control of the disease.

## ■ CONCLUSION

The study reported that traditional tethering was the most popular system of pig production in the two districts, showing the challenge that impedes improving the productivity of the pig industry. The pig management systems posed the silent risk of maintaining pig-related diseases. The observed cysticercosis prevalence confirmed the endemic occurrence of the disease in the districts. Since the serological test used was not *T. solium* specific, surveys using specific tests such as whole carcass inspection and PCR should be carried out to estimate *T. solium* cysticercosis burden. In-depth studies should also be performed to understand the factors that led to the significant difference of cysticercosis seroprevalence between Moyo and Lira districts. This study and other similar works could form a preliminary basis for the development and implementation of feasible control strategies countrywide.

## Acknowledgments

This study was funded by USAID linkage Fund to CGIAR Research Program on Livestock. We thank the district veterinary officers of Lira (Dr. W. Okwir) and Moyo (Dr. R. Akule), as well as district veterinary extension staffs and pig farmers for their cooperation, and technical and logistical support.

## Author contributions statement

MD conceptualized the study; MD and MA designed and coordinated the study; MA, JA, WCA and JMK collected the samples and household information; CM and JA performed the laboratory analysis; JMK performed the statistical analysis; JMK and MD wrote the manuscript.

## REFERENCES

- Adenuga A., Mateus A., Ty, C., Borin K., Holl D., San S., Duggan V., et al., 2018. Seroprevalence and awareness of porcine cysticercosis across different pig production systems in south-central Cambodia. *Parasit. Epidemiol. Cont.*, **3** (1): 1-12, doi: 10.1016/j.parepi.2017.10.003
- Braae U.C., Harrison W., Lekule F., Magnussen P., Johansen M.V., 2015. Feed-stuff and poor latrines may put pigs at risk of cysticercosis. A case-control study. *Vet. Parasitol.*, **214** (1-2): 48-55, doi: 10.1016/j.vetpar.2015.08.009
- Carabin H., Millogo A., Cissé A., Gabriël S., Sahlou I., Dorny P., Bauer C., et al., 2015. Prevalence of and factors associated with human cysticercosis in 60 villages in three provinces of Burkina Faso. *PLoS Neglect. Trop. Dis.*, **9** (11): 1-20, doi: 10.1371/journal.pntd.0004248
- Carabin H., Millogo A., Praet N., Hounton S., Tarnagda Z., Ganaba R., Dorny P., et al., 2009. Seroprevalence to the antigens of *Taenia solium* cysticercosis among residents of three villages in Burkina Faso: A cross-sectional study. *PLoS Neglect. Trop. Dis.*, **3** (11), 7, doi: 10.1371/journal.pntd.0000555
- Chenais E., Boqvist S., Sternberg-Lewerin S., Emanuelson U., Ouma E., Dione M., Aliro T., et al., 2017. Knowledge, attitudes and practices related to African swine fever within smallholder pig production in Northern Uganda. *Transbound. Emerg. Dis.*, **64** (1): 101-115. doi: 10.1111/tbed.12347.
- Dione M.M., Akol J., Roesel K., Kungu J., Ouma E.A., Wieland B., Pezo D., 2017. Risk factors for African swine fever in smallholder pig production systems in Uganda. *Transbound. Emerg. Dis.*, **64** (3): 872-882, doi: 10.1111/tbed.12452
- Dione M.M., Ouma E.A., Roesel K., Kungu J., Lule P., Pezo D., 2014. Participatory assessment of animal health and husbandry practices in smallholder pig production systems in three high poverty districts in Uganda. *Prev. Vet. Med.*, **117** (3-4): 565-576, doi: 10.1016/j.prevetmed.2014.10.012
- FAOSTAT, 2014. Food balance sheet. FAO, Rome, Italy
- Krecke R.C., Mohammed H., Michael L.M., Schantz P.M., Ntanjana L., Morey L., Werre S.R., et al., 2012. Risk factors of porcine cysticercosis in the Eastern Cape Province, South Africa. *PLoS One*, **7** (5), e37718, doi: 10.1371/journal.pone.0037718
- Kungu J.M., Dione M.M., Ejobi F., Harrison L.J.S., Poole E.J., Pezo D., Grace D., 2017. Seroprevalence of *Taenia* species in rural and urban smallholder pig production settings in Uganda. *Acta Tropica*, **165**: 110-115, doi: 10.1016/j.actatropica.2016.01.016
- Kungu J.M., Dione M.M., Ejobi F., Ocaido M., Grace D., 2017. Risk factors, perceptions and practices associated with *Taenia solium* cysticercosis and its control in the smallholder pig production systems in Uganda: a cross-sectional survey. *BMC Infect. Dis.*, **17** (1): 1, doi: 10.1186/s12879-016-2122-x
- Lekule F.P., Kyvsgaard N.C., 2003. Improving pig husbandry in tropical resource-poor communities and its potential to reduce risk of porcine cysticercosis. *Acta Trop.*, **87** (1): 111-117, doi: 10.1016/S0001-706X(03)00026-3
- Muhanguzi D., Lutwama V., Mwiine F.N., 2012. Factors that influence pig production in Central Uganda. Case study of Nangabo Sub-County, Wakiso District. *Vet. World*, **5** (6): 346-351, doi: 10.5455/vetworld.2012.346-351
- Mwanjali G., Kihamia C., Kakoko D.V.C., Lekule F., Ngowi H., Johansen M.V., Thamsborg S.M., et al., 2013. Prevalence and risk factors associated with human *Taenia solium* infections in Mbozi District, Mbeya Region, Tanzania. *PLoS Neglect. Trop. Dis.*, **7** (3), e2102, doi:10.1371/journal.pntd.0002102
- Mwape K.E., Blocher J., Wiefek J., Schmidt K., Dorny P., Praet N., Chiluba C., et al., 2015. Prevalence of neurocysticercosis in people with epilepsy in the Eastern province of Zambia. *PLoS Neglect. Trop. Dis.*, **9** (8): 1-15, doi: 10.1371/journal.pntd.0003972
- Nsadh Z., Thomas L.F., Fèvre E.M., Nasinyama G., Ojok L., 2014. Prevalence of porcine cysticercosis in the Lake Kyoga Basin, Uganda. *BMC Vet. Res.*, **10**: 239, doi: 10.1186/s12917-014-0239-y
- Ouma E., Dione M., Lule P., Pezo D., Marshall K., Roesel K., Mayega L., et al., 2015. Smallholder pig value chain assessment in Uganda: results from producer focus group discussions and key informant interviews (res. rep.). ILRI, Nairobi, Kenya
- Ouma E., Dione M., Lule P., Roesel K., Pezo D., 2014. Characterization of smallholder pig production systems in Uganda: Constraints and opportunities for engaging with market systems. *Livest. Res. Rural Dev.*, **26** (3)
- Praet N., Speybroeck N., Manzanedo R., Berkvens D., Nsame Nfominwe D., Zoli A., Quet F., et al., 2009. The disease burden of *Taenia solium* cysticercosis in Cameroon. *PLoS Neglect. Trop. Dis.*, **3** (3), 8, doi: 10.1371/journal.pntd.0000406
- Rodriguez-Hidalgo R., Benitez-Ortiz W., Praet N., Saa L.R., Vercruyse J., Brandt J., Dorny P., 2006. Taeniasis-cysticercosis in Southern Ecuador: assessment of infection status using multiple laboratory diagnostic tools. *Memorias Instit. Oswaldo Cruz*, **101** (7): 779-782, doi: 10.1590/S0074-02762006000700012
- Sciutto E., Martínez J.J., Huerta M., Avila R., Fragoso G., Villalobos N., de Aluja A., et al., 2003. Familial clustering of *Taenia solium* cysticercosis in the rural pigs of Mexico: hints of genetic determinants in innate and acquired resistance to infection. *Vet. Parasitol.*, **116** (3): 223-229, doi: 10.1016/j.vetpar.2003.07.003
- Sreedevi C., Hafeez M., Kumar P.A., Rayulu V.C., Subramanyam K.V., Sudhakar K., 2012. PCR test for detecting *Taenia solium* cysticercosis in pig carcasses. *Trop. Anim. Health Prod.*, **44** (1): 95-99, doi: 10.1007/s11250-011-9893-2
- Thrusfield M., 2007. Veterinary Epidemiology, 3rd edn. Blackwell Science, Oxford, UK
- Thys S., Mwape K.E., Lefèvre P., Dorny P., Phiri A.M., Marcotty T., Phiri I.K., et al., 2016. Why pigs are free-roaming: Communities' perceptions, knowledge and practices regarding pig management and taeniasis/cysticercosis in a *Taenia solium* endemic rural area in Eastern Zambia. *Vet. Parasitol.*, **225**, 33-42, doi: 10.1016/j.vetpar.2016.05.029.
- UBOS, MAAIF, 2009. National livestock census. Ministry of Agriculture, Animal Industry and Fisheries, Entebbe / Uganda Bureau of Statistics. Kampala, Uganda
- Uganda Bureau of Statistics, 2014. Statistical abstract. Statistics House, Kampala, Uganda, 305 p.
- Waiswa C., Fèvre E.M., Nsadh Z., Sikasunge C.S., Willingham A.L., 2009. Porcine cysticercosis in Southeast Uganda: seroprevalence in Kamuli and Kaliro districts. *J. Parasitol. Res.*, **2009**: 375493, doi: 10.1155/2009/375493

## Résumé

**Kungu J.M., Masembe C., Apamaku M., Akol J., Amia W.C., Dione M.** Systèmes d'élevage porcin et cysticercose au nord de l'Ouganda

Les systèmes rudimentaires d'élevage de porcs, non orientés vers le marché, ont été impliqués dans la persistance de la cysticercose à *Taenia* spp., maladie endémique présentant un grave problème de santé publique en Ouganda. Nous avons étudié la séroprévalence et les principaux facteurs prédisposant de la maladie à Moyo et à Lira, deux districts producteurs de porcs au nord du pays. Des enquêtes sérologiques transversales ont été menées dans 428 élevages porcins (Moyo, 262 ; Lira, 166). Deux porcs adultes étaient gardés en moyenne par troupeau. En milieu rural ils étaient souvent attachés, la divagation étant occasionnelle. Le confinement en enclos était observé en milieu périurbain. Les animaux étaient principalement alimentés avec des résidus de culture et des fourrages pendant la saison des pluies, et des restes d'aliment des ménages et les résidus de culture en saison sèche. La majorité des éleveurs de l'enquête étaient des femmes (55 %) âgées de plus de 45 ans ; 51 % des éleveurs avaient le niveau de l'école primaire. Au total 723 échantillons sériques porcins ont été prélevés (Moyo, 403 ; Lira, 320). Ils ont été analysés pour la détection des antigènes de *Taenia* spp. en utilisant le test B158C11A10/B60H8A4 Elisa-antigène. La séroprévalence animale totale de l'antigène sérique de *Taenia* spp. était de 10,4 % (intervalle de confiance [IC] à 95 % : 4,9–17,6). Elle a été la plus élevée à Moyo avec 13,2 % (IC à 95 % : 7,1–21,2) vs 6,9 % (IC à 95 % : 2,9–13,9) à Lira. La séroprévalence au niveau du troupeau a été estimée à 13,7 % (CI 95 % : 9,8–18,5) à Moyo vs 11,4 % (CI 95 % : 7,0–17,2) à Lira. Parmi les 12 variables explicatives évaluées pour l'association avec la séroprévalence observée, seul le district d'origine était significatif ( $p = 0,01$ ). Les porcs originaires de Lira étaient un facteur protecteur contre la cysticercose à *Taenia* spp. (*odds ratio* : 0,54). Ces résultats ont souligné le besoin urgent de mettre en place des mesures de lutte pour minimiser le risque de transmission aux consommateurs de porc dans ces districts.

**Mots-clés :** porcin, conduite d'élevage, *Taenia* spp., cysticercose, séroprévalence, facteur de risque, Ouganda

## Resumen

**Kungu J.M., Masembe C., Apamaku M., Akol J., Amia W.C., Dione M.** Sistemas de crianza porcina y cisticercosis en el norte de Uganda

Los sistemas más rudimentarios de cría de cerdos, no orientados al mercado, se han visto implicados en la persistencia de la cisticercosis de *Taenia* spp., enfermedad endémica que representa un grave problema de salud pública en Uganda. La seroprevalencia y los principales factores predisponentes de dicha enfermedad fueron estudiados en Moyo y Lira, dos distritos productores de carne de cerdo en el norte del país. Para ello se realizaron encuestas serológicas transversales en 428 granjas porcinas (Moyo, 262; Lira, 166). Se contabilizó una media de dos cerdos adultos por rebaño. En las zonas rurales, los animales se encontraban principalmente atados, con desplazamientos libres ocasionales. En las zonas periurbanas sin embargo se observó un predominio del sistema de estabulación. También se observó que la alimentación se basa principalmente en los residuos de cultivos y los forrajes durante la época lluviosa, mientras que en la época seca se distribuyen residuos de cocina (domésticos) y otros residuos de cultivo. En la encuesta, la mayoría de los productores fueron mujeres (55%) mayores de 45 años y el 51% contaban con el nivel de escolaridad primaria. Se recogieron en total 723 muestras de suero porcino (Moyo, 403; Lira, 320). Para la detección de antígenos de *Taenia* spp., las mismas fueron analizadas utilizando el test Elisa B158C11A10/B60H8A4. La seroprevalencia animal total de antígeno sérico de *Taenia* spp. resultó ser del 10,4% (intervalo de confianza [IC] del 95%: 4,9–17,6). Los valores más altos se encontraron en Moyo (13,2%; IC 95%: 7,1–21,2) vs 6,9% (IC 95%: 2,9–13,9) en Lira. La seroprevalencia a nivel del rebaño se estimó a la altura del 13,7% (IC 95%: 9,8–18,5) en Moyo y al 11,4% (IC 95%: 7,0–17,2) en Lira. Entre las 12 variables predictivas evaluadas para la asociación con la seroprevalencia observada, solo el distrito de origen resultó ser significativo ( $p = 0,01$ ). Los cerdos procedentes de Lira fueron un factor protector contra la cisticercosis provocada por *Taenia* spp. (*odds ratio*: 0,54). Estos resultados indican la necesidad urgente de establecer medidas de control para minimizar el riesgo de transmisión a los consumidores de carne de cerdo en estos distritos.

**Ganado bovino:** cerdo, manejo del ganado, *Taenia* spp., cisticercosis, seroprevalencia, factores de riesgo, Uganda





# La tique du bétail en Nouvelle-Calédonie : synthèse sur 75 ans de présence et 60 ans de recherche. Une histoire locale pour un enseignement global

Thomas Hüe \*

## Mots-clés

Bovin, élevage, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, acaricide, histoire, recherche, Nouvelle-Calédonie

Submitted: 17 January 2019

Accepted: 29 May 2019

Published: 30 September 2019

DOI: 10.19182/remvt.31781

## Résumé

Alors que les premiers bovins étaient présents depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle en Nouvelle-Calédonie, la tique du bétail, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini), y fut malencontreusement introduite en 1942. Du jour au lendemain, ce parasite a bouleversé l'élevage bovin, modifié les habitudes des éleveurs et marqué la vie en brousse au rythme des rentrées de bétail pour la baignade acaricide. Soixante-quinze ans plus tard, il façonne encore le paysage calédonien en obligeant une majorité des éleveurs à abandonner les races historiques, trop sensibles à la tique, au profit de races plus résistantes. Les premiers programmes de recherche visant à contrôler ce parasite ont vu le jour il y a près de 60 ans. Ils ont généré des informations permettant de proposer aujourd'hui différents outils aux éleveurs calédoniens pour maintenir leurs élevages malgré cette pression parasitaire. La synthèse des données sur ces décennies de présence de la tique et de recherche indique que les éleveurs ont dû s'adapter à ce problème au risque de voir leur activité mise en péril, mais également que la gestion à venir de ce parasite ne pourra plus reposer uniquement sur l'usage des acaricides chimiques du fait de la résistance développée par *R. microplus*. Une attention particulière doit être apportée à la détermination des demandes des éleveurs au-delà des besoins identifiés par la recherche et les services techniques, afin de faciliter l'adhésion de tous aux solutions proposées.

■ Comment citer cet article: Hüe T., 2019. Livestock ticks in New Caledonia: Review on 75 years of presence and 60 years of research. Local history for global learning. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 72 (3): 123-132, doi: 10.19182/remvt.31781

## ■ INTRODUCTION

La Nouvelle-Calédonie est située à 1500 km à l'est de l'Australie et mesure 450 km de long pour 50 km de large. Le cheptel bovin y est estimé à 80 000 têtes, élevées en conditions extensives, principalement sur la côte Ouest, et réparties dans 1200 exploitations dont 40 % ont moins de 20 têtes (Davar, 2015). L'île bénéficie d'un climat tropical océanique avec des températures moyennes évoluant entre

27 °C et 28 °C en été (décembre-mars) et entre 20 °C et 22 °C en hiver (juin-septembre).

La tique du bétail, *Rhipicephalus microplus* – référencée dans la littérature scientifique sous le nom d'espèce *Boophilus microplus* jusqu'en 2003 (Murrell et Barker, 2003 – est l'une des six espèces de tiques présentes en Nouvelle-Calédonie et l'une des deux tiques pouvant parasiter les bovins, l'autre étant *Haemaphysalis longicornis*. Alors que *H. longicornis* n'entraîne que des infestations modérées en élevage, la tique du bétail, *R. microplus*, est un parasite majeur pour l'élevage, en Nouvelle-Calédonie comme dans tous les pays où elle est présente. Ses infestations potentiellement massives peuvent entraîner des retards de croissance, des amaigrissements, voire des mortalités importantes dans les troupeaux par la spoliation sanguine et l'intoxication qu'elle engendre, auxquelles s'ajoute dans de nombreux cas, mais pas en Nouvelle-Calédonie, la transmission d'hétoparasites (*Anaplasma*, *Babesia*, *Theileria*).

\* Institut agronomique néo-calédonien (IAC), équipe ARBOREAL, Laboratoire de parasitologie, BP 73, 98890 Païta, Nouvelle-Calédonie.

Tél. : +687 43 74 25 ; email : hue@iac.nc



## ■ ARRIVÉE DES PREMIERS BOVINS ET DE LA TIQUE DU BÉTAIL

### *Début de l'élevage*

Les premiers bovins sont arrivés d'Australie au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle suite à l'implantation des premiers santaliers et éleveurs. Les premiers animaux étaient, de ce fait, issus de croisements de races anglo-saxonnes : Durham, Hereford, Devon, Angus, entre autres (Dubois, 1984). Le recensement du premier troupeau, appartenant à James Paddon, fait état de 435 bovins en 1859 (Martin, commun. pers.). La tique du bétail, *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus*, n'ayant probablement été introduite qu'en 1872 dans le nord de l'Australie (Barré et Uilenberg, 2010), les animaux furent importés en Nouvelle-Calédonie indemnes de ce parasite. En 1881, le territoire comptait 104 000 têtes de bétail pour 95 élevages, mais cet effectif a beaucoup fluctué au gré des crises économiques et sociales. L'arrivée des premiers animaux de race Limousine remonte à 1905. Cette race a progressivement remplacé les races anglo-saxonnes du fait de l'importation successive de taureaux depuis la métropole. La race Charolaise fut également introduite à partir de 1967 pour augmenter le gabarit des produits en croisement terminal (Anonyme, 1984).

### *Mise en place précoce de mesures pour éviter les introductions de parasites*

Dès 1860, la Nouvelle-Calédonie a mis en place des mesures visant à prévenir l'introduction de parasites provenant de l'extérieur, en réglementant l'introduction des animaux (arrêté n° 252 du 18 jan. 1860). Les premières mesures quaranténaires ont été prévues à partir de 1870 (décision n° 173 du 21 mai 1870 ; arrêté n° 344 du 23 déc. 1872) et différentes quarantaines ont été installées dans la colonie. Le risque d'introduction de tiques a été identifié à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. L'arrêté n° 228 du 22 mars 1897 mentionnait ainsi clairement l'« épidémie de tiques » en Australie. Cet arrêté (complété par les n° 752 du 20 juil. et 1113 du 17 nov. 1898) a interdit l'importation de tout animal, fourrage et produits similaires en provenance du Queensland, puis de l'Australie-Occidentale et du nord de l'Australie-Méridionale. L'arrêté n° 315 du 27 mars 1899 a conduit finalement à l'interdiction totale d'importation de bovins, chevaux et autres animaux destinés à la reproduction, ainsi que des fourrages en provenance d'Australie. Seules ont été autorisées les importations de bovins et ovins destinés à la consommation dans des conditions très restrictives. La crainte d'introduire des tiques était telle que cet arrêté a également prévu la fermeture temporaire de la quarantaine de Ducos, située en périphérie de Nouméa, le temps de l'équiper de tôles sur une hauteur de deux mètres, enduites de matières grasses sur la barrière extérieure du côté de la Grande Terre. L'herbe devait en outre être brûlée tous les mois sur un périmètre de quatre mètres autour des installations. La mise en place de ces mesures a permis la réouverture de cette quarantaine à la fin de l'année 1899 (arrêté n° 1191 du 8 déc. 1899). L'importation d'animaux en provenance d'Australie n'a été à nouveau autorisée de manière exceptionnelle qu'à partir de 1920 sous réserve que les animaux aient été traités avec un acaricide avant le départ (arrêté n° 822A du 27 sept. 1920), puis de manière plus régulière en 1930 – à l'exception des importations depuis l'état du Queensland (arrêté n° 242 du 15 fév. 1930). Cet assouplissement a été corrélé à la création, sur le territoire, d'un lazaret comprenant notamment une piscine pour les traitements parasitocides (arrêté n° 243 du 15 fév. 1930).

### *1942 : introduction de la tique du bétail*

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la Nouvelle-Calédonie a servi de base militaire à l'armée américaine dans la guerre du Pacifique. Plus d'un million d'Américains sont passés sur le territoire, y laissant jusqu'à 100 000 soldats permanents. Pour satisfaire les besoins

de l'armée, 2048 chevaux et mules ont été importés d'Australie, dont 1384 depuis le port de Brisbane (Bennett, 2004). Passant outre la réglementation en vigueur, une partie de ces animaux ont été débarqués sans être placés en quarantaine.

Les premières tiques furent observées à plusieurs reprises entre juillet et octobre 1942 sur des chevaux arrivant par bateau (Bennett, 2004). Le département de l'Agriculture de Nouvelle-Zélande confirma en 1943 qu'il s'agissait bien de *Boophilus microplus*, bien que les équidés ne soient pas les hôtes de prédilection de cette tique habituellement parasite des bovins (Bennett, 2004). Il n'est pas exclu que les tiques aient également pu être introduites par le foin qui était importé en quantité importante d'Australie pour nourrir le bétail et les chevaux (Martin, commun. pers.). Toujours est-il que le premier troupeau local de bovins infestés a été signalé en décembre 1943 (Verges, 1944). Le climat calédonien s'est avéré favorable à la pullulation des tiques (jusqu'à quatre générations de tiques par an) et ce parasite s'est rapidement étendu sur l'ensemble du territoire. Par chance, les tiques importées d'Australie n'étaient pas porteuses des pathogènes qu'elles transmettent habituellement (*Babesia* spp., *Anaplasma* spp.). La Nouvelle-Calédonie est ainsi aujourd'hui le seul pays au monde où cette tique est présente mais sans les parasites sanguins qu'elle véhicule, excepté un foyer résiduel de babésiose en cours d'éradication, lié à l'introduction en 2007 de bovins en provenance d'Australie, vaccinés avec un vaccin vivant atténué.

La majorité des éleveurs calédoniens sont certains que le gouvernement américain, responsable de l'introduction de *R. microplus*, a financé l'achat des acaricides destinés à lutter contre la tique au sortir de la guerre et jusque dans les années 1960. Cependant, il n'en est fait mention dans aucun des documents consultés. L'administration locale sollicita en vain l'état-major américain pour une prise en charge des dépenses liées à sa négligence, les Américains arguant que les circonstances liées à la guerre avaient justifié leurs agissements (Bennett, 2004). Dans le rapport annuel des services vétérinaires du territoire de 1953, il est ainsi indiqué que « le territoire a dépensé, depuis le début de la lutte contre les tiques [...] pour l'achat de produits tiquicides : 10 576 590 cfp » (Nouvelle-Calédonie et Dépendances, 1954), plus d'un million d'euros actuels. Encore aujourd'hui, le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie finance l'achat de ces produits.

Jusqu'à récemment, il était admis que la tique introduite en 1942 était *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Toutefois, les dernières études morphogénétiques tendent à nommer l'espèce présente en Nouvelle-Calédonie, ainsi qu'en Australie et dans certains pays du Sud-Est asiatique, *Rhipicephalus (Boophilus) australis*, la distinguant ainsi de *R. microplus* présente notamment en Amérique du Sud et en Afrique australe (Estrada Peña et al., 2012). La tique infestant le bétail de Nouvelle-Calédonie continue d'être nommée *R. microplus* dans l'article pour en faciliter la lecture car c'est la dénomination la plus employée à ce jour sur le territoire en l'absence d'un consensus sur cette nomenclature.

### *Les mesures réglementaires et leurs limites*

En 1944, les services vétérinaires espéraient aboutir à une éradication totale du parasite. Cinq arrêtés furent promulgués entre 1944 et 1945 visant à établir un cordon sanitaire par région, puis par élevage, et instituant le contrôle de tous les déplacements d'animaux, pour tenter de maîtriser la dissémination de la tique. Cependant l'existence d'un marché noir, soutenu par la forte demande en viande de la part des troupes en place, a été à l'origine de déplacements non négligeables de bovins en dehors de tout contrôle (Bennett, 2004).

L'arrêté n° 209 du 10 février 1951 organisa la lutte chimique par baignade et aspersion et signifia ainsi l'abandon de tout projet d'éradication (Brun et Troncy, 1984). C'est le début d'une lutte effrénée

contre ce parasite. Si l'espoir de son éradication était à l'origine des premières mesures, il fit ensuite place à une politique de contrôle visant à permettre le maintien pendant des décennies de l'élevage de races taurines hautement sensibles à ce parasite dans un contexte de pression parasitaire permanente.

■ DEPUIS 1942 : GESTION CHIMIQUE ET RÉSISTANCES AUX ACARICIDES

**Compétition entre développement des acaricides et apparition des résistances**

La lutte contre les tiques a débuté dès 1944 avec un programme de construction de piscines collectives. Des piscines individuelles mais également des couloirs d'aspersion ont été peu à peu installés dans chaque élevage pour le traitement du bétail. Il était recommandé de traiter les animaux en piscine tous les 14 jours pendant 10 mois consécutifs, car les larves de tiques persisteraient au maximum neuf mois dans les pâturages (Verges, 1944). Les premiers acaricides utilisés étaient des dérivés arsenicaux, en provenance d'Australie et des Etats-Unis. Un acaricide à base d'arsenic a également été produit localement et utilisé entre 1949 et 1950 (Nouvelle-Calédonie et Dépendances, 1951). Une diminution de l'efficacité des dérivés arsenicaux a été rapidement observée et ces produits acaricides ont été progressivement remplacés par un organochloré, le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), à partir de 1950.

Au 1<sup>er</sup> octobre 1950, il a été dénombré 193 piscines en service dont 156 utilisaient des solutions arsenicales et 37 des solutions à base de DDT. Le DDT, qui assurait un excellent contrôle dans la majorité des cas, a dû être retiré du marché en raison de la pollution directe de l'environnement autour des installations de balnéation, de son accumulation au niveau de la chaîne alimentaire et de l'observation de résidus dans la viande. Il a été distribué jusqu'en 1973 puis remplacé par l'éthion (Brun et Coursin, 1984).

Avec l'utilisation de l'éthion, l'efficacité des acaricides dans les élevages a commencé à être suivie et contrôlée en laboratoire. En outre, les premières études réalisées sur les tiques ont porté principalement sur l'inventaire des espèces du territoire puis de l'ensemble des îles francophones du Pacifique. Elles ont été menées par l'Office de recherche scientifique et technique d'outre-mer (Orstom) à partir de 1958 (Rageau et Vervent, 1959 ; Rageau, 1967). L'Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (IEMVT) s'installa à la fin des années 1970 sur le territoire. Cette installation marqua le début des programmes de recherche menés en santé et en productions animales, dont un volet a été dédié à l'étude de la biologie de la tique du bétail, à la surveillance des phénomènes de résistance et au développement de méthodes de lutte. A partir de cette période, le choix des acaricides à commander tous les ans sur l'ensemble du territoire a été dicté par l'évolution des résistances des tiques à ces produits. Les différentes matières actives et leurs périodes d'utilisation sont présentées dans le tableau I.

La mise en évidence des premières souches résistantes à l'éthion a été signalée en 1980, soit sept ans après le début de son utilisation sur le territoire (Daynes et al., 1980). Lors d'une enquête menée en 1983, la prévalence de cette résistance était évaluée à 8,3 % (Brun et al. 1983). Elle a été estimée aux environs de 50 % dans différentes études conduites entre 1985 et 1986 (Brun, 1986a ; 1986b ; Desquesnes, 1987). La prévalence des souches résistantes ou en cours d'acquisition de résistance est montée à 89 % en 1987 (Vignon, 1987), conduisant à un arrêt complet de l'utilisation de cet acaricide au profit d'un usage exclusif des pyréthrinoides.

La deltaméthrine a été introduite dans les élevages dès 1982, d'abord de façon très occasionnelle, puis de plus en plus fréquemment face au

développement de la résistance des tiques à l'éthion. La deltaméthrine fut ainsi continuellement et exclusivement utilisée à partir de 1987 (Brun, 1992). La première résistance à ce principe actif fut détectée dès 1991 (Brun, 1992) puis confirmée par Beugnet et Chardonnet (1995). Un organophosphoré, le chlorpyrifos-éthyl, fut réintroduit pendant deux ans dans les élevages résistants à la deltaméthrine mais rapidement remplacé par l'amitraz (Ducornez et al., 2005). Lors d'une enquête territoriale de 1998 conduite dans 10 % des élevages, 57 % des souches testées étaient résistantes à la deltaméthrine ou en cours d'acquisition de cette résistance (Bianchi et al., 2003).

L'amitraz a été utilisé en complément de la deltaméthrine à partir de 1996 dans les élevages résistants à la deltaméthrine jusqu'à sa généralisation complète en 2003. Mais les premières résistances à l'amitraz ont été observées dès 2003, soit après 86 traitements dans un des élevages concernés (Ducornez et al., 2005). Onze ans plus tard en 2014, dans une étude portant sur 90 populations de tiques, 23,3 % d'entre elles présentaient une résistance à l'amitraz avérée ou en cours de développement (Petermann et al., 2016 ; Hüe et al., 2015b).

Pour pallier le développement des résistances à la deltaméthrine et à l'amitraz, des essais d'associations de ces deux molécules ont été testés, *in vitro* et *in vivo*, pour rechercher un effet synergique. Alors que l'ajout de deltaméthrine dans une solution d'amitraz n'entraîne pas d'augmentation de la mortalité, l'ajout d'amitraz à 10 % de la dose recommandée dans une solution de deltaméthrine entraîne une augmentation significative de la mortalité des tiques (Barré et al., 2008). Cette association n'est cependant utilisée qu'en élevage laitier pour pallier l'interdiction d'utilisation de la majorité des lactones macrocycliques dans cette filière alors que les éleveurs de bovins viande peuvent en faire usage. Enfin, les produits rémanents Ivomec Gold (ivermectine, Merial) et Acatak (fluazuron, Novartis) furent autorisés sur le territoire, respectivement en 2005 et 2008, et sont aujourd'hui utilisés dans les élevages allaitants où les tiques sont résistantes à l'amitraz.

Différentes études ont été menées pendant ces décennies pour étudier un éventuel retour à la sensibilité des tiques vis-à-vis des acaricides,

**Tableau I**

Matières actives, noms commerciaux et périodes d'utilisation des acaricides utilisés en Nouvelle-Calédonie (Vignon, 1987 ; Petermann et al., 2016 ; Beugnet et al., 1994)

Matière active	Nom commercial	Période d'utilisation
Arsenic	Cooper's Dip Arsenic, Cooper Cattle Dip, etc.	1944–1950
DDT	Rucide, Dip 30, Deenate, poudre Geigy, etc.	1947–1973
Ethion ou diéthion	Rhodiocide, Cattle Dip	1973–1987
Deltaméthrine	Butox	1982–2003
Fluméthrine	Bayticol	1983–1986 1990–1992
Chlorpyrifos éthyl	Dursbel	1994–1996
Amitraz	Taktic, Paratraz, Amitik, etc.	1996–...
Lactones macrocycliques	Ivomec, Iver PO, Génésis, etc.	2003–...
Ivermectine LA	Ivomec Gold	2005–...
Fluazuron	Acatak	2008–...

après l'arrêt de leur utilisation. En 1987, 40,0 % des 58 souches testées présentaient une persistance de la résistance au DDT, 14 ans après l'arrêt de son utilisation (Vignon, 1987). En 1995, près de dix ans après l'arrêt de son utilisation, la résistance à l'éthion était toujours observée (Beugnet et Chardonnet, 1995). En 1998, Barré et al. indiquaient que 36,8 % des souches testées étaient encore résistantes à l'éthion. En 2000, sur 69 souches testées en routine au laboratoire, 20,2 % étaient toujours résistantes à cette molécule (Barré et Bianchi, 2002). Enfin en 2014, plus de 10 ans après l'arrêt de l'utilisation de la deltaméthrine, une réversion de la résistance à cette molécule a été observée mais elle reste limitée (Petermann et al., 2016 ; Hüe et al., 2015b). Ces résultats indiquent qu'il ne faut pas compter sur une possible réutilisation des acaricides pour lesquels une résistance s'est installée dans une majorité des élevages du territoire. Ce constat, associé au développement des connaissances de l'impact des acaricides sur l'environnement, à l'évolution de la demande sociétale vers des productions moins consommatrices de pesticides et à l'absence de mise sur le marché de nouveaux acaricides, doit et va motiver les éleveurs et la recherche pour développer des méthodes de lutte alternatives à l'utilisation de produits chimiques.

### Mécanismes de résistance

Les études menées par Chevillon et al. (2007) sur des souches de tiques locales ont permis d'explorer les mécanismes de résistance à la deltaméthrine et à l'amitraz. Ces mécanismes ont été évalués en comparant la mortalité des larves de tiques en présence et en l'absence de composés synergiques des enzymes impliquées dans le métabolisme de dégradation des acaricides. Les résultats obtenus indiquent que deux mécanismes physiologiques interviennent dans la résistance à la deltaméthrine : un changement de la structure des cibles de la deltaméthrine, d'origine génétique, dans certains cas et l'implication de la glutathion-S-transférase (GST) pour d'autres souches. La caractérisation de la résistance à l'amitraz semble plus complexe et n'a pas pu être définie dans cette étude. Cette résistance semble néanmoins impliquer les cytochromes P450 oxydases, d'une part, et une modification de la structure des cibles de l'amitraz, d'autre part.

Les mécanismes de résistance observés ont différé d'un élevage à l'autre indiquant un développement de résistance propre à chaque élevage. Ce phénomène a été confirmé par Koffi qui, après avoir caractérisé les locus permettant l'étude de la diversité génétique des populations de *R. microplus* en Nouvelle-Calédonie, a indiqué que les mouvements d'animaux ne jouaient pas un rôle important dans la dispersion des tiques résistantes d'un élevage à un autre (Koffi et al., 2006a ; 2006b).

### ■ CHANGEMENT DE PARADIGME

La recherche concernant la lutte contre la tique a pris un tournant en 1996 suite à l'audit de la situation par les Drs Thullner (World Acaricide Resistance Reference Center) et Barré (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement). La politique du traitement mensuel systématique en usage jusque-là, qu'il y ait eu des tiques ou non, a été remplacée par la notion de bains à vue. Il était ainsi demandé aux éleveurs de ne traiter que quand ils observaient des tiques. Il était également précisé que l'objectif n'était pas l'éradication mais le maintien des populations de tiques à un niveau compatible avec l'élevage. Le but était aussi de développer des méthodes de lutte alternatives pour sortir d'une lutte principalement chimique. Un programme ambitieux a été proposé associant notamment des enquêtes de terrain, l'essai du vaccin antitique australien Tickgard, l'étude du rôle des cervidés pour savoir s'ils maintenaient des populations de tiques au sein des élevages ou s'ils pouvaient permettre de les contrôler, la recherche de lignées de bovins résistants à

la tique et l'évaluation de races résistantes (Thullner et Barré, 1996). Enfin, c'est également au cours de cette mission qu'a été proposée la mise en place d'un Comité de lutte contre la tique. Cet organe rassemble les professionnels, l'administration, les services techniques et la recherche pour discuter des questions relatives à la tique, afin d'aboutir à des positions et des messages partagés par tous. Ce comité a été créé en 1997. Il a été remplacé en 2010 par une structure dédiée à la lutte contre ce parasite, le Groupement de défense sanitaire animal (GDS-A), piloté par les éleveurs via la chambre d'agriculture et financé initialement par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. Les missions initiales du GDS-A ont été la mise en place d'une identification individuelle des animaux et le développement d'une lutte intégrée contre la tique dans les élevages. Les élevages faisant face à d'importants problèmes de tiques pouvaient solliciter le GDS-A pour un suivi personnalisé de leur exploitation.

### ■ GESTION NON CHIMIQUE DE LA TIQUE

En raison de la proximité géographique de l'Australie et des conditions climatiques similaires avec les zones côtières du Queensland, les recherches menées sur le territoire se sont régulièrement appuyées sur les études australiennes ou ont été réalisées en partenariat avec les équipes du centre de recherche australien (CSIRO). L'Australie a en effet mis en place, dès les années 1950, des programmes de recherche sur la biologie, l'écologie et les différentes méthodes de lutte contre la tique du bétail, faisant référence au niveau mondial jusqu'à ce jour.

### Etudes de biologie et d'écologie

Les premières études sur la biologie de la tique *R. microplus* en Nouvelle-Calédonie ont été initiées par Daynes en 1978. Lors d'un suivi de bovins Santa Gertrudis non détiqués, il réalise un comptage tous les 15 jours et observe une infestation régulière tout au long de l'année avec un pic d'infestation en début de saison chaude mais avant les premières pluies (Daynes et Gutierrez, 1980). Il souligne également la grande diversité des conditions climatiques sur le territoire qui pourrait influencer cette dynamique d'infestation.

Desquesnes et Vignon (1987b) étudient les durées des différentes phases de développement des tiques dans l'environnement avec pour objectif de connaître notamment le temps nécessaire de mise en défens des parcelles pour obtenir une mortalité naturelle des larves et proposer des plans de rotation des pâturages. Selon la saison, la période nécessaire de mise en défens dure de trois à cinq mois. Ils conviennent que cette mise au repos des parcelles entraîne de grosses pertes agronomiques et préconisent d'associer une valorisation des fourrages non consommés et une utilisation raisonnée des acaricides en complément.

Bianchi et al. (2003) analysent les pratiques et les facteurs favorisant le développement de la résistance aux acaricides sur le territoire. Ils concluent que l'augmentation de la manipulation des animaux et la professionnalisation des éleveurs semblent favoriser le développement de la résistance à la deltaméthrine. Les détails techniques des traitements acaricides jouent un rôle moins important même si l'usage des couloirs d'aspersion génère plus de résistance que les piscines. Enfin une fréquence des bains plus rapprochée est corrélée au développement des résistances.

Bianchi et Barré (2003) étudient également les facteurs à l'origine du détachement des tiques gorgées le matin. Ils indiquent que la quantité de tiques présentes sur les animaux ayant passé la nuit en stabulation ou au pâturage est la même au lever du soleil. En revanche, le détachement des tiques a lieu plus tôt sur les sites anatomiques exposés au soleil et est plus rapide sur les animaux au pâturage ou devant se déplacer. Cette observation a été notamment utilisée par Hüe et

Fontfreyde (2019) pour limiter la dispersion des tiques au sein d'une exploitation dans le cadre de la lutte agronomique.

### Rôle de la faune sauvage : cerfs et tiques

Une douzaine de cerfs *Cervus timorensis rusa* ont été introduits sur le territoire depuis Java en 1870 (Barrau et Devambe, 1957). Ils se sont très vite adaptés aux conditions calédoniennes et la population de cervidés atteint aujourd'hui un effectif considérable. Différentes études ont été menées pour savoir si les cervidés pouvaient maintenir et disséminer la tique dans les élevages bovins. En effet, 73 % des 148 éleveurs interrogés lors d'une enquête menée au début des années 2000 ont observé régulièrement des cerfs dans les pâturages destinés aux bovins (Barré et al., 2001).

Dans une première étude, Barré et al. (2001) concluent que les cerfs peuvent maintenir des populations de tiques dans un pâturage. Les tiques se fixent sur les cerfs et peuvent y accomplir la phase parasitaire de leur cycle avec des performances de reproduction similaires voire supérieures aux tiques nourries sur des bovins. Cependant, en fonction de la pression parasitaire dans l'environnement, les cerfs portent 2,7 à 33 fois moins de tiques que les bœufs de race Charolaise élevés dans les mêmes conditions.

Dans une seconde étude conduite pendant 15 mois, Barré et al. (2002) enquêtent sur le rôle des cervidés dans l'évolution des populations de tiques dans les élevages : permettent-ils le maintien d'une population parasitaire pouvant ensuite infester les bovins ou assurent-ils une diminution de cette population parasitaire ? L'étude révèle que les cerfs jouent un rôle intéressant en matière de lutte puisque les bovins élevés conjointement avec eux (avec un ratio de poids vif de 3,5 bovins par cerf) n'ont pas eu besoin d'être traités contre les tiques et ont eu une croissance satisfaisante. *A contrario*, les bovins élevés seuls dans les mêmes conditions parasitaires n'ont pas pris de poids sur la période. Ces derniers avaient 3,5 fois plus de tiques et ont nécessité cinq traitements acaricides.

Toutefois, De Meeûs et al. (2010) montrent que, depuis son introduction sur le territoire, la tique a évolué sur le bétail et sur les cerfs en deux populations génétiquement différentes, et ce en moins de 60 ans. Ce résultat soulève la question du passage des tiques entre les bovins et les cervidés. En effet, pour qu'une sous-population se développe et soit génétiquement différenciée, il ne faut pas qu'il y ait de brassage génétique régulier avec les populations de tiques se développant sur les autres hôtes. Cette dernière étude permet de réinterpréter les observations de Barré et al. (2001). Il peut être envisagé que les tiques observées sur les cerfs par ces auteurs étaient issues de cette sous-population différenciée. Les cervidés ne constitueraient alors pas un hôte de prédilection pour la population « originelle » de la tique du bétail. Ne permettant pas à la tique du bétail de faire son cycle, les cervidés limiteraient l'infestation des bovins comme observé dans la seconde étude (Barré et al. 2002). Ceci inciterait à conclure que les cerfs n'assurent ni l'entretien ni la dissémination de la tique du bétail dans des proportions importantes au sein et entre les élevages, mais des études complémentaires sont encore nécessaires pour apporter une confirmation.

### Utilisation de races résistantes à la tique

L'idée d'élever des races résistantes à la tique pour lutter contre *R. microplus* apparaît assez rapidement après l'introduction de la tique sur le territoire. En effet, les premiers bovins Santa Gertrudis sont importés d'Australie en 1957 puis en 1961 (Anonyme, 1984). Cette race, développée aux Etats-Unis au début du XX<sup>e</sup> siècle est composée de trois huitièmes de sang Brahman et cinq huitièmes de sang Shorthorn. Elle connaît un succès considérable aux Etats-Unis et en

Australie où elle fut introduite en 1952, mais en Nouvelle-Calédonie sa diffusion est restée marginale (Bianchi, 2000).

Après la parution de différentes études australiennes sur ce sujet dans les années 1970, l'introduction de races résistantes pour lutter contre la tique est à nouveau évoquée au début des années 1980. Cependant en 1984, sur 76 élevages enquêtés, 68 % élèvent des races « pures » Limousines ou Charolaises contre 9 % pour le Santa, seule race « résistante » mentionnée (Dubois, 1984). Les premiers Brahman ont été importés en Nouvelle-Calédonie en 1985 depuis le Queensland. La même année, des inséminations avec de la semence Brahman ont été réalisées sur des femelles Limousines et Charolaises (Anonyme, 1986).

A cette époque, les bases de la lutte génétique sont présentées, indiquant qu'il faut atteindre trois huitièmes de sang Brahman, race considérée comme résistante à la tique de référence, pour garantir une bonne résistance, sans dépasser trois quarts pour éviter les problèmes de fertilité observés chez les bovins *Bos indicus*. Sont également soulignés l'importance de maintenir une pression de sélection au sein des troupeaux, afin d'éliminer les individus les plus régulièrement infestés, et l'intérêt des comptages de tiques pour identifier les animaux les plus résistants. Il est ainsi indiqué que 10 à 20 % des génisses issues de croisement entre le Brahman et la Limousine ou la Charolaise présentent une faible résistance et doivent être réformées (Desvals, 1985).

Cependant, jusqu'au début des années 2000, le recours à la race Brahman n'a rencontré qu'un succès très limité. Thullner et Barré (1996) soulignent que « tant que les acaricides sont efficaces, l'extrême prestige des races européennes parmi les éleveurs calédoniens rend le recours à des croisés zébus impossible ». Ainsi en 1998, le cheptel calédonien ne comptait que 2 % de croisés Brahman.

En 2000, Bianchi et Le Gall soulignent séparément l'intérêt d'utiliser le Brahman en croisement pour profiter de l'effet hétérosis et apporter de la rusticité et de la résistance aux parasitoses digestives et cutanées. De plus, face au développement inéluctable de la résistance des tiques aux acaricides, Barré et Bianchi (2002) concluent que « le recours aux races résistantes reste l'option la plus prometteuse ».

Une impulsion décisive est donnée en 2007 à cette option par la mise en place d'aides dédiées spécifiquement à l'achat de reproducteurs de races résistantes à la tique, dans un premier temps le Brahman, dans un contexte de développement de la résistance des tiques à l'amitraz. Différentes races résistantes à la tique ont été importées par la suite en provenance d'Australie comme le Sénépol (2007), le Droughtmaster (2010) et le Belmont Red (2013). La résistance du Sénépol n'a jamais été évaluée, mais Hüe et al. (2014) rapportent que des animaux croisés Sénépol-Limousin sont cinq fois moins infestés que les animaux de race pure Limousine.

### Recherche de lignées résistantes

L'identification de lignées résistantes à la tique dans les populations de Limousin et de Charolais est également proposée par Thullner et Barré (1996). Dès 1998, des comptages de tiques ont été initiés dans 18 élevages. Ces travaux se sont poursuivis pendant deux ans mais les résultats n'ont pas été à la hauteur des attentes et, à une période où l'amitraz est encore efficace, il n'a pas été jugé intéressant de poursuivre dans cette voie.

### Vaccin

Dès 1987, Desquesnes et Vignon ont initié un essai de vaccination de quelques animaux avec un vaccin expérimental réalisé à partir du tractus digestif de tiques semi-gorgées. Cependant, un vaccin étant en cours de développement en Australie à la même période, reposant

également sur des antigènes de l'épithélium intestinal des tiques (Willadsen et al., 1988 ; Willadsen et al., 1989), il n'y a pas eu de suite locale à ces premiers essais (Desquesnes et Vignon, 1987a).

Suite aux recommandations de Thullner et Barré (1996), le vaccin australien (TickGard Plus) a été testé sur le territoire entre mars 1999 et janvier 2000. Le protocole prévoit la vaccination des animaux de cinq élevages, tous les trois mois, et l'injection de placebo dans six élevages témoins avec des comptages de tiques réguliers. Suite à une certaine lassitude des éleveurs devant la lourdeur du protocole et dans un contexte où l'amitrazé était encore très efficace, les résultats obtenus n'ont pas été jugés suffisants pour préconiser l'usage de ce vaccin sur le territoire (Barré et al., 2000).

Le projet d'utilisation d'un vaccin contre les tiques a été relancé en 2010. A cette période, la résistance des tiques à l'amitrazé s'est développée et un grand nombre d'éleveurs ont introduit des animaux de race résistante à la tique dans leur troupeau. La question s'est alors posée de maintenir des élevages de races sensibles à la tique pour leur qualité bouchère afin de fournir des reproducteurs permettant de réaliser des croisements avec les races résistantes. Dans ce contexte, le vaccin a paru être un outil intéressant à développer dans le cadre d'une lutte intégrée. Un vaccin cubain, le Gavac, est actuellement commercialisé mais il n'est pas utilisable en Nouvelle-Calédonie pour des raisons sanitaires.

Le vaccin australien n'étant plus commercialisé, la décision a été prise de développer un vaccin propre à la Nouvelle-Calédonie, reposant sur le même principe que les deux vaccins antérieurs, mais développé à partir de souches de tiques locales. Peter Willadsen, à l'origine du vaccin australien, a été alors sollicité pour son expertise technique. Le séquençage de la protéine Bm86 de tiques collectées dans cinq élevages calédoniens a été effectué et la séquence la plus représentative a été utilisée pour la synthèse de la protéine vaccinale qui a été réalisée dans un laboratoire australien. Deux séries d'essais en conditions contrôlées ont été menées entre 2013 et 2015, et les résultats ont révélé une efficacité vaccinale de 77 % (Hüe et al., 2017). En parallèle, différents adjuvants ont été testés pour obtenir la meilleure réponse immunitaire (Petermann et al., 2017). Ces résultats encourageants ont amené à la mise en place d'un essai en conditions d'élevage à partir de la mi-2017. Le protocole de cet essai a été discuté avec les éleveurs et, pour ne pas être confronté à une démobilisation de ces derniers en cours d'essai, le protocole n'a pas prévu de lot témoin. La vaccination a été mise en place dans neuf élevages sélectionnés, pour un effectif total de 1400 bovins. Une période d'observation des élevages d'une année a précédé la mise en œuvre de la vaccination pendant deux années.

D'autres mesures de lutte contre les tiques, comme le suivi agronomique ou l'optimisation des dates de traitements, ont également été mises en œuvre, de sorte que les résultats obtenus à l'issue de cet essai permettront d'évaluer l'efficacité de la lutte intégrée dans son ensemble, sans pouvoir isoler l'effet du vaccin. L'objectif de cet essai, qui s'achèvera à la mi-2020, est bien de proposer une association de méthodes de lutte permettant de maintenir l'élevage d'animaux sensibles à la tique sur le territoire.

### Substances naturelles

La remarquable biodiversité, autant terrestre que marine, de la Nouvelle-Calédonie a incité à la mise en place d'études exploratoires pour évaluer la possibilité d'utiliser des plantes ou des extraits marins contre les tiques. En 1985, l'Orstom de Nouméa, en partenariat avec le CNRS, a lancé un programme sur les Substances marines d'intérêt biologique (SMIB), dont un des volets est la recherche de molécules actives sur la tique du bétail. Une première étude portant sur 165 extraits obtenus à partir de 57 organismes marins a été réalisée. Des

extraits de 12 invertébrés ont provoqué une mortalité sur les larves de tiques de 19 % à 100 %. Deux molécules ont été identifiées comme présentant les plus fortes activités provenant d'une gorgone et d'une éponge (Brun et al., 1985).

L'utilisation des plantes pour lutter contre les tiques est étudiée sous deux angles : la recherche de plantes ou d'extraits contenant des molécules acaricides, d'une part, et l'identification de plantes ayant des glandes sécrétrices de substances visqueuses capables d'engluer les larves de tiques qui s'agrégeraient sur elles, d'autre part (les larves de *R. microplus* se tiennent en amas dans la végétation, à l'affût de leurs hôtes). Parmi les plantes pouvant engluer les larves de tiques, *Melinis minutiflora* avait été identifiée comme plante piège pour sa présence et son intérêt dès 1942, mais son intérêt est limité car elle est peu consommée par le bétail. En revanche, parmi les plantes appréciées présentes dans les pâturages calédoniens, les légumineuses du genre *Stylosanthes* (Séca stylo, Cook stylo...) sont connues pour immobiliser et tuer les larves de tiques (Sutherst et al., 1982). Plusieurs éleveurs du territoire ont implanté ces légumineuses en association avec des graminées dans les pâturages et semblent obtenir un contrôle satisfaisant des tiques (Barré et Delathière, 2010).

Les premières recherches de plantes ayant une activité acaricide ont été menées par Desquesnes (1988), puis au début des années 2000 par Barré en partenariat avec le CNRS (Henriet, 2000). Les études se sont intensifiées au cours de ces dernières années grâce à des partenariats avec l'Université de Nouvelle-Calédonie, l'Institut de recherche pour le développement et d'autres universités françaises ou étrangères (Lebouvier et al., 2013 ; 2016 ; Repiquet, 2014 ; Hüe et al., 2015a ; Dorla et al., 2019).

Les recherches ont permis d'isoler des familles voire des composés actifs contre les tiques. Cependant la difficulté réside dans la suite à donner à ces travaux. Avant d'aboutir à une éventuelle mise sur le marché d'un nouvel acaricide, de nombreux tests, notamment de toxicité, sont à réaliser, et il convient pour cela de développer des partenariats avec les industries pharmaceutiques pour continuer le développement des recherches. A ce titre, un dépôt de brevet est en cours sur les molécules isolées lors des derniers travaux. Néanmoins, la mise en évidence de molécules acaricides au sein des substances naturelles amènera à la production de synthèse de ces molécules – sauf possibilité d'une extraction à partir des plantes – pour aboutir au final à un acaricide chimique avec le risque de développement de résistance associé. L'intérêt de ces extraits est donc d'identifier des associations de molécules agissant en synergie pour limiter le risque de développement de résistance à une molécule.

### Lutte agronomique

La lutte contre la tique s'est récemment concentrée sur la gestion des pâturages pour limiter l'infestation des animaux. Les connaissances en biologie acquises ces dernières décennies à travers les publications internationales et l'expérience développée dans le contexte local mettent en avant le rôle central des pâturages dans la lutte contre la tique.

Alors que les approches actuelles conseillent une mise en défens de plusieurs mois pour assurer une mortalité naturelle des tiques, au détriment de la qualité fourragère, une méthode récemment développée à l'Institut agronomique néo-calédonien permet de concilier gestion de la tique et optimal fourrager (Hüe et Fontfreyde, 2019). Cette stratégie nécessite l'implication de l'éleveur dans la collecte des données et, en identifiant et corrigeant les pratiques à l'origine du développement des populations de tiques, permet l'utilisation des parcelles au bon stade fourrager en réduisant l'usage des acaricides. Les premiers résultats obtenus ont permis une baisse de 71 % à 83 % du nombre de traitements acaricides dans des élevages calédoniens semi-extensifs

de bovins Charolais et cette approche nécessite à présent d'être testée dans différentes conditions d'élevage (intensif, laitier, extensif, autre).

■ VERS UNE VRAIE LUTTE INTÉGRÉE ?

L'idée d'avoir recours à un programme complet de lutte intégrée n'est pas nouvelle. Cochereau (1971) suggérait déjà d'associer l'élevage de races résistantes, la sélection intrarace, l'utilisation de prédateurs (fourmis et hyménoptères) et la rotation de parcelles. Cette approche fut reprise par Uilenberg (1987) qui rajouta à ces méthodes l'usage d'un vaccin et l'utilisation de plantes acaricides. Enfin, Beugnet et al. (1998) utilisèrent les données collectées pendant deux ans dans les élevages calédoniens pour élaborer un modèle mathématique permettant d'évaluer l'impact de différentes méthodes de lutte. Le modèle développé soulignait l'intérêt d'une lutte intégrée associant la lutte chimique aux mesures agronomiques pour réduire le taux de rencontres larve et animal, ainsi que la lutte génétique et l'usage d'un vaccin pour réduire le taux de développement de la phase parasitaire. Ces différentes possibilités (entre autres évaluation d'un vaccin, intérêt des races et lignées résistantes, gestion des parcelles) furent à nouveau d'actualité suite à la mission de Thullner et Barré (Barré et Bianchi, 2002 ; Barré et Delathière, 2010), mais il fallut attendre le développement de la résistance à l'amitrazole pour que d'autres méthodes que la lutte chimique soient pleinement adoptées par les éleveurs.

Le tableau II synthétise les différentes méthodes de lutte qu'il est possible d'utiliser à ce jour dans les élevages du territoire ou en cours de développement.

■ INTRODUCTION DE LA BABÉSIOSE

Malgré la présence d'une quarantaine animale, la Nouvelle-Calédonie a dû faire face, à deux reprises, à des épizooties de babésiose. Une première introduction de *Babesia* sur le territoire fut enregistrée en 1989 suite à une importation de bovins depuis l'Australie. Contrairement à ce qui avait été initialement convenu par l'importateur, ces animaux provenaient d'une zone du Queensland touchée par la babésiose et avaient été vaccinés avec un vaccin vivant atténué. Neuf exploitations furent concernées par cette importation mais 28 autres élevages environnants furent placés sous surveillance. Des mesures quaranténaires associées à des traitements piroplasmicides et acaricides ainsi que l'abattage des animaux restant séropositifs permirent d'assainir ces foyers. L'ensemble des mesures ont pu être levées en 1993 et la Nouvelle-Calédonie fut déclarée à nouveau indemne en 1994 (Marchal, 2011).

Une seconde introduction de ce parasite eut lieu lors de l'importation de 43 bovins, en novembre 2007, également en provenance d'Australie. Comme en 1989, ce sont des animaux vaccinés avec un vaccin vivant atténué qui furent à l'origine de cette nouvelle épizootie. Vingt-deux élevages furent alors considérés comme à risque. Des traitements piroplasmicides et acaricides ainsi que des mesures quaranténaires et le contrôle des déplacements furent à nouveau mis en œuvre. En 2009, 21 des 22 élevages furent considérés comme assainis (Barré et al., 2011). Un dernier foyer persiste encore en 2019. Il est lié à la contamination, par un des élevages concernés, d'une propriété voisine hébergeant du bétail ensauvagé suite à l'arrêt de l'activité d'élevage depuis longtemps. Dès 2009, il fut décidé d'abattre ce bétail mais la surface de l'exploitation concernée (plus de 1000 hectares), le relief et

Tableau II

Synthèse des différentes méthodes de lutte contre la tique du bétail disponibles en Nouvelle-Calédonie

Méthode de lutte		Avantages	Inconvénients	Gestion de la tique
Lutte chimique	Acaricides	Facile d'usage Gratuit pour les éleveurs	Développement de résistances Toxicité Solution à court terme	Bonne tant que les produits sont efficaces
	Substances naturelles	Intéressant si association de molécules synergiques	Longue phase de développement Risque de développement de résistances Solution à court terme	Bonne tant que les produits sont efficaces
Lutte génétique	Utilisation de races résistantes à la tique	Solution durable	Fertilité et conformation parfois déficientes selon les races	Permet de réduire voire de ne plus utiliser de produits acaricides selon les races utilisées
	Sélection de lignées résistantes parmi les races sensibles à la tique	Solution durable	Sélection longue à mettre en place	Permet une réduction des traitements acaricides mais nécessite d'être utilisée en complément d'autres moyens de lutte
Lutte immunologique	Utilisation d'un vaccin antitique	Solution durable Pas de temps d'attente avant abattage	Coût (production expérimentale et à petite échelle à ce jour) Nécessité d'un rappel semestriel	Permet une réduction par 2 à 3 du nombre de traitements acaricides mais nécessite d'être utilisée en complément d'autres moyens de lutte
Lutte agronomique	Gestion des pâturages	Solution durable	Nécessite une implication forte de l'éleveur Peut nécessiter des investissements	Permet une réduction des traitements acaricides mais nécessite d'être utilisée en complément d'autres moyens de lutte

la forte végétation n'ont pas permis à ce jour d'éliminer les derniers animaux présents. Par ailleurs, une seconde propriété voisine, hébergeant elle aussi du bétail sauvage, a également été contaminée. Des mesures d'abattage sont en cours pour aboutir à l'éradication de cette pathologie dans ces deux élevages mais, à l'heure actuelle, ce dernier foyer empêche la Nouvelle-Calédonie de recouvrer son statut de territoire indemne de babésiose.

## ■ CONCLUSION

Cette description historique de la lutte contre la tique en Nouvelle-Calédonie reprend un scénario bien connu à travers le monde : l'utilisation initiale des acaricides chimiques rendue en quelques décennies illusoire par le développement de populations de tiques résistantes. La situation de la Nouvelle-Calédonie est cependant originale sur différents points : l'absence d'hémoparasitose qui focalise le problème de la tique sur les pertes directes qu'elle occasionne lors de fortes pullulations, un encadrement technique dense, la présence d'un programme de recherche sur ce parasite et la volonté de maintenir des animaux de races sensibles à la tique dans un contexte tropical.

La difficulté à mettre en place des méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique – alors que la nécessité de développer une lutte intégrée est mise en exergue depuis les années 1980 – révèle l'inadéquation entre l'identification des besoins par les services techniques et la recherche pour anticiper les problèmes – notamment de résistance – et la demande réelle des éleveurs. Cela souligne également la difficulté voire l'impossibilité de mettre en place des mesures alternatives tant que la lutte chimique est efficace, d'autant plus que les produits sont distribués gratuitement.

Il est donc avant tout capital d'identifier la demande des éleveurs. Dans cette étude, il ressort de cela que depuis l'introduction de la tique, la demande était de maintenir les races historiques du territoire (Limousine et Charolaise) et d'avoir une méthode de lutte efficace et facile à utiliser : les acaricides chimiques. Les différentes recommandations et essais menés pendant cette période (introduction de races résistantes, vaccin, recherche de lignées résistantes, etc.) n'ont pas été retenus car trop contraignants ou non en phase avec les attentes des éleveurs. Avec le développement des résistances aux acaricides, la demande initiale ne pouvant plus être satisfaite, elle a évolué selon deux options : pour une partie des éleveurs, il s'agit de pérenniser leurs élevages en limitant les contraintes, quitte à se détacher des races européennes ; pour les autres, la volonté de maintenir l'élevage des races européennes sensibles perdure et la demande s'oriente vers le développement de méthodes de lutte, même plus contraignantes, le permettant. Les outils développés en Nouvelle-Calédonie, notamment avec l'approche agronomique, permettent aujourd'hui d'envisager le maintien de ces races européennes sensibles à la tique, mais cette option nécessite un investissement humain, technique et parfois financier pour la mise en place d'une réelle lutte intégrée.

C'est une des difficultés de la recherche et des services d'appui techniques : identifier correctement les besoins pour apporter des réponses à un problème inévitable (par exemple gérer le développement de résistances), tout en essayant d'être en phase avec les demandes des éleveurs. L'implication des éleveurs dans la définition des programmes de recherche prend alors tout son intérêt pour orienter les sujets de recherche selon les demandes actuelles, et surtout pour assurer l'appropriation et la diffusion des résultats obtenus.

## Remerciements

L'auteur tient à remercier C. Desoutter, R. Martin, L. Vignon et P.-M. Troncy pour leur relecture et les échanges ayant permis d'améliorer ce document. Un grand merci également à J. Chodéy, des

archives de la Davar, et tout particulièrement à C. Favre, des archives de la ville de Nouméa, pour avoir donné accès à différentes archives et pour le temps passé à rechercher de nombreux documents indispensables à la rédaction de cet article.

## REFERENCES

- Anonyme, 1984. Bull. Upra, **4** : 15-19
- Anonyme, 1986. Naissance du premier croisé Brahman sur le Territoire. Bull. Upra, **9** : 37
- Barrau J., Devambe L., 1957. Quelques résultats inattendus de l'acclimatation en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Ecol. Terre Vie*, **4** : 324-335
- Barré N., Bianchi M., 2002. Bilan de 5 années d'enquêtes et expérimentations sur les tiques en Nouvelle-Calédonie. Rapp. Programme Elevage n° 1/02. Institut agronomique néo-calédonien, Païta, Nouvelle-Calédonie, 24 p.
- Barré N., Bianchi M., Chardonnet L., 2001. Role of Rusa deer *Cervus timorensis rusa* in the cycle of the cattle tick *Boophilus microplus* in New Caledonia. *Exp. Appl. Acarol.*, **25** (1): 79-96, doi : 10.1023/A:1010663814701
- Barré N., Bianchi M., Costa R., 2000. Résultats d'un essai du vaccin anti-*Boophilus* Tickgard plus (Hoechst-Roussel) en Nouvelle-Calédonie. Rapp. Programme Elevage n° 2/00. Institut agronomique néo-calédonien, Païta, Nouvelle-Calédonie, 7 p.
- Barré N., Bianchi M., Costa R., Modesto J., 1998. La lutte contre les tiques du bétail en Nouvelle-Calédonie. Rapp. Programme Elevage n° 3/99. Cirad-DER, Païta, Nouvelle-Calédonie, 97 p.
- Barré N., Bianchi M., de Garine-Wichatitsky M., 2002. Effect of the association of cattle and rusa deer (*Cervus timorensis rusa*) on populations of cattle ticks (*Boophilus microplus*). *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **969**: 280-289, doi: 10.1111/j.1749-6632.2002.tb04393.x
- Barré N., Delathière J.M., 2010. Stratégies de lutte contre la tique du bétail en Nouvelle-Calédonie. Synthèse des connaissances. IAC, Païta, Nouvelle-Calédonie, 108 p.
- Barré N., Happold J., Delathière J.M., Desoutter D., Salery M., de Vos A., Marchal C., et al., 2011. A campaign to eradicate bovine babesiosis from New Caledonia. *Ticks Tick-Borne Dis.*, **2** (1): 55-61, doi: 10.1016/j.ttbdis.2010.11.001
- Barré N., Li A.Y., Miller R.J., Gaïa H., Delathière J.M., Davey R.B., George J.E., 2008. *In vitro* and *in vivo* evaluation of deltamethrin and amitraz mixtures for the control of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) in New Caledonia. *Vet. Parasitol.*, **155** (1-2): 110-119, doi: 10.1016/j.vetpar.2008.04.016
- Barré N., Uilenberg G., 2010. Propagation de parasites transportés avec leurs hôtes : cas exemplaires de deux espèces de tiques du bétail. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **29** (1) : 135-147, doi: 10.20506/rst.29.1.1969
- Bennett J.A., 2004. Pests and disease in the Pacific War: crossing the line. In: Natural enemy, natural ally: toward an environment history of warfare (Eds. Tucker R.P., Russel E.). Oregon State University Press, Corvallis, OR USA, 217-251
- Beugnet F., Chalvet-Monfray K., Sabatier P., 1998. Use of a mathematical model to study the control measures of the cattle tick *Boophilus microplus* in New Caledonia. *Vet. Parasitol.*, **77** (4): 277-288, doi: 10.1016/S0304-4017(98)00116-2
- Beugnet F., Chardonnet L., 1995. Tick resistance to pyrethroids in New Caledonia. *Vet. Parasitol.*, **56** (4): 325-338, doi: 10.1016/0304-4017(94)00686-7
- Beugnet F., Costa R., Chardonnet L., 1994. Adaptations des méthodes de lutte contre les tiques à l'extension du phénomène de chimiorésistance : exemple de *Boophilus microplus* en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Med. Vet.*, **145** (12) : 931-940
- Bianchi M., 2000. Les races de zébu et la Nouvelle-Calédonie. Rapp. Programme Elevage n° 3/00. Institut agronomique néo-calédonien, Païta, Nouvelle-Calédonie, 41 p.
- Bianchi M.W., Barré N., 2003. Factors affecting the detachment rhythm of engorged female of *Boophilus microplus* female ticks (Acari: Ixodidae) from Charolais steers in New Caledonia. *Vet. Parasitol.*, **112** (4): 325-336, doi: 10.1016/S0304-4017(02)00271-6
- Bianchi M.W., Barré N., Messad S., 2003. Factors related to cattle infestation level and resistance to acaricides in *Boophilus microplus* tick populations in New Caledonia. *Vet. Parasitol.*, **112** (1-2): 75-89, doi: 10.1016/S0304-4017(02)00415-6



- Brun L.O., 1986a. Etude de l'évolution des chimiorésistances aux acaricides de la tique du bétail *Boophilus microplus*, année II : Cartographie de la résistance à l'Ethion. Orstom, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 28 p.
- Brun L.O., 1986b. Extension de la résistance à l'Ethion chez *Boophilus microplus* (Can.) (Acari, Ixodidae) sur la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie de 1980 à 1985. In : 4<sup>e</sup> Congr. Protection de la santé humaine et des cultures en milieu tropical, Marseille, France, 2-4 juil. 1986
- Brun L.O., 1992. Resistance to deltamethrin in *Boophilus microplus* (Canestrini) (Acarina: Ixodidae) in New Caledonia. *J. Aust. Ent. Sci.*, **31**: 301-302. doi: 10.1111/j.1440-6055.1992.tb00510.x
- Brun L.O., Coursin M.T., 1984. Observations sur le dosage en Ethion et en matières organiques de 18 piscines et douches de traitements contre la tique du bétail en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Elev. Méd. Vét. Nouv.-Calédonie*, **2** : 21-27
- Brun L.O., Debitus C., Marcillaud C., Duhet D., Laurent D., 1985. Etude de l'activité acaricide des extraits d'organismes marins de Nouvelle-Calédonie sur *Boophilus microplus*. Orstom, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 27 p.
- Brun L.O., Troncy P.M., 1984. La tique du bétail. 1942, débarquement de la tique du bétail en Nouvelle-Calédonie. Où en sommes-nous après plus de 40 ans de coexistence ? *Bull. Upra*, **4** : 36-39
- Brun L.O., Wilson J.T., Daynes P., 1983. Ethion resistance in the cattle tick (*Boophilus microplus*) in New Caledonia. *Trop. Pest Manag.*, **29** (1): 16-22, doi : 10.1080/09670878309370763
- Chevillon C., Ducornez S., de Meeûs T., Koffi B.B., Gaïa H., Delathière J.M., Barré N., 2007. Accumulation of acaricide resistance mechanisms in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) populations from New Caledonia Island. *Vet. Parasitol.*, **147** (3-4): 276-288, doi: 10.1016/j.vetpar.2007.05.003
- Cochereau P., 1971. Les problèmes entomologiques liés à l'élevage des bovins en Nouvelle-Calédonie et aux Nouvelles-Hébrides. Orstom, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 10 p.
- DAVAR, 2015. Recensement général agricole 2012. ISEE / Direction des affaires vétérinaires, alimentaires et rurales, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 185 p.
- Daynes P., Brun L.O., Wilson J.L., 1980. Preliminary note on the appearance of Ethion-resistant strains of *Boophilus microplus* in New Caledonia. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **33** (4): 399, doi: 10.19182/remvt.8203
- Daynes P., Gutierrez J., 1980. Seasonal variations in the parasitic activity of the cattle tick *Boophilus microplus* (Acari, Ixodidae), in New Caledonia. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **33** (3): 305-310, doi: 10.19182/remvt.8216
- De Meeûs T., Koffi B.B., Barré N., de Garine-Wichatitsky M., Chevillon C., 2010. Swift sympatric adaptation of a species of cattle tick to a new deer host in New Caledonia. *Infect. Genet. Evol.*, **10** (7): 976-983, doi: 10.1016/j.meegid.2010.06.005
- Desquesnes M., 1987. Une étude de la résistance à l'éthion de la tique *Boophilus microplus* sur la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie. *Rev. Elev. Méd. Vét. Nouv.-Calédonie*, **9** : 19-21
- Desquesnes M., 1988. *Boophilus microplus*, biologie et mode de lutte. Application à la Nouvelle-Calédonie. Thèse Doct. Vét., Faculté de médecine de Créteil, France, 214 p.
- Desquesnes M., Vignon L., 1987a. Essai d'un vaccin contre la tique du bétail *Boophilus microplus*. *Bull. Upra*, **12** : 23-28
- Desquesnes M., Vignon L., 1987b. Une étude préliminaire pour associer la rotation des pâturages à la lutte contre *Boophilus microplus* en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Elev. Méd. Vét. Nouv.-Calédonie*, **10** : 13-19
- Desvals M., 1985. L'introduction de sang Zébu Brahman dans un troupeau de race européenne. *Bull. Upra*, **5** : 8-11
- Dorla E., Grondin I., Hüe T., Clerc P., Dumas S., Gauvin-Bialecki A., Laurent P., 2019. Traditional uses, antimicrobial and acaricidal activities of 20 plants selected among Reunion Island's flora. *S. Afr. J. Bot.*, **122**: 447-456, doi: 10.1016/j.sajb.2018.04.014
- Dubois J.P., 1984. An outline of cattle production in New Caledonia. *Rev. Elev. Méd. Vét. Nouv.-Calédonie*, **2**: 43-58
- Ducornez S., Barré N., Miller R.J., de Garine-Wichatitsky M., 2005. Diagnosis of amitraz resistance in *Boophilus microplus* in New Caledonia with the modified Larval Packet Test. *Vet. Parasitol.*, **130** (3-4): 285-292, doi: 10.1016/j.vetpar.2005.04.018
- Estrada-Peña A., Venzal J.M., Nava S., Mangold A., Guglielmo A.A., Labruna M.B., De La Fuente J., 2012. Reinstatement of *Rhipicephalus (Boophilus) australis* (Acari: Ixodidae) with redescription of the adult and larval stages. *J. Med. Entomol.*, **49** (4): 794-802, doi: 10.1603/MEI1223
- Henriet S., 2000. Rapport de stage au laboratoire des Plantes médicinales, CNRS-Nouméa. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 20 p.
- Hüe T., Cauquil L., Hzounda Fokou J.B., Jazet Dongmo P.M., Bakaranga-Via I., Menut C., 2015b. Acaricidal activity of five essential oils of *Ocimum* species on *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* larvae. *Parasitol. Res.*, **114** (1): 91-99, doi: 10.1007/s00436-014-4164-6
- Hüe T., Fontfreyde C., 2019. Development of a new approach of pasture management to control *Rhipicephalus microplus* infestation. *Trop. Anim. Health Prod.*, in press, doi: 10.1007/s11250-019-01899-x
- Hüe T., Hurlin J.C., Teurlai M., Naves M., 2014. Comparison of tick resistance of crossbred Senepol x Limousin to purebred Limousin cattle. *Trop. Anim. Health Prod.*, **46** (2): 447-453, doi: 10.1007/s11250-013-0512-2
- Hüe T., Petermann J., Bonnefond R., Mermoud I., Rantoen D., Vuocolo T., 2017. Experimental efficacy of a vaccine against *Rhipicephalus australis*. *Exp. Appl. Acarol.*, **73** (2): 245-256, doi: 10.1007/s10493-017-0184-0
- Hüe T., Petermann J., Hurlin J.C., Gaia H., Cauquil L., 2015b. Resistance of cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini) to deltamethrin, amitraz and moxidectin in New Caledonia: Review of the situation and perspectives for tick control. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **68** (4): 167-174, doi: 10.19182/remvt.31164
- Koffi B.B., de Meeûs T., Barré N., Durand P., Arnathau C., Chevillon C., 2006a. Founder effects, inbreeding and effective sizes in the Southern cattle tick: the effect of transmission dynamics and implications for pest management. *Mol. Ecol.*, **15** (14): 4603-4611, doi: 10.1111/j.1365-294X.2006.03098.x
- Koffi B.B., Risterucci A.M., Joulia D., Durand P., Barré N., de Meeûs T., Chevillon C., 2006b. Characterization of polymorphic loci within a young *Boophilus microplus* metapopulation. *Mol. Ecol.*, **6** (2): 502-504, doi: 10.1111/j.1471-8286.2006.01295.x
- Lebouvier N., Hüe T., Brophy J., Hnawia E., Nour M., 2016. Chemical composition and acaricidal activity of *Nemuaron vieillardii* essential oil against the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Nat. Prod. Comm.*, **11** (12): 1919-1922, doi: 10.1177/1934578X1601101235
- Lebouvier N., Hüe T., Hnawia E., Lesaffre L., Menut C., Nour M., 2013. Acaricidal activity of essential oils from five endemic conifers of New Caledonia on the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Parasitol. Res.*, **112** (4): 1379-1384, doi: 10.1007/s00436-012-3268-0
- Le Gall E., 2000. Introduction de taureaux de race Brahman : Effet du croisement sur la production de veaux, Région de Koné 1997 et 1998. Doc. Interne. Direction du développement économique de la Province Nord, Pouembout, Nouvelle-Calédonie, 26 p.
- Marchal C., 2011. Campagne d'éradication de la babésiose bovine en Nouvelle-Calédonie (2008-2010). Thèse Doct. Vét. Faculté de médecine de Créteil, France, 125 p.
- Murrell A., Barker S.C., 2003. Synonymy of *Boophilus* Curtice, 1891 with *Rhipicephalus* Koch, 1844 (Acari: Ixodidae). *Syst. Parasitol.*, **56** (3): 169-172, doi: 10.1023/B:SYPA.0000003802.36517.a0
- Nouvelle-Calédonie et Dépendances, 1951. Rapport d'ensemble sur le fonctionnement du service vétérinaire depuis 1950, Nouméa, 5 p.
- Nouvelle-Calédonie et Dépendances, 1954. Rapport d'ensemble sur le fonctionnement du service vétérinaire en 1953, Nouméa, 9 p.
- Petermann J., Bonnefond R., Mermoud I., Rantoen D., Meynard L., Munro C., Lua L.H.L., Hüe T., 2017. Evaluation of three adjuvants with respect to both adverse effects and the efficacy of antibody production to the Bm86 protein. *Exp. Appl. Acarol.*, **72** (3): 303-315, doi: 10.1007/s10493-017-0156-4
- Petermann J., Cauquil L., Hurlin J.C., Gaia H., Hüe T., 2016. Survey of cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, resistance to amitraz and deltamethrin in New Caledonia. *Vet. Parasitol.*, **217** (1): 64-70, doi: 10.1016/j.vetpar.2015.12.010
- Rageau J., 1967. Observations biologiques sur les tiques (Acari, Argasidae et Ixodidae) des îles françaises d'Océanie. *Wiad. Parazytolog.*, **13** (4-5) : 547-553
- Rageau J., Vervent G., 1959. Les tiques (Acariens Ixodoidea) des îles françaises du Pacifique. *Bull. Soc. Path. Exot.* **52** (6) : 819-834
- Repiquet F., 2014. Recherche de molécules acaricides dans les Piperaceae de Nouvelle-Calédonie. Master Ecoscience microbiologie, IAC, UNC, Université Claude Bernard Lyon 1, France, 60 p.

## Cattle tick history in New Caledonia

- Sutherst R.W., Jones R.J., Schnitzerling H.J., 1982. Tropical legumes of the genus *Stylosanthes* immobilize and kill cattle ticks. *Nature*, **295**: 320-321, doi: 10.1038/295320a0
- Thullner F., Barré N., 1996. La lutte contre la tique du bétail en Nouvelle-Calédonie : quelle stratégie pour l'an 2000 ? Rapp. mission. Cirad-EMVT/FAO-WARRC, Montpellier, France, 103 p.
- Uilenberg G., 1987. Adaptation de la prophylaxie contre la tique du bétail aux réalités calédoniennes. Rapp. Mission. Cirad-EMVT, Maisons-Alfort, France, 32 p.
- Verges J., 1944. Les tiques du bétail. Méthodes d'éradication. Imprimeries réunies, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 72 p.

- Vignon L., 1987. Etude de la résistance des tiques à l'Ethion et au DDT dans 111 élevages à problème en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Elev. Méd. Vét. Nouv.-Calédonie*, **10** : 21-26
- Willadsen P., McKenna R.V., Riding G.A., 1988. Isolation from the cattle tick, *Boophilus microplus*, of antigenic material capable of eliciting a protective immunological response in the bovine host. *Int. J. Parasitol.*, **18** (2): 183-189, doi: 10.1016/0020-7519(88)90059-8
- Willadsen P., Riding G.A., McKenna R.V., Kemp D.H., Tellam R.L., Nielsen J.N., Lahnstein J., et al., 1989. Immunologic control of a parasitic arthropod. Identification of a protective antigen from *Boophilus microplus*. *J. Immunol.*, **143** (4): 1346-1351

### Summary

**Hüe T.** Livestock ticks in New Caledonia: Review on 75 years of presence and 60 years of research. Local history for global learning

Cattle have been present in New Caledonia since mid-19th century, but the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini), was inadvertently introduced in 1942. Overnight, this parasite has disrupted cattle farming, changed farmers' habits, and marked life in the bush with the pace of cattle returns for acaricide baths. Seventy-five years later, it still shapes the New Caledonian landscape by forcing a majority of breeders to replace historical tick-susceptible breeds by more resistant breeds. The first research programs aiming at controlling this parasite were launched nearly 60 years ago. The information they generated enables to propose today different tools to New Caledonian farmers to maintain their farms despite this parasitic pressure. The data review on decades of tick presence and research highlights that farmers have had to adapt to this constraint to preserve their activity, but also that future management of this parasite can no longer exclusively depend on the use of chemical acaricides because of the resistance developed by *R. microplus*. Particular attention must be paid to determining farmers' demands, in addition to the needs identified by research and technical services, in order to facilitate acceptance of the proposed solutions by all.

**Keywords:** cattle, animal, husbandry, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, acaricides, history, research, New Caledonia

### Resumen

**Hüe T.** La garrapata del ganado bovino en Nueva Caledonia: síntesis de 75 años de presencia y 60 años de investigación. Una historia local para una educación global

Aún y cuando el ganado bovino ya estaba presente en Nueva Caledonia desde mediados del siglo XIX, la garrapata del bovino, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini), se introdujo desafortunadamente en 1942. Repentinamente, este parásito afectó la producción de ganado, modificó los hábitos de los ganaderos y marcó la vida en la granja con el ritmo de los pasajes del ganado en el baño acaricida. Setenta y cinco años después, aún moldea el paisaje de Nueva Caledonia al obligar una mayoría de los ganaderos a abandonar las razas más tradicionales, demasiado sensibles a la garrapata, en favor de las razas más resistentes. Los primeros programas de investigación para controlar este parásito comenzaron hace casi 60 años. Esos programas generaron informaciones que hoy en día permiten proponer diferentes herramientas a los ganaderos calédonios para mantener sus ganaderías a pesar de esta presión parasitaria. La síntesis de resultados durante décadas de investigación sobre la presencia de garrapatas indica que los ganaderos han tenido que adaptarse a este problema a riesgo de poner en peligro su actividad, así como también que el futuro manejo de este parásito ya no puede basarse únicamente en el uso de acaricidas químicos debido a la resistencia desarrollada por el *R. microplus*. Se debe prestar una atención especial a determinar las demandas de los ganaderos más allá de las necesidades identificadas por la investigación y por los servicios técnicos, a fin de facilitar la cohesión de todos a las soluciones propuestas.

**Palabras clave:** ganado bovino, ganadería, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, acaricidas, historia, investigación, Nueva Caledonia

# Preliminary study on potential mechanical vectors of animal trypanosomes in the Far North region of Cameroon

Pierre Fongho Suh<sup>1,2\*</sup> Flobert Njiokou<sup>1</sup> Rebecca Garabed<sup>3</sup>  
Abdoulmoumini Mamoudou<sup>4</sup> Mouhaman Arabi<sup>5</sup>  
Ahmadou Tidjani Malam<sup>6</sup>

## Keywords

Cattle, *Atylotus agrestis*, Tabanidae, African trypanosomiasis, vectors, Cameroon

Submitted: 25 April 2019

Accepted: 2 July 2019

Published: 30 September 2019

DOI: 10.19182/remvt.31782

## Summary

An entomological study was carried out in the Far North region of Cameroon – historically known focus for animal trypanosomosis and declared tsetse free in the late 1970s – to determine the potential mechanical vectors for trypanosomes and their spatial preference in this region. Thirty-one Nzi traps were installed at 6:30–8:00 a.m. in Goulfey, Madiako canton and Darack karna in Logone and Chari Division, as well as in Guidiguis, Kalfou and Maga-Guirvidig in two other divisions. They were visited after 10–11 hours of exposition. The sampling lasted one day. A total of 20,084 hematophagous flies (865 *Stomoxys* and 19,219 tabanids) were collected. *Stomoxys niger* was the only Stomoxyinae species caught, whereas five species of tabanids were collected: *Atylotus agrestis*, *A. albipalpus*, *A. fuscipes*, *Tabanus taeniola* and *T. biguttatus*. *A. agrestis* was by far the most prevalent species (92.7%), followed by *T. taeniola* (7.1%). The apparent densities of 50.1, 409.4 and 1499.0 tabanids per trap per day in Guidiguis, Goulfey and Madiako canton, respectively, were significantly different ( $p = 0.0002$ ). Tabanids were more abundant in campsites than in pastures and water points. *Atylotus agrestis* seemed to be the major potential mechanical vector of trypanosomes in the area.

■ How to quote this article: Suh P.F., Njiokou F., Garabed R., Mamoudou A., Arabi M., Malam A.T., 2019. Preliminary study on potential mechanical vectors of animal trypanosomes in the Far North region of Cameroon. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 72 (3): 133-136, doi: 10.19182/remvt.31782

## ■ INTRODUCTION

The Far North region of Cameroon is a Sudano-Sahelian zone and one of the most important for animal husbandry in Lake Chad Basin, with a cattle population estimated at 2.1 million and a small stock population estimated at 2.8 million (Ziébé et al., 2005). Disease surveillance in this region covering over 34,000 square kilometers is

however poor because of the financial and infrastructural limitations of its 145 zootechnical and veterinary centers (field offices for the Ministry of Livestock, Fisheries and Animal husbandry or MINEPIA). Under these conditions, health issues may occur in livestock and remain unnoticed for years.

A recent parasitological survey implemented following disease reporting by pastoralists revealed the presence of trypanosomosis nearly four decades after the last case was reported (Suh et al., 2017). The biological vector of trypanosomes is the tsetse fly. The elimination of this insect was achieved in this area in the early 1970s, after a series of successful vector control campaigns. The occurrence of animal trypanosomosis in the complete absence of the biological vector has already been reported in other African countries and even out of the continent (Delafosse et al., 2006; Jones and Dávila, 2001). To explain this situation, mechanical transmission of animal trypanosomes by other hematophagous flies was shown as a means to disease maintenance (Desquesnes and Dia, 2003a; 2003b). It occurs when trypanosome-contaminated blood residues present on insect mouthparts are introduced into a naïve host immediately after the insect blood meal on an infected host is interrupted (Baldacchino et al., 2014). The main factor relative to the biting insects facilitating the occurrence of this

1. Department of Animal Biology and Physiology, Faculty of Science, University of Yaounde I, PO BOX 812, Yaounde, Cameroon.

2. Saint-Jerome School of Health Sciences, Saint-Jerome Catholic University, Institute of Douala, Douala, Cameroon.

3. Department of Veterinary Preventive Medicine, College of Veterinary Medicine, Ohio State University, USA.

4. Department of Parasitology and Parasitological Diseases, School of Veterinary Medicine and Science, University of Ngaoundere, Cameroon.

5. The Higher Institute of the Sahel, University of Maroua, Cameroon.

6. Mission spéciale d'éradication des glossines, Adamawa Region, Cameroon.

\* Corresponding author

Tel.: +237 675 327 946; 655 469 698

Email: fongho\_pierre@yahoo.fr; pfongho@univ-catho-sjd.com



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

phenomenon is vector density (Oldroyd, 1954). Tabanids belonging to *Tabanus*, *Atylotus* and *Ancala* genera are deemed, by the size of their mouthparts and feeding behavior, better mechanical vectors than *Stomoxys* flies (Oldroyd, 1954; Zumpt, 1973). Species of these genera have already been described in the Far North region of Cameroon, and the distribution map of the many species of tabanids of Cameroon has been elaborated (Ovazza et al., 1970), but the data displayed has been limited to the presence or absence of information on the species.

The present survey carried out several decades after the biological vector was eliminated in the Far North is a preliminary entomological investigation that aimed at determining the potential mechanical vectors of animal trypanosomes in two historically tsetse-infested areas, as well as their relative importance and distribution.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The historical tsetse-infested foci retained for this study were Goulfey and Madiako canton, respectively located northward and southward to Kosseri, chief town of Logone and Chari Division. Four other sites, Guidiguiss, Kalfou, Darack karena and Maga-Guirvidig, were included in the survey (Figure 1). Darack karena is also in Logone and Chari and close to Lake Chad. Guidiguiss and Kalfou are in Mayo Kani and Mayo Danay divisions, respectively. They are agropastoral localities. Maga-Guirvidig, also in Mayo Danay, is near Lake Maga, which is part of the floodplain whose seasonal resources, fodder and water, help livestock overcome the particularly difficult dry season. The mean annual temperature of the Far North is 28°C; the highest temperature is 40°C recorded during the hot and dry season (March-April); the lowest temperature is 17.1°C in the cold and dry season (December-January).

### Trap deployment and vector sampling

Thirty-one Nzi traps were deployed in November 2013 in the study area: Goulfey (8), Madiako canton (9), Guidiguiss (6), Kalfou (3), Maga-Guirvidig (2) and Darack karena (3). Traps were installed in

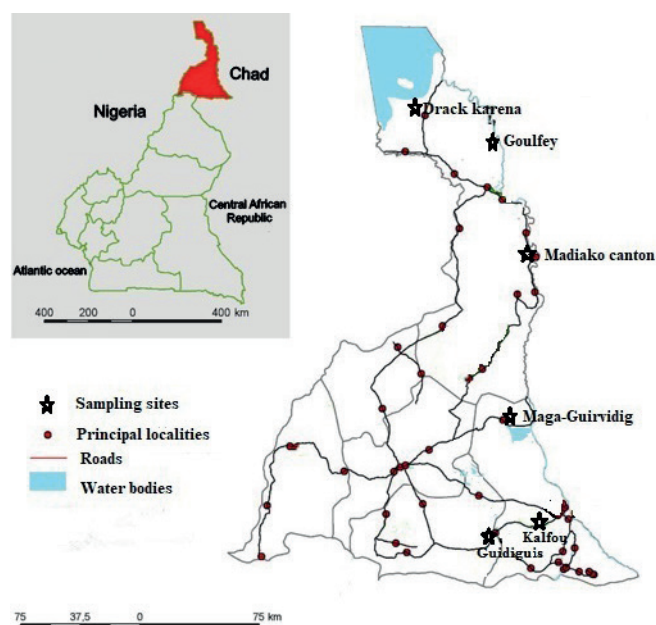


Figure 1: The Far North region of Cameroon showing sampling sites.

the morning (6:30–8:00) around i) campsites, ii) grazing areas, and iii) water points. These three biotopes were sampled in Goulfey, Madiako canton, Guidiguiss and Kalfou, campsite and water points in Maga-Guirvidig, and water points only in Darack karena. Traps were set 100 meters minimum from one another and georeferenced. After 10–11 hours of exposition, flies caught were collected and conserved (specimens were dried then sealed in tubes containing silica gel) for identification. Sampling was carried out in one day in each site.

### Vector identification and abundance evaluation

Trapped insects were brought to the field laboratory and sorted according to their family. Specimens were examined under binocular magnifying glasses. Identification keys from Oldroyd (1954) were used to separate tabanid species and other keys from Zumpt (1973) to identify *Stomoxys*. Some specimens were dried and conserved for further examination. Data were recorded in Excel spreadsheets and the apparent density per trap (ADT), expressing the relative abundance of vectors at each trapping site, was calculated with the formula  $ADT = C/TD$ , where C is the number of vectors caught, T the number of traps deployed and D the number of days of trapping. The distribution of data was tested for normality with Shapiro Wilks test; chi-square and Z tests were used to compare species prevalence, and Kruskal-Wallis test for ADT comparison. Only Goulfey, Guidiguiss and Madiako canton were compared for ADT. Other villages were excluded because the number of traps used could not evaluate ADT correctly. All statistical tests were performed with XLSTAT 2017 Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel, Addinsoft, France (2017).

## RESULTS AND DISCUSSION

Hematophagous insects trapped in the zone belonged to Tabanidae and Muscidae. These two families of Diptera have also been reported in neighboring countries, in Chad and Nigeria (Ahmed et al., 2006; Doutoum et al., 2002), where species of the superfamily Hippoboscoidea, including Glossinidae, were also caught. During the present study, no tsetse fly was captured. This preliminary study could not, of course, confirm with certainty the absence of these families. However, the absence of tsetse flies (Glossinidae) in Goulfey and Madiako canton is consistent with findings obtained in 1968 in the same sites after a series of tsetse eradication campaigns (Gravel et al., 1970).

*Stomoxys niger*, a species of the Stomoxysiinae subfamily well adapted to African savanna and forest, was the only observed hematophagous representative of the Muscidae. A total of 865 specimens of this species were sampled. The absence of *S. calcitrans*, reported several decades ago in neighboring Diamare Division, suggests that these two species are either geographically separated or that their distribution is influenced by seasons (Mouchet and Rageau, 1962). The use of other traps such as Vavoua as well as the addition of attractants like ammonia and phenylpropanoid compounds could improve sampling and better describe the diversity of Stomoxysiinae, and finally give strong evidence of the geographical distribution of these two species (Gibson and Torr, 1999).

With 19,219 specimens collected, tabanids were by far the most captured insects. Dia et al. (2004) made a similar observation in Lahirasso, Burkina Faso, using the same trap. We identified five species belonging to *Atylotus* (92.9%) and *Tabanus* (7.1%) genera: *Atylotus agrestis* (17,810), *A. albipalpus* (49), *A. fuscipes* (3), *Tabanus taeniola* (1355), and *T. biguttatus* (2). Species diversity was three times lower than observations made four decades earlier (Ovazza et al., 1970). The difference may partly be attributable to the seasonality of some species and/or the sampling method (Desquesnes et al., 2005). The very high dominance of *Atylotus agrestis*, already observed in the

Far North (Cuisance, 1996) and reported in other countries among which Chad (Doutoum et al., 2002), confirms firstly that this species is remarkably well adapted to savanna zones (Oldroyd, 1954) and secondly that it is the major potential mechanical vector of animal trypanosomes in the region. Desquesnes and Dia (2003a; 2003b) also showed that *A. agrestis* and *A. fuscipes* were efficient mechanical vectors for *T. vivax* and *T. congolense*.

*Tabanus taeniola*, the second most abundant species, was described in both savanna and forest zones (Oldroyd, 1954), and previously observed in Logone and Chari (Ovazza et al., 1970). *T. biguttatus*, like *A. agrestis*, is a species that prefers the savanna zone of Africa (Oldroyd, 1954). It represented, however, only 0.01% of all tabanids trapped, a value ten times lower than that obtained in Chad (Doutoum et al., 2002). This species being less likely to enter a trap if the entry is low as in the Nzi trap (Mihok, pers. commun.) might explain its very low prevalence, concomitantly to the effect of seasons on its distribution. A third species of *Tabanus*, i.e. *T. gratus*, was intercepted during its flight in Goulfey but was not found in the trap captures.

The lowest catch of *S. niger* was 0 and the highest 560. The apparent densities were 4.7 (SD = 5.6), 6.3 (12.6) and 90.0 (192.3) in Guidiguis, Madiako canton and Goulfey, respectively, but, contrary to the ADT of tabanids, the differences in ADT were not significant ( $K = 5.871$ ;  $df:2$ ;  $p = 0.053$ ). For tabanids, the ADT were 50.1, 409.4 and 1499.0 in Guidiguis, Goulfey and Madiako canton, respectively, and were significantly different ( $K = 16.241$ ;  $df = 2$ ,  $p = 0.0002$ ). The densities of tabanids only varied according to the biotope, and the highest were recorded around campsites followed by pastures and water points (Table I). The observed difference reflects the existence of a spatial preference resulting probably from the attraction these insects have to volatile compounds released by animal feces and urine present abundantly in this biotope and indicative for host position (Baldacchino et al., 2014) or simply a dry season behavior pattern. Tabanids are known to be sensitive to meteorological variations. During the dry season, they seem to limit their activities to early morning and late afternoon as an avoidance response to hot periods of the day (Raymond, 1989; Desquesnes et al., 2005). These periods coincide with cattle returns from pastures to campsites at the end of the day, or with the moment preceding their departure from campsites to grazing. In Madiako canton, the densities recorded were particularly high compared to other pastoral villages. Apart from the floodplain, the rarity of water points during the dry season could influence the

development of tabanids and their abundance (Desquesnes et al., 2005; Suh et al., 2015).

In conclusion, of all the hematophagous insects sampled, *Atylotus agrestis* was by far the most abundant potential vector of animal trypanosomes in the study area, and probably the major contributor to the resurgence of trypanosomosis decades after the biological vector was eliminated. Its abundance was highest in the pastoral area of the floodplain, probably because of the availability of water resources. Moreover, tabanids seemed to have a spatial preference for campsites. More studies that include other areas and are carried out in both rainy and dry seasons are necessary to describe the existing species richness.

### Acknowledgments

This study was supported by the National Science Foundation through a grant (DEB-1) to the Disease Ecology and Computer Modeling Laboratory (DECML) at Ohio State University (USA). The authors thank the Centre d'Appui à la Recherche et au Pastoralisme (CARPA) team for technical assistance and the Regional delegation of MINEPIA for their administrative support.

### Author contributions statement

FN, MA and RG: study design, planning and critical review of the manuscript; PFS: data collection, data analysis, and interpretation and writing of the first version of the manuscript; ATM: data collection; MA: critical review of the manuscript.

**Table I**

Apparent density of Tabanidae according to the biotopes in Far North Cameroon

Biotope	Apparent density of Tabanidae		
	<i>Atylotus</i> (n)	<i>Tabanus</i> (n)	All tabanids (n)
Water point	189.6 (2,275)	21.8 (261)	211.3 (2,536)
Campsite	991.8 (11,902)	81.2 (974)	1073.0 (12,876)
Pasture	526.4 (3,685)	17.4 (122)	543.6 (3,805)
K (p)	9.038 (0.011)	5.855 (0.054)	9.106 (0.011)

n: number of specimens trapped; K: Kruskal-Wallis value; p: level of significance

### REFERENCES

- Ahmed A., Okiwelu S., Samdi S., 2006. Species diversity, abundance and seasonal occurrence of some biting flies in Southern Kaduna, Nigeria. *Afr. J. Biomed. Res.*, **8** (2): doi: 10.4314/ajbr.v8i2.35770
- Baldacchino F., Desquesnes M., Mihok S., Foil L.D., Duvallat G., Jittapalpong S., 2014. Tabanids: Neglected subjects of research, but important vectors of disease agents! *Infect. Genet. Evol.*, **28**: 596-615, doi: 10.1016/j.meegid.2014.03.029
- Cuisance D., 1996. Réactualisation de la situation des tsé-tsé et des trypanosomes animales au Tchad. Phase II Zone du Lac, Guera, Salamat. Enquête réalisée du 22 mars au 20 avril 1996. <http://agritrop.cirad.fr/327260/> (consulté 23 avr. 2019)
- Delafosse A., Thébaud E., Desquesnes M., Michaux Y., 2006. Epidemiology of *Trypanosoma vivax* infection in cattle in the tse-tse free area of Lake Chad. *Prev. Vet. Med.*, **74** (2-3): 108-119, doi: 10.1016/j.prevetmed.2005.10.006
- Desquesnes M., Dia M.L., 2003a. *Trypanosoma vivax*: mechanical transmission in cattle by one of the most common African tabanids, *Atylotus agrestis*. *Exp. Parasitol.*, **103** (1-2): 35-43, doi: 10.1016/S0014-4894(03)00067-5
- Desquesnes M., Dia M.L., 2003b. Mechanical transmission of *Trypanosoma congolense* in cattle by the African tabanid *Atylotus agrestis*. *Exp. Parasitol.*, **105** (3-4): 226-231, doi: 10.1016/j.exppara.2003.12.014
- Desquesnes M., Dia M.L., Acapovi G., Yoni W., Foil L., Pin R., 2005. Les vecteurs mécaniques des trypanosomoses animales : généralités, morphologie, biologie, impacts et contrôle. Identification des espèces les plus abondantes en Afrique de l'Ouest. <http://agritrop.cirad.fr/534222/> (consulté 23 avr. 2019)
- Dia M.L., Desquesnes M., Elsen P., Lancelot R., Acapovi G., 2004. Evaluation of new trap for tabanids and stomoxines. *Bull. Soc. Roy. Belge Entomol.*, **140**: 64-73
- Doutoum Abdesalam A., Delafosse A., Elsen P., Amsler Delafosse S., 2002. Potential vectors of *Trypanosoma evansi* in camels in Eastern Chad. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **55** (1): 21-30, doi: 10.19182/remvt.9841
- Gibson G., Torr S.J., 1999. Visual and olfactory responses of haematophagous Diptera to host stimuli. *Med. Vet. Entomol.*, **13** (1): 2-23, doi: 10.1046/j.1365-2915.1999.00163.x
- Gruvel J., Fernagut R., Siméon M., 1970. Execution of an uninterrupted campaign of tsetse flies eradication by insecticide spraying in the Mayo-Kebbi and Benoue valleys of Cameroon. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **23** (1): 93-99, doi: 10.19182/remvt.7713

- Jones T.W., Dávila A.M.R., 2001. *Trypanosoma vivax* - out of Africa. *Trends Parasitol.*, **17** (2): 99-101, doi: 10.1016/S1471-4922(00)01777-3
- Mouchet J., Rageau J., 1962. Arthropodes d'intérêt médical du Diamaré. *Rech. Études Cameroun*, **3** (9) : 73-108
- Oldroyd H., 1954. The horse-flies (Diptera: Tabanidae) of the Ethiopian region. II. *Tabanus* and related genera. British Museum, London, UK, 338 p.
- Ovazza M., Mouchet J., Rickenbach A., 1970. Tabanidae du Cameroun. II. Les espèces connues et leur répartition. *Cah. Orstom, Sér. Ent. Méd. Parasitol.*, **8** (4): 323-351
- Raymond H.L., 1989. Distribution temporelle des principales espèces de taons (Diptera Tabanidae) nuisibles au bétail en Guyane française. *Ann. Soc. Entomol. Fr.*, **25** : 289-294
- Suh P.F., Njiokou F., Mamoudou A., Ahmadou T.M., Mouhaman A., Garabed R., 2017. Bovine trypanosomiasis in tsetse-free pastoral zone of the Far-North region, Cameroon. *J. Vector Borne. Dis.*, **54** (3): 263-269, doi: 10.4103/0972-9062.217618
- Suh S.J., Kim H.C., Chong S.T., Kim M.S., Klein T.A., 2015. Seasonal abundance of deer and horse flies (Diptera: Tabanidae) in the Northern Part of Gyeonggi-do, Republic of Korea. *Korean. J. Parasitol.*, **53** (3): 307-314, doi: 10.3347/kjp.2015.53.3.307
- Ziébé R., Thys E., De Deken R., 2005. Analysis of livestock production systems at the subdistrict level. Case of Boboyo in Far-North Cameroon. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **58** (3): 159-165, doi: 10.19182/remvt.9928
- Zumt F., 1973. The Stomoxiine biting flies of the world. Diptera: Muscidae. Taxonomy, biology, economic importance and control measures. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 175 p.

### Résumé

**Suh P.F., Njiokou F., Garabed R., Mamoudou A., Arabi M., Malam A.T.** Etude préliminaire sur les vecteurs mécaniques potentiels des trypanosomes animaux dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun

Une étude entomologique a été menée dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun – foyer historiquement connu pour la trypanosomose animale et déclaré exempt de glossines à la fin des années 1970 – afin de déterminer les vecteurs mécaniques potentiels des trypanosomes et leur préférence spatiale dans cette région. Trente et un pièges Nzi ont été installés le matin (6 h 30 – 8 h 00) à Goulfey, Madiako canton, Darack Karena dans le département de Logone et Chari, ainsi qu'à Guidiguiguis, Kalfou et Maga-Guirvidig dans deux autres départements. Ils ont été inspectés après 10 à 11 heures d'exposition. L'échantillonnage a duré un jour. Au total 20 084 mouches hématophages (865 *Stomoxys* et 19 219 tabanidés) ont été récoltées. *Stomoxys niger* a été la seule espèce de Stomoxiinae capturée, alors que cinq espèces de tabanidés ont été relevées : *Atylotus agrestis*, *A. albipalpus*, *A. fuscipes*, *Tabanus taeniola* et *T. biguttatus*. *A. agrestis* était de loin l'espèce la plus répandue (92,7 %), suivie de *T. taeniola* (7,1 %). Les densités apparentes de 50,1, 409,4 et 1499,0 tabanidés par piège et par jour, respectivement à Guidiguiguis, Goulfey et Madiako, étaient significativement différentes ( $p = 0,0002$ ). Les tabanidés étaient plus abondants dans les campements que dans les pâturages et les points d'eau. *Atylotus agrestis* a semblé être le principal vecteur mécanique potentiel des trypanosomes dans la région.

**Mots-clés :** bovin, *Atylotus agrestis*, Tabanidae, trypanosomose africaine, vecteur de maladie, Cameroun

### Resumen

**Suh P.F., Njiokou F., Garabed R., Mamoudou A., Arabi M., Malam A.T.** Estudio preliminar sobre posibles vectores mecánicos de tripanosomas animales en la región del Extremo-Norte de Camerún

Se realizó un estudio entomológico en la región del Extremo-Norte de Camerún – zona conocida históricamente por la tripanosomosis animal y declarado libre de la mosca tsé-tsé a fines de la década de 1970 – con el objetivo de determinar los posibles vectores mecánicos de los tripanosomas y sus preferencias espaciales en esta región. Treinta y una trampas Nzi fueron instaladas en horas de la mañana (06:30–08:00) en Goulfey, en el cantón Madiako, Darack Karena, en el departamento de Logone y Chari, y en Guidiguiguis, Kalfou y Maga-Guirvidig en otros dos departamentos. Después de un espacio de 10 a 11 horas de exposición, dichas trampas fueron inspeccionadas. El muestreo duró un día. Se recogieron en total 20 084 moscas hematofagas (865 *Stomoxys* y 19 219 tabánidos). *Stomoxys niger* fue la única especie de Stomoxiinae capturada, mientras que en el caso de los tabánidos se registraron cinco especies: *Atylotus agrestis*, *A. albipalpus*, *A. fuscipes*, *Tabanus taeniola* y *T. biguttatus*. *A. agrestis* fue ampliamente la especie más expandida (92,7%), seguida de la *T. taeniola* (7,1%). Las densidades aparentes fueron significativamente diferentes ( $p = 0,0002$ ) entre las zonas muestreadas, encontrándose valores de 50,1, 409,4 y 1499,0 tabánidos por trampa y por día para los casos de Guidiguiguis, Goulfey y Madiako, respectivamente. Los tabánidos resultaron más abundantes en los campamentos en comparación a los pastos y puntos de agua. *Atylotus agrestis* parece ser el principal vector mecánico potencial de los tripanosomas en la región bajo estudio.

**Palabras clave:** ganado bovino, *Atylotus agrestis*, Tabanidae, tripanosomosis africana, vectores, Camerún